



**INFORME DE LA CONTRATACIÓN DIRECTA  
No 2016CDS-00018-PRI, AyA**

**“Definición zonas de protección bacteriológica,  
Manantiales San Antonio 1 y San Antonio 2, Corredores,  
Puntarenas”**

---

**MSc. Federico Arellano Hartig**

**Contraparte Técnica y Administrativa de la contratación**

**MSc. Viviana Sánchez Ramos  
Área Funcional de Hidrogeología - AyA**

**Octubre 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](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  
\_06107

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

Equipo Profesional:

---

Ing. Federico Arellano Hartig MSc.

---

Geól. Jorge Suárez Matarrita MSc

---

Geól. María Gómez Tristán MSc

---

Ing. Marco Pineda Gamboa

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	6
1.1	OBJETIVO .....	10
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.1.2	METODOLOGÍA APLICADA.....	11
2	GEOLOGÍA .....	12
2.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	12
2.1.1	GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	13
2.1.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	15
3	HIDROGEOLOGÍA .....	19
3.1	HIDROGEOLOGIA REGIONAL .....	19
3.2	HIDROGEOLOGIA LOCAL, NACIENTES SAN ANTONIO .....	19
4	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS.....	25
4.1	NACIENTES SAN ANTONIO.....	25
5	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	28
5.1	NACIENTES SAN ANTONIO.....	28
6	ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES.....	29
6.1.1	MÉTODO DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE DEGRADACIÓN DE BACTERIAS .....	30
6.1.2	MÉTODO DEL RADIO FIJO AGUAS ARRIBA NACIENTES .....	33
6.1.3	MÉTODO DE GRUBB .....	33
7	CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES .....	40
8	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD CON EL MÉTODO DE EPIK .....	40
8.1	ACUÍFERO CALIZAS, FISURADO.....	42
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
10	REFERENCIAS .....	45

## **TABLA DE CUADROS**

Cuadro 1. Manantiales analizados en el estudio .....	6
Cuadro 2. Lista nacientes MINAE (2016), nacientes San Antonio, Corredores, Puntarenas.....	20
Cuadro 3: Datos de infiltración y porosidad, nacientes San Antonio 1 y 2.....	25
Cuadro 4. Resultados de porosidad zona no saturada (INTA, 2016).....	26
Cuadro 5. Resultados de permeabilidad (método Porchet).....	26
Cuadro 6. Caudales registrados nacientes San Antonio.....	29
Cuadro 7. Parámetros hidráulicos del acuífero sector fuentes San Antonio .....	29
Cuadro 8. Resumen de los datos hidráulicos para el cálculo de L según ecuación (2) .....	30
Cuadro 9. Parámetros hidrogeológicos para determinación de la zona de protección zona saturada ..	32
Cuadro 10. Resumen de datos y resultados Método Radio Fijo.....	33
Cuadro 11. Resultados por medio del Método Grubb.....	34
Cuadro 12. Cuadro resumen.....	34
Cuadro 13. Acuífero calizas – Naciente San Antonio 1 .....	42
Cuadro 14. Acuífero calizas – Naciente San Antonio 2 .....	42

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las dos nacientes San Antonio.....	8
Figura 2. Ubicación de las dos nacientes San Antonio.....	9
Figura 3. Mapa geológico regional .....	14
Figura 4. Mapa de geología local.....	18
Figura 5. Mapa de ubicación fuentes registradas, Dirección de Aguas (MINAE, 2016) .....	21
Figura 6. Mapa hidrogeológico y ubicación de los perfiles hidrogeológicos. ....	22
Figura 7. Perfil hidrogeológico fuente San Antonio 1.....	23
Figura 8. Perfil hidrogeológico fuente San Antonio 2 .....	24
Figura 9. Ubicación Pruebas de Permeabilidad.....	27
Figura 10. Zonas de protección de la Naciente San Antonio 1 .....	36
Figura 11. Zonas de protección de San Antonio 1 .....	37
Figura 12. Zonas de protección de la Naciente San Antonio 2 .....	38
Figura 13. Zonas de protección de San Antonio 2 .....	39
Figura 14. Diagrama determinación de vulnerabilidad acuífera .....	41

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio hidrogeológico comprende la definición de las zonas de protección bacteriológica de dos nacientes ubicadas en el sector de San Antonio, cantón Corredores, distrito Canoas, provincia de Puntarenas. Dichas nacientes se conocen como San Antonio 1 y San Antonio 2 y son administradas por el AyA, el cual abastece agua al poblado de Paso Canoas, Fotografía 1 y Fotografía 2.

Las fuentes son manantiales que descargan desde acuíferos de origen sedimentario en ambos casos. Las dos nacientes son captadas mediante captaciones construidas en concreto.

En el Cuadro 1, se resume las nacientes analizadas y su ubicación cartográfica en coordenadas CRTM 05 y Lambert.

*Cuadro 1. Manantiales analizados en el estudio*

Nombre de la fuente	Tipo de fuente	Este (m) CRTM 05	Norte (m) CRTM 05	Este Lambert	Sur Lambert	Altura de cada fuente en (msnm)	Caudal (l/s) *
San Antonio 1	Naciente	463532	1 089606	589424	284522	269	46
San Antonio 2	Naciente	463500	1 089565	590125	284772	336	10

\*El caudal de la fuente San Antonio 1 fue aportado por la UEN Gestión Ambiental – Estudios básicos y el caudal San Antonio 2 fue aportado por la oficina regional de AyA Anexo 4.

Las dos fuentes de San Antonio tienen accesos por calles lastreadas.

En la Figura 1, Figura 2 y Fotografía 1 y Fotografía 2 se presentan los mapas de ubicación de los manantiales evaluados.



*Fotografía 1: Captación Naciente San Antonio 1 (coordenadas 589366 – 284489 Lambert Norte), margen derecha quebrada Sin Nombre*



*Fotografía 2: Naciente San Antonio 2 (Coordenadas 589987 – 284815 Lambert Norte)*

660201

662201

664201

666201

67791

67791

65791

65791

660201

662201

664201

666201

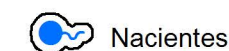


Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo  
UEN Gestión Ambiental del Recurso Hídrico  
Área Funcional de Hidrogeología

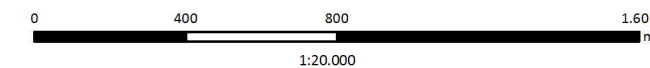
Cor-1

**Figura 1. Ubicación de Las Nacientes  
Corredores  
Canoas, Puntarenas**

**Simbología**



Nacientes



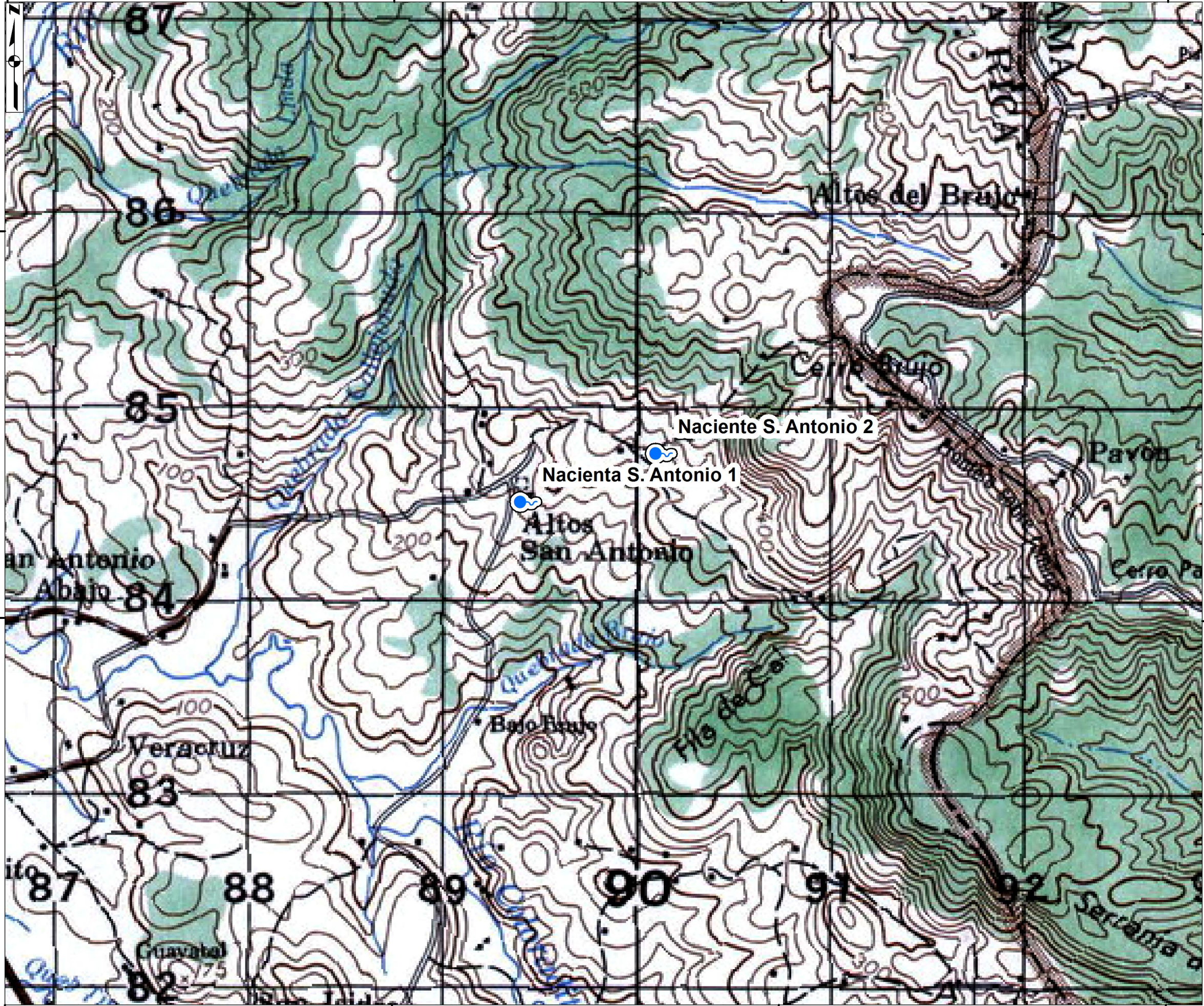
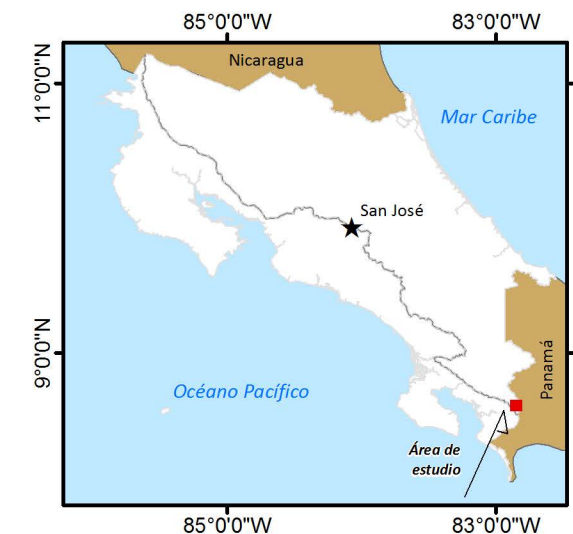
Sistema de Coordenadas Planas:  
Ocatepeque CR 1935 Lambert Sur  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Hoja Canoas: Instituto Geográfico Nacional, 1988. (1:50000)  
Pozos: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI



Elaborado por:



659565

661965

664365

666765



68494

68494

66094

66094

659565

661965

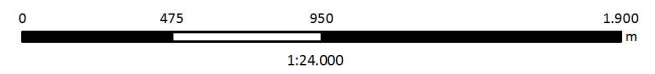
664365

666765

**Figura 2. Ubicación de las Nacientes  
Corredores  
Canoas, Puntarenas**

**Simbología**

Nacientes



Sistema de Coordenadas Planas:  
Ocotepeque CR 1935 Lambert sur  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Hoja Canoas: Instituto Geográfico Nacional, 1988. (1:50000)  
Pozos: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI





## 1.1 OBJETIVO

El objetivo de la contratación es realizar un estudio hidrogeológico que contemple la definición y el establecimiento de las zonas de protección absoluta para las dos nacientes de San Antonio, las cuales requieren protección ante la amenaza de contaminación como medida preventiva, dado que las mismas son utilizadas como fuentes de abastecimiento público.

### 1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos se han establecido:

- 1) Obtener un mapeo geológico de campo a un radio de 1 km<sup>2</sup>, a fin de caracterizar y definir el entorno hidrogeológico de las zonas de estudio.
- 2) Realizar un inventario de fuentes y líneas equipotenciales recopilando información de pozos y nacientes en un radio de 2 km<sup>2</sup> con el propósito de graficar la red de flujo y las líneas equipotenciales subterráneas.
- 3) Obtener el caudal de cada fuente en conjunción con otras variables, definir la zona de protección de las mismas.
- 4) Determinar las propiedades hidrodinámicas del acuífero para caracterizar el comportamiento de las aguas subterráneas.
- 5) Ejecutar una campaña de tres pruebas de permeabilidad y datos de porosidad en los alrededores de cada naciente, a fin de caracterizar la zona no saturada del medio.
- 6) Determinar los tiempos de tránsito de los contaminantes en la zona no saturada y saturada, a fin de calcular la zona de protección de la fuente en estudio.
- 7) Evaluar la vulnerabilidad en la zona de protección inmediata y en un área de 500 m alrededor de cada naciente, utilizando la metodología EPIK.
- 8) Analizar muestreos de calidad físico químico y bacteriológico existentes de cada fuente.



---

### **1.1.2 METODOLOGÍA APLICADA**

Se realizó inicialmente geología de campo a un radio de 1 km<sup>2</sup> a escala 1:25000 e inspección a cada una de las nacientes para posteriormente realizar el mapa geológico e hidrogeológico respectivo. Se elaboró un perfil hidrogeológico para cada fuente a partir de la observación geológica en el campo y datos de la base de fuentes registradas del MINAET (2016). El espesor de las unidades geológicas mostradas en los perfiles fue comprobado en el trabajo de campo.

Adicionalmente se recopiló la información de pozos y nacientes registrados en SENARA (2016) y MINAE (2016) en los alrededores de cada fuente de agua con el fin de complementar el modelo geológico e hidrogeológico para cada caso.

Para la elaboración de las líneas equipotenciales, se empleó la metodología Di Weist (1979), con datos de quebradas aledañas a las nacientes San Antonio.

Los caudales fueron tomados a partir de los datos brindados por el AyA (2016). No se logró medir el volumen de las fuentes ya que se encuentran captados distribuyendo la totalidad del recurso entre los poblados de la zona.

Para desarrollar el cálculo de las zonas de protección se utilizan metodologías usadas internacionalmente, incluyendo: Tiempos de Tránsito, Grubb, método analítico y radio fijo. Se realizaron tres pruebas de infiltración utilizando método Porchet con una duración de dos horas cada una. En los mismos sitios de las pruebas de infiltración se toman muestras para el análisis de porosidad en zona no saturada.

Adicionalmente se realizó un análisis de la vulnerabilidad a la contaminación en la zona de protección inmediata y a un radio de 500 m alrededor de las fuentes utilizando el método EPIK, donde el resultado se presenta en un mapa escala 1:25 000.



---

## 2 GEOLOGÍA

### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología de la zona de estudio incluye tres formaciones de origen sedimentario, incluyendo Formación Fila de Cal, Formación Térraba y Depósitos Coluvio Aluviales (Ver Figura 3).

#### **Geología regional**

##### **- Formación Fila de Cal**

Dengo (1962) describe esta formación dentro de la Formación Brito como un conjunto de areniscas calcáreas, margas, lutitas, tobas, brechas volcánicas y calizas con espesores de hasta 2400 metros. Mora (1979) la caracteriza dentro de la Unidad Cajón, nombre que se le atribuye a las calizas de la región del Pacífico Sur de Costa Rica, constituida por productos de destrucción erosiva del sistema arrecifal. Sus colores varían desde pardos grisáceos, amarillos y blancos, presencia de fósiles como fragmentos de algas, foraminíferos, radiolarios y pocos oolitos, fragmentos clásticos de origen volcánico y presenta indicios de karsismo moderado en localidades como Fila Cajón, Quebrada Coobó, Villa Colón y Fila de Cal. Se le atribuye una edad de Eoceno Medio a Superior de acuerdo con Malavassi (1961).

##### **- Formación Térraba**

La Formación Térraba se compone de areniscas pardas a verdosas, finas a gruesas, bien estratificadas, con estratificación decimétrica a métrica relativamente meteorizada. Se observan afloramientos a lo largo de toda la fila Costeña, Obando & Kussmaul (2009). La Formación Térraba consiste en una secuencia compuesta por lutitas, limolitas y areniscas calcáreas color gris oscuro a negro con edad del Oligoceno al Mioceno Inferior, Linkimer y Aguilar (2000).

La edad es Oligoceno Superior a Mioceno Superior (Mora, 1979; Alvarado et al, 2009).



---

- **Depósitos Coluvio Aluviales**

Los Depósitos Coluvio Aluviales están asociados al arrastre y depositación de materiales por efecto de gravedad y erosión fluvial en topografías planas de baja elevación. Dichos materiales son arrastrados de cerros aledaños.

**2.1.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

La zona de estudio se encuentra en la cuenca Coto-Colorado, del actual antearco, Denyer et al., (2003), donde se han dado fuertes levantamientos y rotaciones recientes.

En la zona de Canoas se encuentran dos fallas neotectónicas que incluye Falla Canoas y la Falla Longitudinal. A continuación, se describe únicamente la Falla Longitudinal, ya que se encuentra dentro de la zona de estudio.

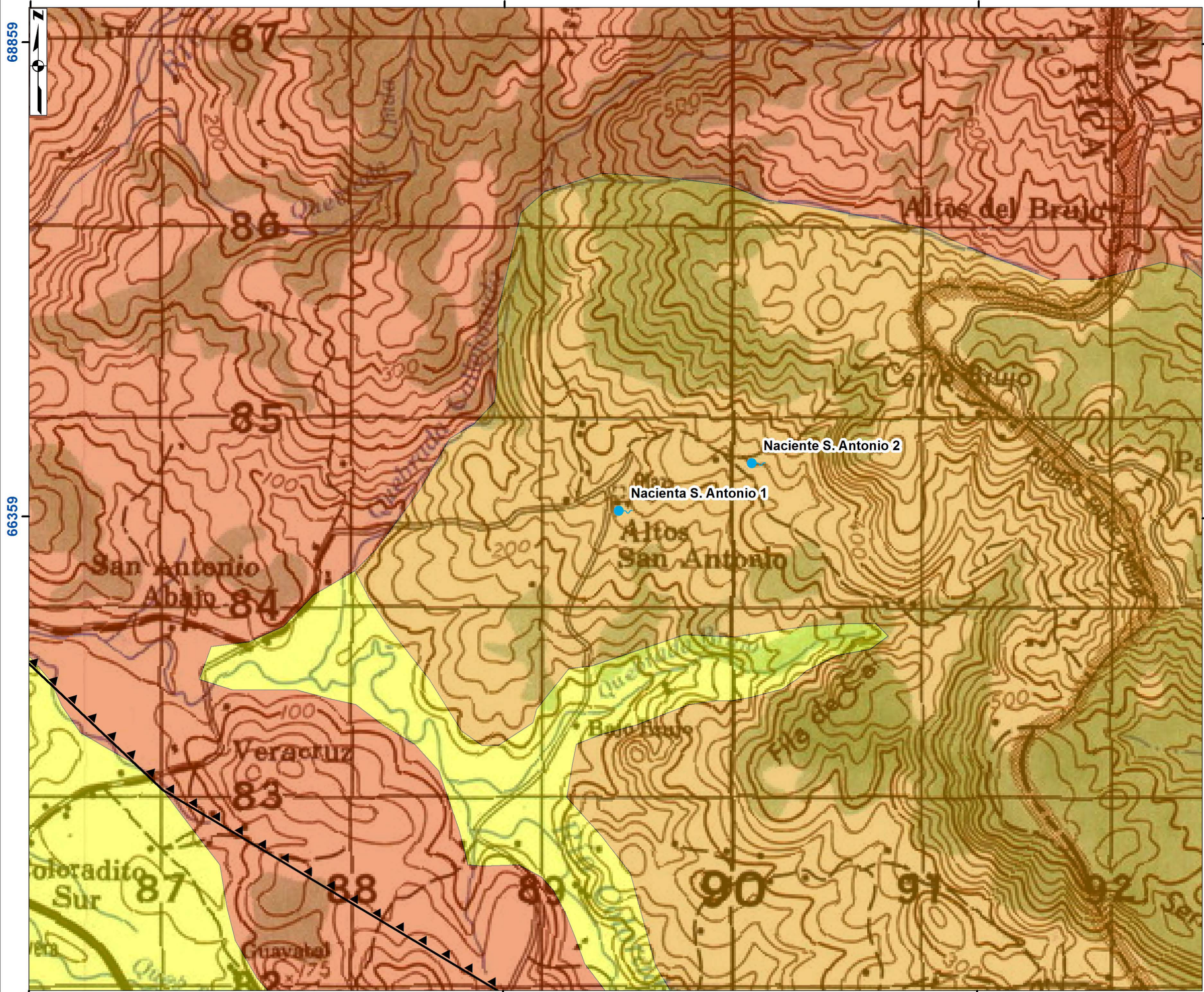
- Falla Longitudinal

La falla Longitudinal es una falla activa neotectónica con movimiento relativo inverso, en el sector Sureste, a lo largo de la cual han ocurrido importantes movimientos de levantamiento e inclinación de capas que han afectado la fila Costeña (Denyer et al, 2003). Se ha determinado que la fila Costeña se ha venido levantando y rotando hacia el noreste desde hace 4 millones de años, Figura 3.

659758

662258

664758



659758

662258

664758



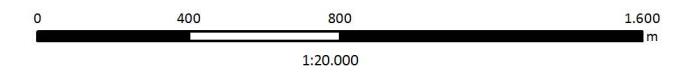
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo  
 UEN Gestión Ambiental del Recurso Hídrico  
 Área Funcional de Hidrogeología

Cor-3

**Figura 3. Geología Regional, Corredores, Canoas, Puntarenas**

**Simbología**

- Nacientes
- Fallas
- Geología**
  - Depósito Coluvio-Aluvional
  - Térraba
  - Formación Fila de Cal



Sistema de Coordenadas Planas:  
 Ocatepeque CR 1935 Lambert Sur  
 Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
 Hoja Canoas Instituto Geográfico Nacional 1988. (1:50000)  
 Geología y Fallas: Denyer et al. 2003 (1:50000)  
 Pozo: Hidrogeotecnia, 2016. (1:50000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI

Elaborado por:  
 HIDROGEOTECNIA Ltda.



### 2.1.2 GEOLOGÍA LOCAL

La geología de la zona donde afloran las dos nacientes de San Antonio está asociada a la Formación Fila de Cal, Figura 4.

En el caso de la naciente San Antonio 1, se observaron afloramientos de calizas de matriz blanca a color crema, densas dispuestas en bloques asociados a la meteorización, Fotografía 3. La naciente San Antonio 1 está asociada a un sistema cárstico el cual incluye fracturas abiertas y erosionadas por donde fluye el agua observada en el punto de captación. Aguas arriba de la naciente se midió una dirección de buzamiento NF con una inclinación de  $26^\circ$ . En la base de la naciente se observaron calizas más densas con menos fracturas, con una dirección de buzamiento hacia el  $N20^\circ E$  con una inclinación de  $35^\circ$  donde se interpreta la salida de agua subterránea a la variación del fracturamiento de la zona, asociada a su vez por un cambio del buzamiento local. La naciente San Antonio 1 descarga en una quebrada tipo intermitente sin nombre. La naciente San Antonio 1 está asociada a la Formación Fila de Cal, Fotografía 4.

En los alrededores de la naciente San Antonio 2 y propiamente en dicha naciente, se observó un suelo orgánico color café oscuro sobre bloques dispersos de calizas meteorizadas de la Formación Fila de Cal, Fotografía 5 y Fotografía 6.



*Fotografía 3: Afloramiento bloques de calizas aguas arriba naciente San Antonio 1, (589457 – 284620 Lambert Sur)*



*Fotografía 4: Afloramiento Formación Fila de Cal, naciente San Antonio 1 (coordenadas 589466 – 284622 Lambert Sur)*



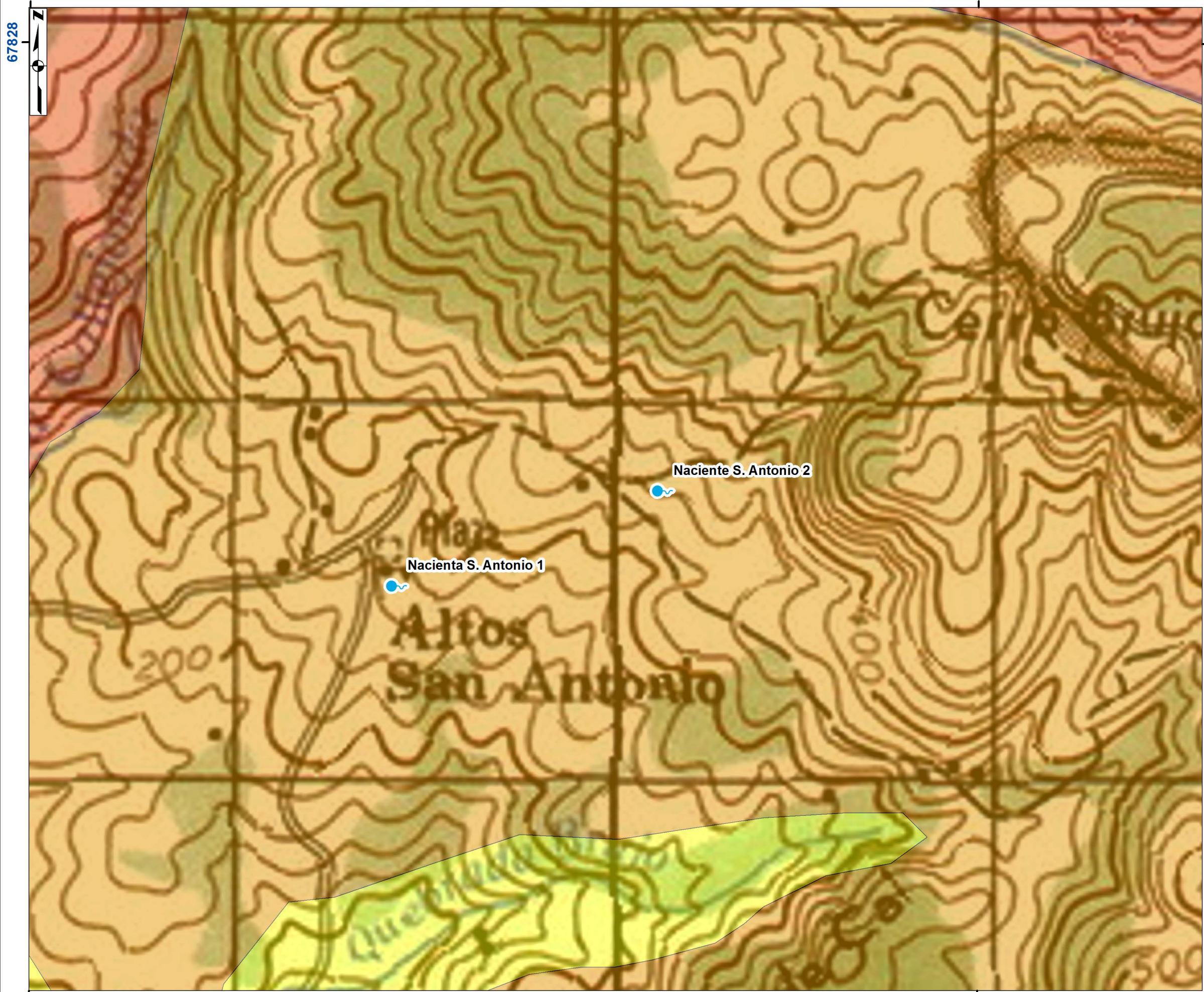
*Fotografía 5: Bloques meteorizados de la Formación Fila de Cal, naciente San Antonio 2 (coordenadas 590129– 284791 Lambert Sur)*



*Fotografía 6: Bloques de lavas andesíticas angulares y subredondeadas en zona de nacimiento San Antonio 2 (589983– 284816 Lambert Norte)*

661919

664419



661919

664419



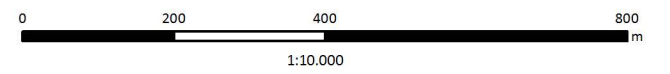
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo  
 UEN Gestión Ambiental del Recurso Hídrico  
 Área Funcional de Hidrogeología

Cor-4

### Figura 4. Geología Local. Corredores, Canoas, Puntarenas

#### Simbología

- Nacientes
  
- Geología**
- Depósito Coluvio-Aluvional
- Térraba
- Formación Fila de Cal

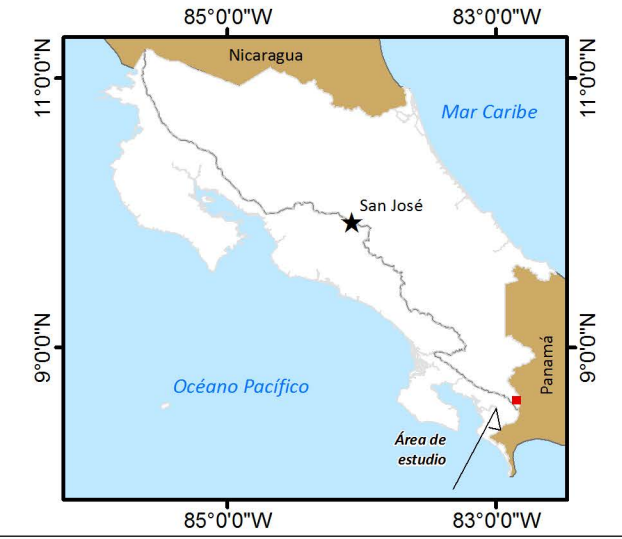


Sistema de Coordenadas Planas:  
 Ocoatepeque CR 1935 Lambert Sur  
 Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
 Hoja Canoas Instituto Geográfico Nacional 1988. (1:50000)  
 Geología y Fallas: Denyer et al. 2003 (1:50000)  
 Pozo: Hidrogeotecnia, 2016. (1:50000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI

Elaborado por:  
 HIDROGEOTECNIA, Ltda.



### 3 HIDROGEOLOGÍA

#### 3.1 HIDROGEOLOGIA REGIONAL

La hidrogeología de la zona y las curvas isofreáticas que definen la dirección del flujo del sistema acuífero existente en la zona, se basó con base en información obtenida en el campo, datos de concesiones en la Dirección de Aguas (MINAE, 2016), niveles topográficos de nacientes y perfil hidrogeológico realizado.

En el mapa de la Figura 5 se presentan las nacientes registradas por la Dirección de Aguas del MINAE (2016), Cuadro 2, Anexo 1. No hay pozos perforados registrados (SENARA, 2016) en la zona de estudio.

#### 3.2 HIDROGEOLOGIA LOCAL, NACIENTES SAN ANTONIO

Las condiciones hidrogeológicas para la naciente San Antonio 1 están asociadas a una diferencia en la dirección de buzamiento local aguas arriba (calizas meteorizadas y fracturadas) con relación a los materiales aguas abajo (calizas densas), ambas de la Formación Fila de Cal. Cabe aclarar que la naciente San Antonio 1 descarga agua subterránea en una quebrada intermitente Sin Nombre donde la captación está localizada en ambas márgenes de la quebrada intermitente Sin Nombre, Fotografía 7: Captación naciente San Antonio 1, (coordenadas 589366 – 284489 Lambert Norte).

La naciente San Antonio 2 está asociada al contacto local entre calizas meteorizadas y fracturadas sobre calizas sanas, ambas de la Formación Fila de Cal.



*Fotografía 7: Captación naciente San Antonio 1, (coordenadas 589366 – 284489 Lambert Norte), margen izquierda quebrada Sin Nombre*

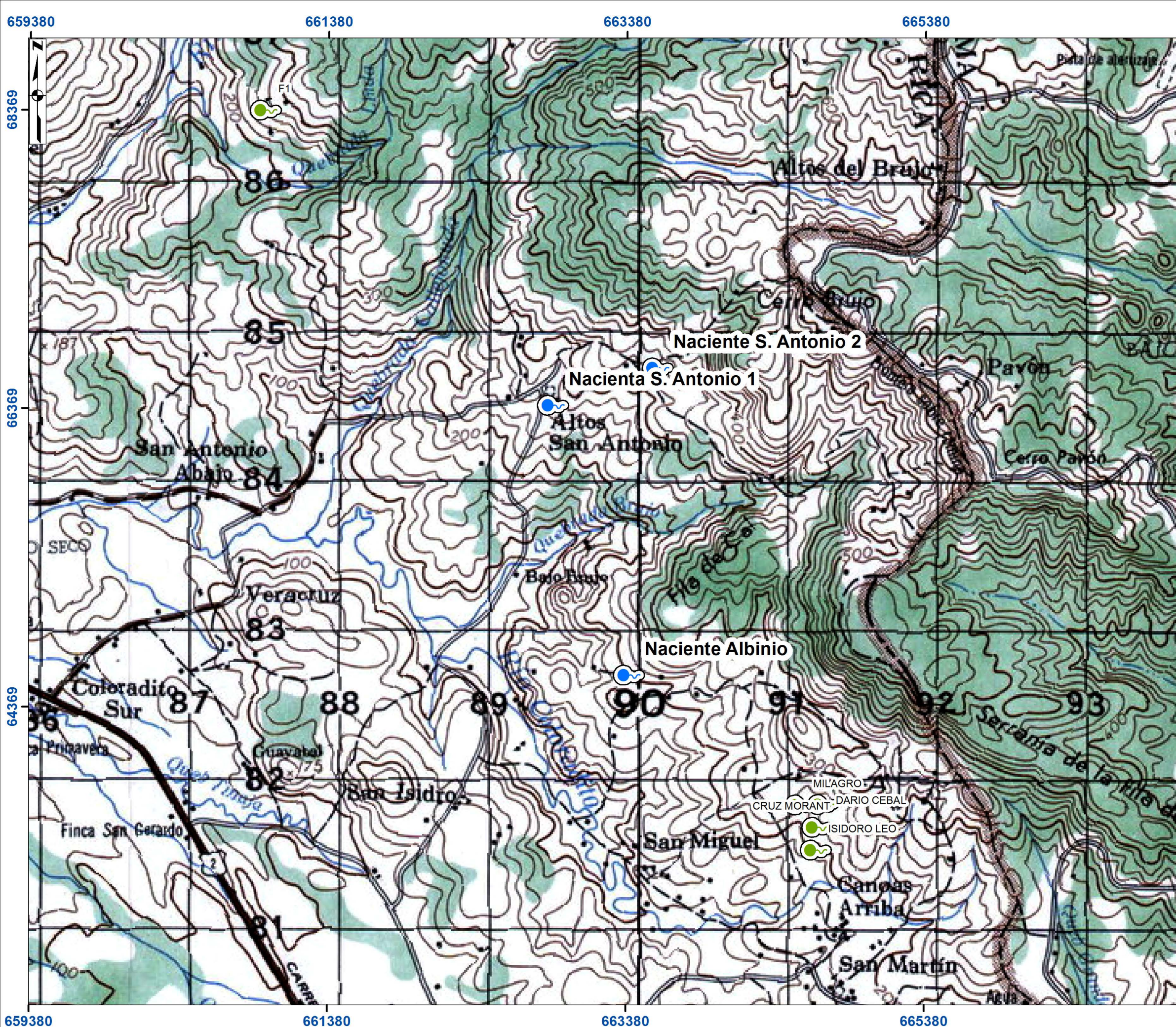


En el mapa de la Figura 5 se presentan las fuentes registradas por la Dirección de Aguas del MINAE (2016), Cuadro 2, Anexo 1. Las líneas equipotenciales se realizaron tomando como base dichas fuentes, nacientes de estudio, criterios topográficos en quebradas y nacientes; utilizando la metodología Di Weist (1979), Figura 5.

No hay pozos perforados registrados (SENARA, 2016) en un radio de 2 km, *Figura 5*.

*Cuadro 2. Lista nacientes MINAE (2016), nacientes San Antonio, Corredores, Puntarenas*

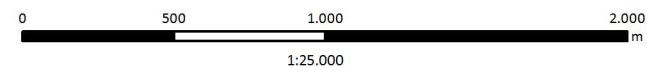
No Fuente	Latitud	Longitud	Concesionario	Estado Expediente	Tipo Expediente	Tipo Fuente
ISIDORO LEO E602	281542	591183	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
CRUZ MORANT E602	281695	591195	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
MILAGRO E602	281845	591082	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
DARIO CEBAL E602	281846	591232	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento



**Figura 5. Ubicación de nacientes cercanas Corredores Canoas, Puntarenas**

**Simbología**

- Nacientes
- Nacientes MINAE



Sistema de Coordenadas Planas:  
 Ocatepeque CR 1935 Lambert Sur  
 Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
 Hoja Canoas: Instituto Geográfico Nacional, 1988. (1:50000)  
 Pozos: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI Elaborado por:

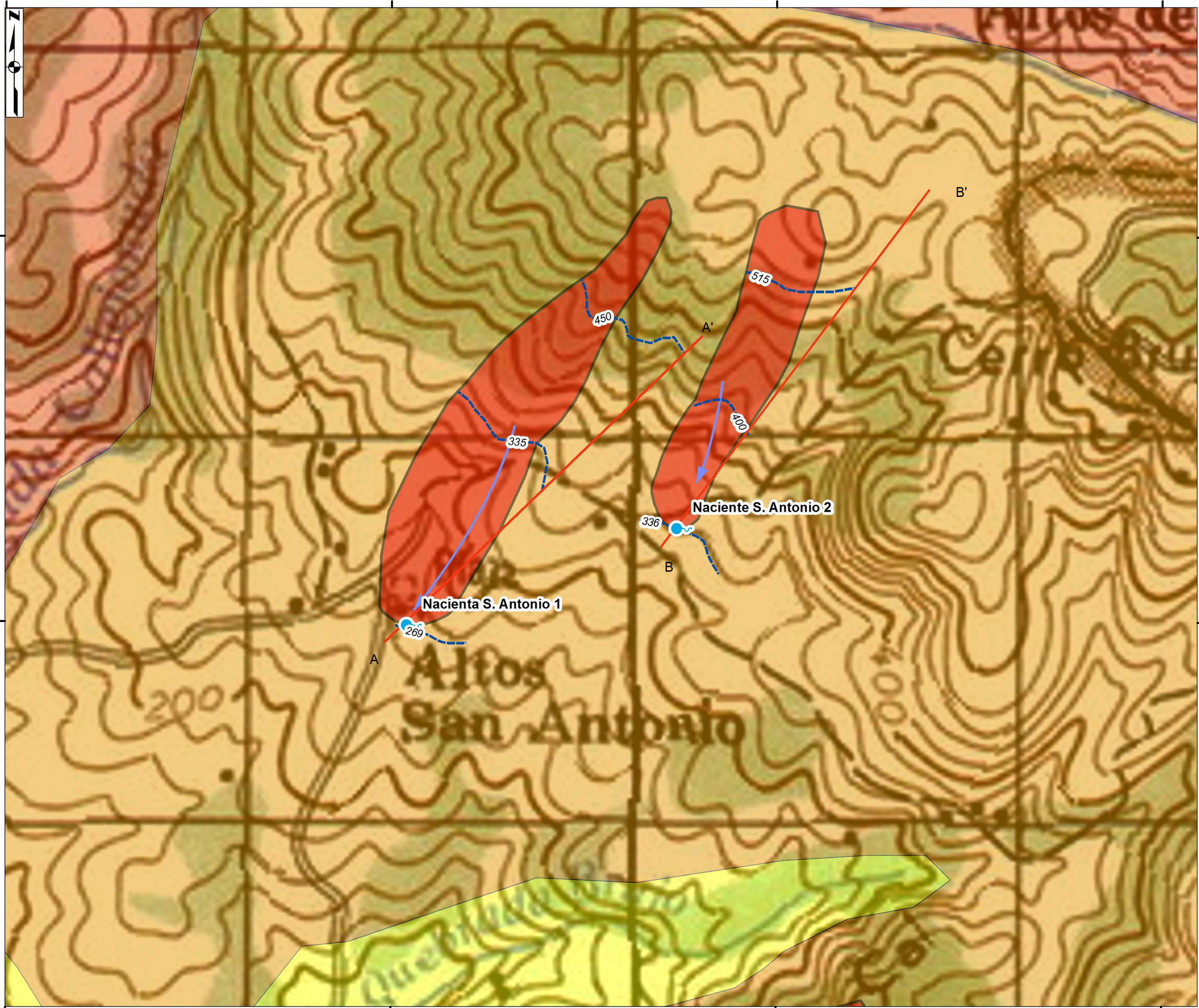


661834

662834

663834

664834



67405

67405

66405

66405

661834

662834

663834

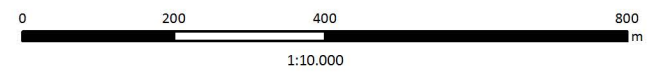
664834

**Figura 6. Elementos Hidrogeológicos.  
Corredores, Canoas, Puntarenas**

**Simbología**

- Nacientes
- Perfil
- Equipotenciales
- Flujo
- Microcuenca

- Geología**
- Depósito Coluvio-Aluvional
  - Terraba
  - Formación Fila de Cal



Sistema de Coordenadas Planas:  
Ocoetepeque CR 1935 Lambert Sur  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Hoja Canoas Instituto Geográfico Nacional 1988. (1:50000)  
Geología y Fallas: Denyer et al. 2003 (1:50000)  
Pozo: Hidrogeotecnia, 2016. (1:50000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI

Elaborado por:  
 HST  
HIDROGEOECNIA Ltda.



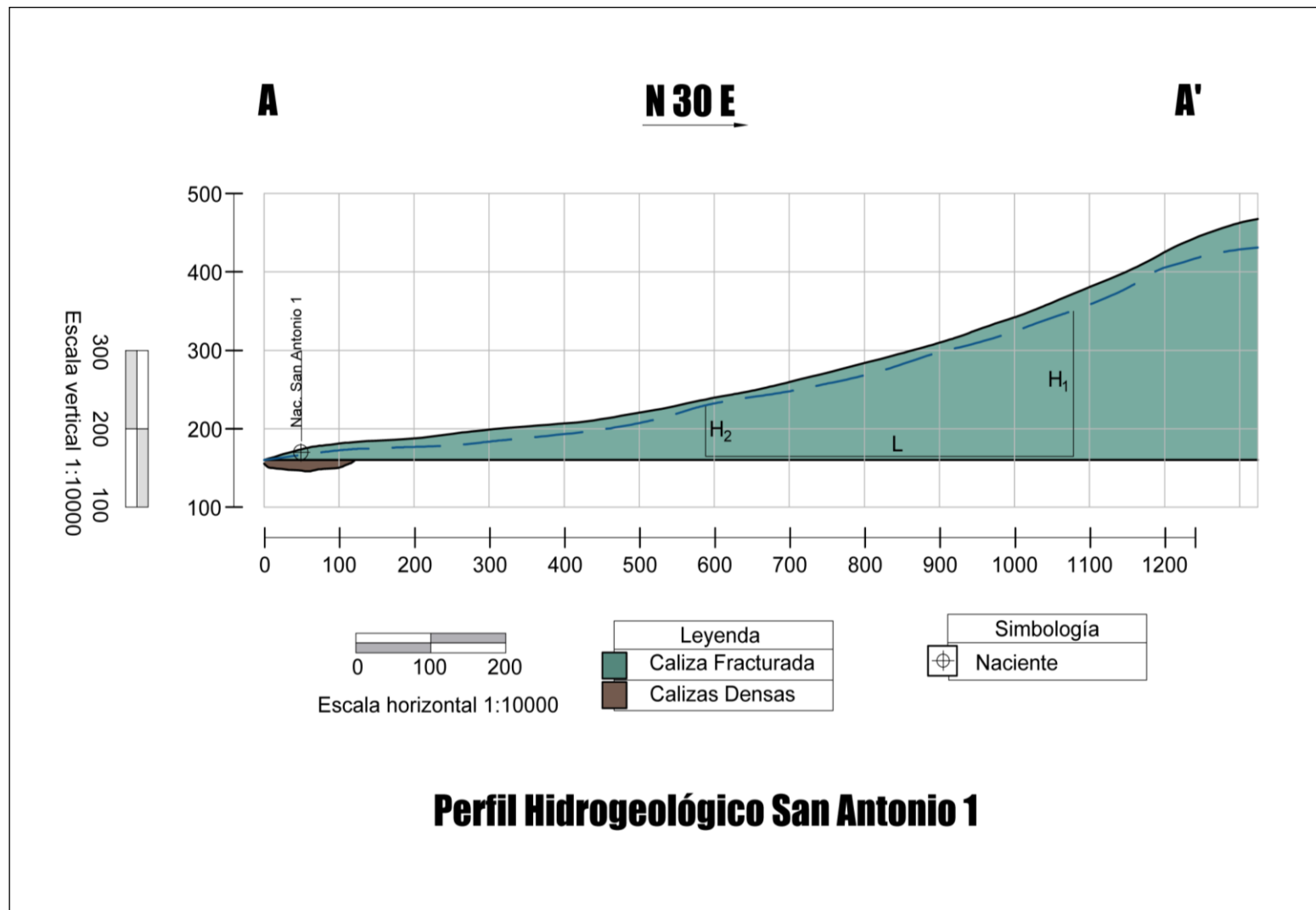


Figura 7. Perfil hidrogeológico fuente San Antonio 1.

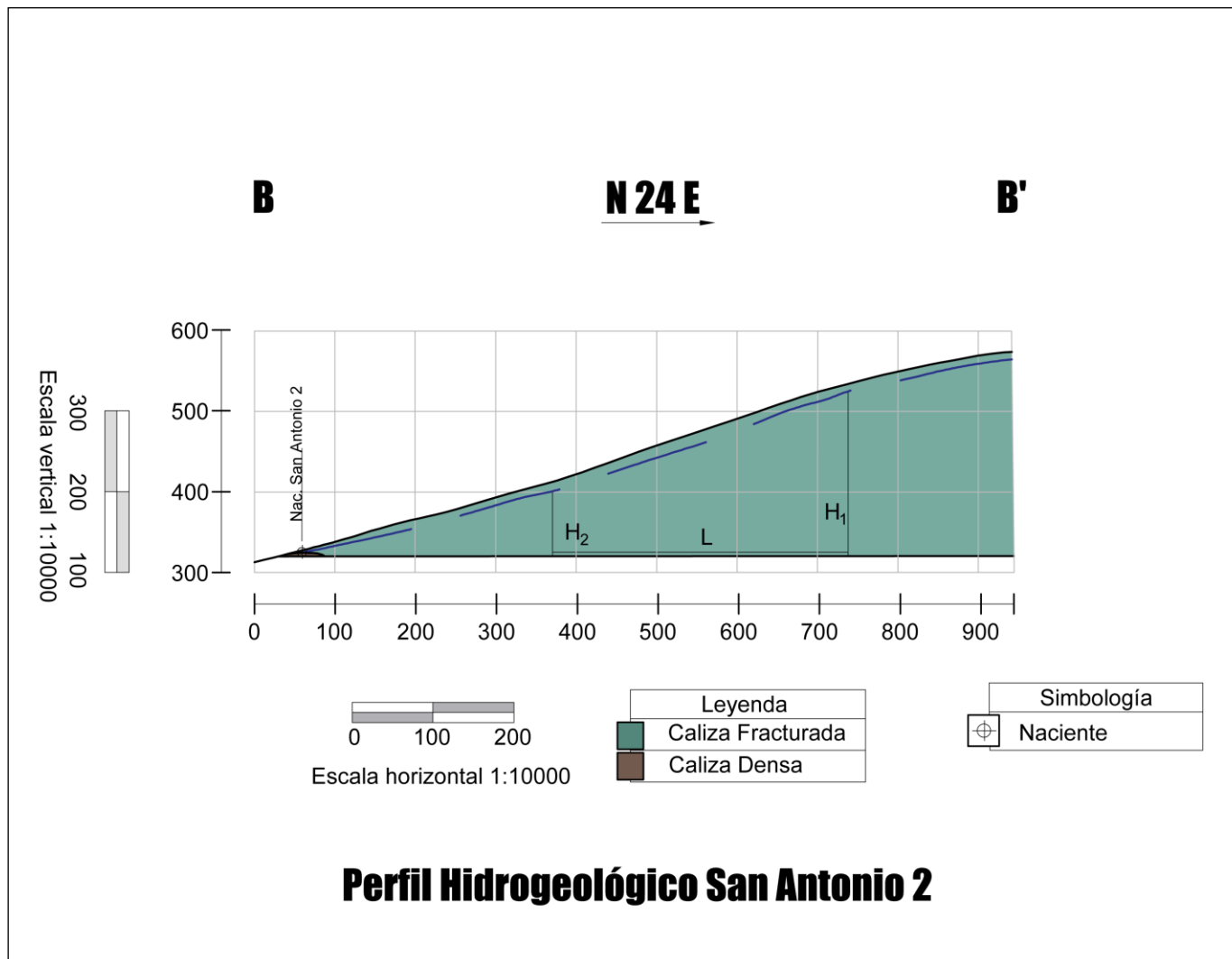


Figura 8. Perfil hidrogeológico fuente San Antonio 2







## 4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS

### 4.1 NACIENTES SAN ANTONIO

Se realizaron tres pruebas de porosidad para cada una de las nacientes analizadas, las cuales fueron llevadas al laboratorio INTA del Ministerio de Ganadería, Cuadro 3, Cuadro 3, Anexo 2.

Las muestras de porosidad fueron obtenidas de los mismos sitios donde se realizaron las pruebas de infiltración respectivas utilizando la metodología Porchet, Cuadro 3, Cuadro 5, Anexo 3, Figura 9.

Cuadro 3: Datos de infiltración y porosidad, nacientes San Antonio 1 y 2.

PUNTO	MUESTRA	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (m/d)	EST E (m)	NOR TE (m)	FOTO
Nac Altos San Antonio 1	#1 Nac San Antonio 1	56,04	0,55	626.324	951.641	
Nac Altos San Antonio 1	#2 Nac San Antonio 1	53,37	0,72	626.332	951.675	
Nac Altos San Antonio 1	#3 Nac San Antonio 1	54,44	0,60	626.391	951.666	
Nac Altos San Antonio 2	#1 Nac San Antonio 2	48,96	0,09	627.023	951.884	
Nac Altos San Antonio 2	#2 Nac San Antonio 2	57,32	0,10	627.054	951.949	
Nac Altos San Antonio 2	#3 Nac San Antonio 3	53,78	0,07	626.951	951.962	

Cuadro 4. Resultados de porosidad zona no saturada (INTA, 2016)

<b>Punto de muestreo para cada naciente</b>	<b>Porosidad (%)</b>
San Antonio 1.1	56,04
San Antonio 1.2	53,37
San Antonio 1.3	54,44
<b>Promedio</b>	<b>54,62</b>
San Antonio 2.1	48,96
San Antonio 2.2	57,32
San Antonio 2.3	53,78
<b>Promedio</b>	<b>53,35</b>

Cuadro 5. Resultados de permeabilidad (método Porchet)

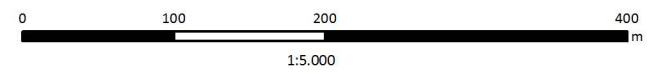
<b>Punto de muestreo para cada naciente</b>	<b>Permeabilidad (m/día)</b>
San Antonio 1.1	0,55
San Antonio 1.2	0,72
San Antonio 1.3	0,60
<b>Promedio</b>	<b>0,62</b>
San Antonio 2.1	0,09
San Antonio 2.2	0,10
San Antonio 2.3	0,07
<b>Promedio</b>	<b>0,087</b>



**Figura 9. Ubicación de las Infiltraciones, Corredores, Canoas, Puntarenas**

**Simbología**

- ▲ Infiltraciones San Antonio 1
- ▲ Infiltraciones San Antonio 2
- Nacientes

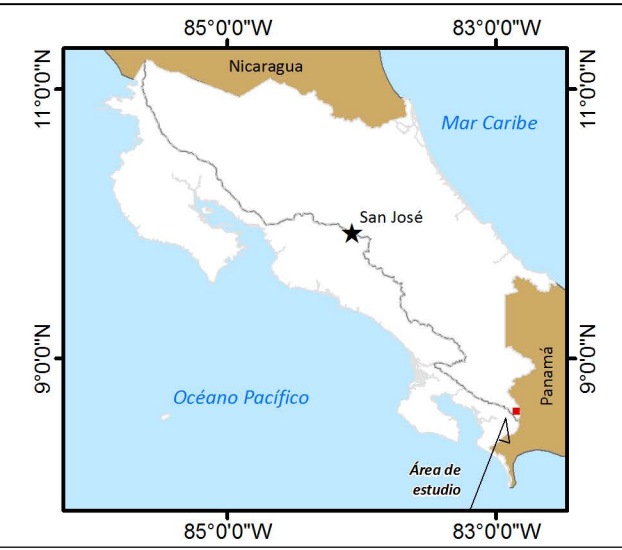


Sistema de Coordenadas Planas:  
Ocatepeque CR 1935 Lambert Sur  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Servicio WMS de ESRI, DigitalGlobe, 2012.  
Hidrografía y red vial: Restitución fotogramétrica del Programa de Regularización del Catastro y Registro, a partir de ortofotos Proyecto Carta 2005 - 2007. (1:5000)  
Infiltraciones, Nacientes: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI

Elaborado por:  
**HST**  
HIDROGEOTECNIA Ltda.



---

## 5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

### 5.1 NACIENTES SAN ANTONIO

En la zona de estudio se identifica un único acuífero de origen sedimentario asociado a rocas calizas de la Formación Fila de Cal. Las dos nacientes de San Antonio afloran en las calizas de la Formación Fila de Cal.

De acuerdo con análisis de elevación de las nacientes de San Antonio, nacientes registradas y quebradas de la zona de estudio, se tiene una dirección de flujo hacia el Suroeste de la zona de estudio, figura 7. Se realizaron dos perfiles hidrogeológicos donde se obtuvo el gradiente hidráulico y parámetros hidrogeológicos, Figura 6, Figura 7 y Figura 8.

El gradiente hidráulico obtenido para el análisis de las nacientes San Antonio 1 y 2, fue obtenido a partir de las líneas isofreáticas generadas por los perfiles hidrogeológicos respectivos, Figura 7 y Figura 8. En el caso de la naciente San Antonio 1, el gradiente es de 0,245, obtenida entre las líneas equipotenciales a 450 m.s.n.m. y 330 m.s.n.m. con una distancia en la horizontal de 490,4 m. Para el caso de la naciente San Antonio 2, el gradiente se obtuvo entre las equipotenciales a 515 m.s.n.m. y 400 m.s.n.m. con una distancia en la horizontal de 367,6 m entre sí y un valor obtenido de 0,313.

El espesor saturado corresponde con la sección de material promedio que está saturada con aguas subterráneas en cada uno de los perfiles hidrogeológicos elaborados. El espesor saturado promedio para naciente San Antonio 1 es de 139,0 m y para naciente San Antonio 2 es de 127,0 m. De acuerdo con los perfiles hidrogeológicos, el acuífero asociado a las nacientes San Antonio es tipo libre.

No hay pozos perforados registrados a un radio de 3 km, por lo que no se cuenta con datos hidrogeológicos para determinar la transmisividad hidráulica del acuífero a partir de pruebas de bombeo. Por lo tanto, los parámetros hidráulicos fueron obtenidos con base los datos obtenidos de perfiles hidrogeológicos para cada naciente, caudales registrados históricos de nacientes y geología de campo. Las direcciones de flujo varían siguiendo la topografía de la zona de estudio dado que se trata de acuífero tipo libre para ambas nacientes. Dichas líneas de flujo fueron obtenidas a partir de las líneas isofreáticas respectivas para cada perfil.

Los caudales se tomaron a partir de información aportada por la oficina Área Funcional Estudios Básicos del AyA (Anexo 4) y se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Caudales registrados nacientes San Antonio

<b>Naciente</b>	<b>Caudal mínimo promedio (l/s) período 1998-2016</b>	<b>Caudal promedio (l/s) período 1998-2016</b>	<b>Caudal máximo promedio (l/s) período 1998-2016</b>
San Antonio 1	12,21	46,44	113,04
San Antonio 2	3,0	10,0	17,0

## 6 ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES

### 6.1 Nacientes San Antonio

Las zonas de protección de las nacientes de San Antonio fueron definidas mediante el uso de métodos de análisis en zona no saturada y zona saturada, incluyendo tránsito de contaminantes, radio fijo, método Grubb.

La porosidad acuífera fue tomada de Custodio & Llamas (1984). La permeabilidad hidráulica del acuífero se obtiene a partir de la ecuación (1) descrita a continuación:

$$(1) T = k \times b$$

Donde k: conductividad hidráulica (m/día), la cual en este caso corresponde por tratarse de acuífero libre con la permeabilidad promedio de la zona no saturada obtenida para cada naciente

b: espesor acuífero, tomado del perfil hidrogeológico realizado para cada naciente, según se muestra en las figuras 8 y 9.

El Cuadro 7 incluye los parámetros hidráulicos del acuífero en el sector de nacientes San Antonio.

Cuadro 7. Parámetros hidráulicos del acuífero sector fuentes San Antonio

<b>Nº de naciente</b>	<b>Porosidad (%)</b>	<b>Permeabilidad (m/día)</b>	<b>Espesor promedio saturado de cada perfil hidrogeológico (m)</b>	<b>Transmisividad (m<sup>2</sup>/d)</b>
Naciente San Antonio 1	54,62	0,62	139,0	86,18
Naciente San Antonio 2	53,35	0,087	127,0	11,05

Es importante aclarar que, según las condiciones hidrogeológicas observadas, incluyendo verificación de geología aguas arriba y aguas abajo de cada nacimiento, todas éstas tienen un comportamiento de acuífero tipo libre. Las líneas equipotenciales se tomaron a partir de la geología de campo observada en el campo, la ubicación de las nacientes de estudio, así como la aplicación de la metodología descrita por Davis & Di Wiest (1976) en función de los niveles base de los cauces (ríos o quebradas).

El valor de transmisividad con el que se trabajó para cada nacimiento corresponde con el análisis de la permeabilidad obtenida en la zona no saturada la cual corresponde con conductividad hidráulica y espesor acuífero obtenido de cada perfil hidrogeológico por tratarse de acuífero libre con las condiciones geológicas similares en zona no saturada y zona saturada. El valor de gradiente hidráulico fue obtenido según las líneas equipotenciales obtenidas a partir de las nacientes estudiadas.

### 6.1.1 MÉTODO DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE DEGRADACIÓN DE BACTERIAS

Para determinar el ancho de la zona de captura o zona de influencia, se utiliza la fórmula hidráulica de Darcy (2) y (3) que estipula lo siguiente:

$$(2) Q = TIL$$

$$(3) L = Q/Ti$$

En el Cuadro 8, se resumen los datos hidráulicos para el cálculo de L para cada una de las nacientes.

Cuadro 8. Resumen de los datos hidráulicos para el cálculo de L según ecuación (2)

<b>Naciente No.</b>	<b>Transmisividad (m<sup>2</sup>/d)</b>	<b>Gradiente (adimensional)</b>	<b>Caudal promedio histórico (l/s) período 1998-2016</b>	<b>Caudal promedio histórico (m<sup>3</sup>/día) período 1998-2016</b>	<b>L (ancho del tubo de flujo) (m)</b>
San Antonio 1	86,18	0,245	46,44	4012,4	190,07
San Antonio 2	11,05	0,313	10,0	864,0	249,71

### ***Tránsito en la zona no saturada***

Considerando que el tiempo de residencia máxima de bacterias patógenas para flujos fisurados es de 100 días, se calcula el tiempo de tránsito para la zona no saturada según lo establecido en ecuación (4):

$$(4) \quad t = (b \cdot \theta) / k$$

donde

- b: es el espesor de la zona no saturada.
- $\theta$ : es la porosidad media del obtenido en el laboratorio del INTA para cada caso.
- K= es la permeabilidad de la zona no saturada, con base en las pruebas de Porchet realizadas para cada naciente.

Del análisis del tiempo de tránsito en la zona no saturada, se incluye el Cuadro 9.

*Cuadro 9. Resultados de tiempos de tránsito en la Zona No Saturada*

<b>Naciente No.</b>	<b>Espesor ZNS a partir observación campo en cada naciente(m)</b>	<b>Porosidad promedio (INTA, 2016)</b>	<b>Permeabilidad promedio pruebas Porchet (m/día)</b>	<b>t (tiempo de tránsito zona no saturada) días</b>
San Antonio 1	4,0	54,62	0,62	3,52
San Antonio 2	5,1	53,35	0,087	31,27

Como el tiempo tránsito para medios fisurados se ha estimado en 100 días (Lewis, Foster y Drassar, 1992 en Rodríguez, H, 1994), se observa que al hacer el cálculo para la zona no saturada (ZNS) y el tiempo de tránsito vertical el valor en días NO supera los 100 días para la degradación de las bacterias patógenas, Cuadro 10.

Por lo tanto, se calcula el tiempo de tránsito en la zona saturada (ZS) para eliminar las bacterias y conocer la zona de protección absoluta de cada naciente, tomando en cuenta la diferencia entre 100 menos los días obtenidos en la zona no saturada para cada una, que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Diferencia entre los 100 días menos los obtenidos del cálculo de la ZNS

<b>Naciente No.</b>	<b>Tiempo de tránsito obtenido de la ZNS (días)</b>	<b>Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)</b>
San Antonio 1	3,52	96,48
San Antonio 2	31,27	68,73

### **Tránsito en la zona saturada**

La fórmula de Darcy (ecuación 5) se establece para el cálculo en la Zona Saturada (ZS), Cuadro 9:

$$(5) \quad t = (d \cdot \theta) / (k \cdot i)$$

donde:

t: tiempo restante vida bacterias

d: distancia de desplazamiento

$\theta$ : porosidad zona saturada calizas no carstificadas

k: Permeabilidad acuífera

i: gradiente hidráulica

Cuadro 9. Parámetros hidrogeológicos para determinación de la zona de protección zona saturada

<b>Naciente No.</b>	<b>Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)</b>	<b>Porosidad Efectiva promedio (Sanders, 1998)</b>	<b>Conductividad hidráulica (m/día) *</b>	<b>Gradiente del acuífero para cada naciente (adimensional)</b>	<b>Distancia de la zona de protección inmediata Método Bacterias (m)</b>
San Antonio 1	96,48	20	0,62	0,245	73,28
San Antonio 2	68,73	20	0,087	0,313	9,36

\*:  $T = k \times b$ , donde T corresponde con valor de transmisividad y b corresponde con promedio del espesor saturado para cada perfil hidrogeológico

El resultado de distancia de zona de protección mediante método bacteriológico da una longitud 73,28 m para la naciente San Antonio 1 y 9,36 m para San Antonio 2. Dicha diferencia se da principalmente por la diferencia en los valores de infiltración obtenidos en el campo.

### 6.1.2 MÉTODO DEL RADIO FIJO AGUAS ARRIBA NACIENTES

Para calcular el radio fijo de la naciente analizada, se utiliza la fórmula (6) que fue publicada en el diario oficial La Gaceta No. 147 del 31 de julio del 2012. Dicha metodología incluye la ecuación analítica de Darcy, con base en el siguiente planteamiento, *Cuadro 10*:

$$(6) \quad r = \sqrt{(Q*t/n*n*b)}$$

donde:

- Q= caudal de cada naciente en m<sup>3</sup>/d.
- t= días remanentes luego del cálculo de la zona no saturada (ZNS).
- n= porosidad de las rocas que albergan al acuífero.
- b= espesor acuífero obtenido de cada perfil hidrogeológico

Cuadro 10. Resumen de datos y resultados Método Radio Fijo

Naciente No.	Caudal promedio histórico (m <sup>3</sup> /d)	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)	Porosidad Efectiva promedio (Sanders, 1998)	Espesor saturado del acuífero para cada naciente (m)	Distancia de la zona de protección inmediata Método Radio Fijo (m)
San Antonio 1	4012,4	96,48	20	139,0	66,59
San Antonio 2	864,0	68,73	20	127,0	27,29

### 6.1.3 MÉTODO DE GRUBB

Para utilizar el método de Grubb (1993), se aplica la fórmula (7):

$$(7) \quad Y = Q L / ( k(h_1^2 - h_2^2) )$$

Para cada naciente se presenta el resumen del valor obtenido según aplicación de la ecuación (7), Cuadro 11.

Cuadro 11. Resultados por medio del Método Grubb.

Naciente No.	Caudal Promedio de cada naciente (m <sup>3</sup> /d)	L Longitud entre dos puntos de observación del NF (m)	Conductividad hidráulica (m/día)	h1	h2	Y (m)	2Y (m)
San Antonio 1	4012,4	490,4	0,62	190,0	70,0	101,72	203,44
San Antonio 2	864,0	367,6	0,087	195,0	77,5	114,02	228,03

### - Punto de no retorno

Para determinar la zona del punto de no retorno ecuación (8) se analiza:

$$(8) \text{ Punto No Retorno (estancamiento): } Q \times L / \pi \times k (h_1^2 - h_2^2)$$

En el *Cuadro 12* y Figura 10 presenta el resumen de las zonas de protección obtenidos por diferentes métodos y las ecuaciones aplicadas por naciente.

Cuadro 12. Cuadro resumen

Fuente	Distancia zona saturada para 100 días	Ancho tubo flujo protección Darcy	Ancho (Ymax) Grubb	Punto No Retorno	Radio fijo	"X" Límite de zona de captura a divisoria aguas microcuenca
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
San Antonio 1	73,28	190,07	101,72	32,38	66,59	1300
San Antonio 2	9,36	249,71	114,02	36,29	27,29	885

Se calcularon los puntos de no retorno para cada naciente sin embargo, por criterio de experto y análisis de campo, se recomienda mantener un área aguas abajo para cada naciente de 15 m como medida de prevención, aunque las nacientes por su características no incluyen un punto de no retorno. Dicha zona aguas abajo del brote corresponde a la zona de protección operativa.

En el caso de las nacientes de San Antonio, según de los resultados de las distintas zonas de protección obtenidas, las zonas de protección absoluta aguas arriba de la naciente San Antonio 1 corresponde con



---

73,28 m, distancia obtenida según análisis del tiempo zona saturada. El ancho de dicha zona de protección corresponderá a las condiciones hidrogeomorfológicas.

En el caso de la Naciente San Antonio 2, la zona de protección absoluta tiene una distancia aguas arriba de 27,29 m a partir de la metodología del radio fijo con un ancho correspondiente a las condiciones hidrogeomorfológicas.

Para ambas nacientes, deben existir zonas reguladas, donde debe imperar el manejo integral del recurso hídrico y se contemplen buenas prácticas ambientales, agrícolas y antrópicas. Las zonas reguladas se extienden aguas arriba de cada una de las nacientes, según el criterio hidrogeomorfológico hasta la divisoria de cada microcuenca.

A continuación, se muestran las zonas de protección de las 2 nacientes en estudio, a partir de la Figura 10 a 13.

663269

663769

664269

664769

67479

67479

66979

66979

663269

663769

664269

664769



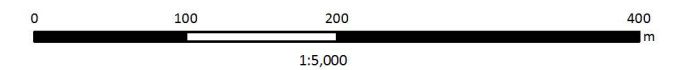
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo  
UEN Gestión Ambiental del Recurso Hídrico  
Área Funcional de Hidrogeología

Cor-11

### Figura 13. Zonas de protección bacteriológica de la Naciente San Antonio 2 Corredores Puntarenas

#### Simbología

- Nacientes
- Equipotenciales
- Flujo
- Zona de protección regulada
- Zonas de protección absoluta (Operacional)
- Zona de protección absoluta (Vulnerabilidad Media)

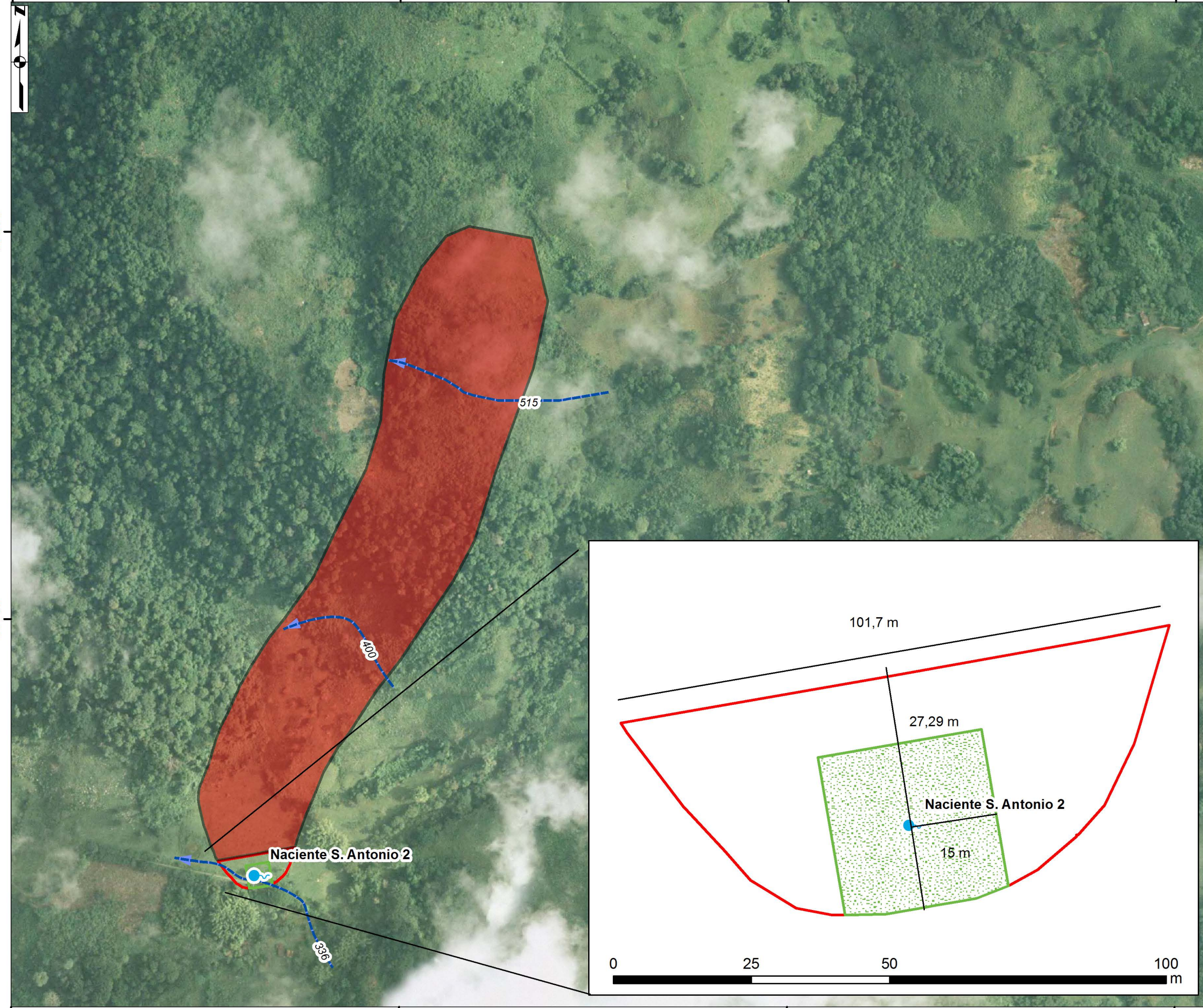
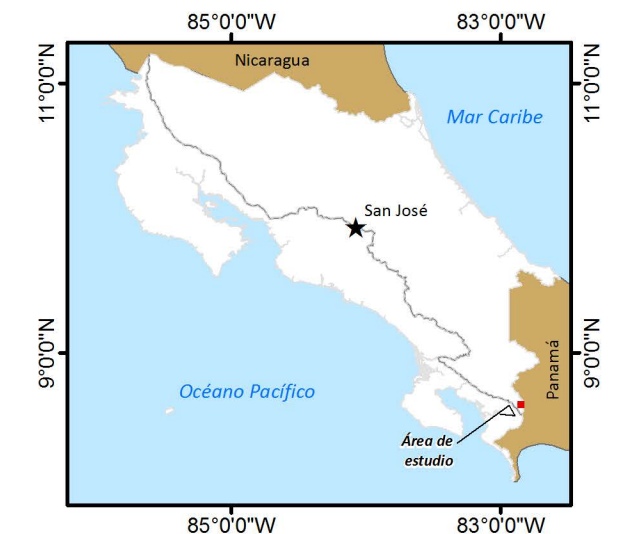


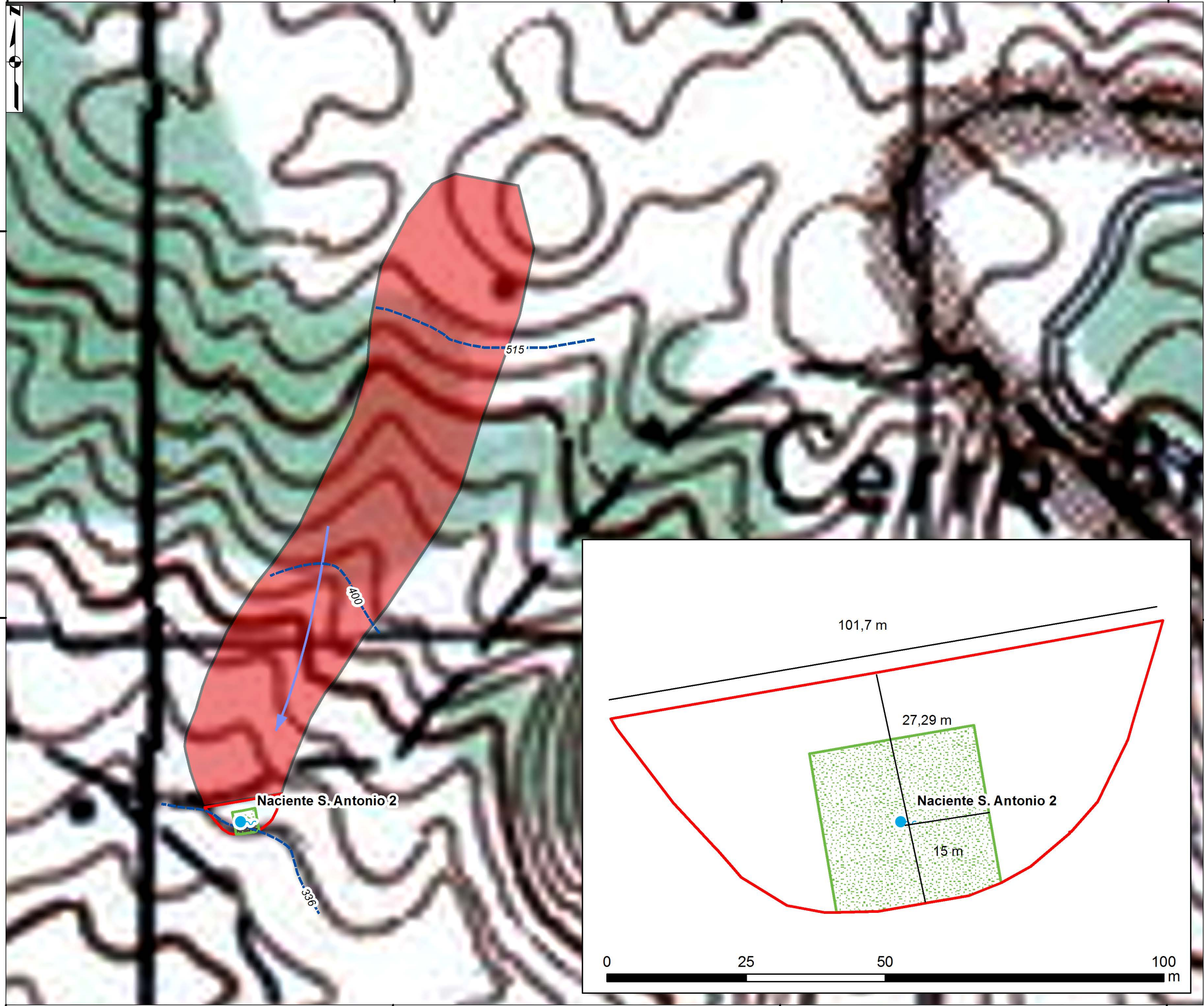
Sistema de Coordenadas Planas:  
Orotepeque CR 1935 Lambert Norte  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Servicio WMS de ESRI, DigitalGlobe, 2012.  
Fallas, fracturas y geología: CNE, 2014. (1:50000)  
Zonas de protección, equipotenciales, Flujo y Nacientes: Hidrotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI

Elaborado por:  
**HST** HIDROGEOTECNIA Ltda.

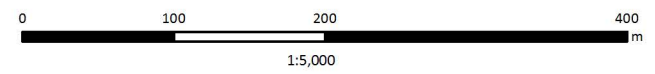




**Figura 12. Zonas de protección bacteriológica de la Naciente San Antonio 2 Corredores Puntarenas**

**Simbología**

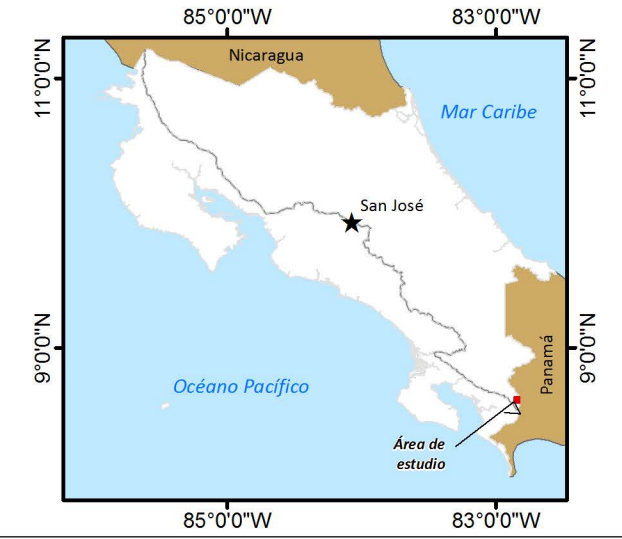
- Nacientes
- Equipotenciales
- Flujo
- Zonas de protección absoluta (Operacional)
- Zona de protección absoluta (Vulnerabilidad Media)
- Zona de protección regulada

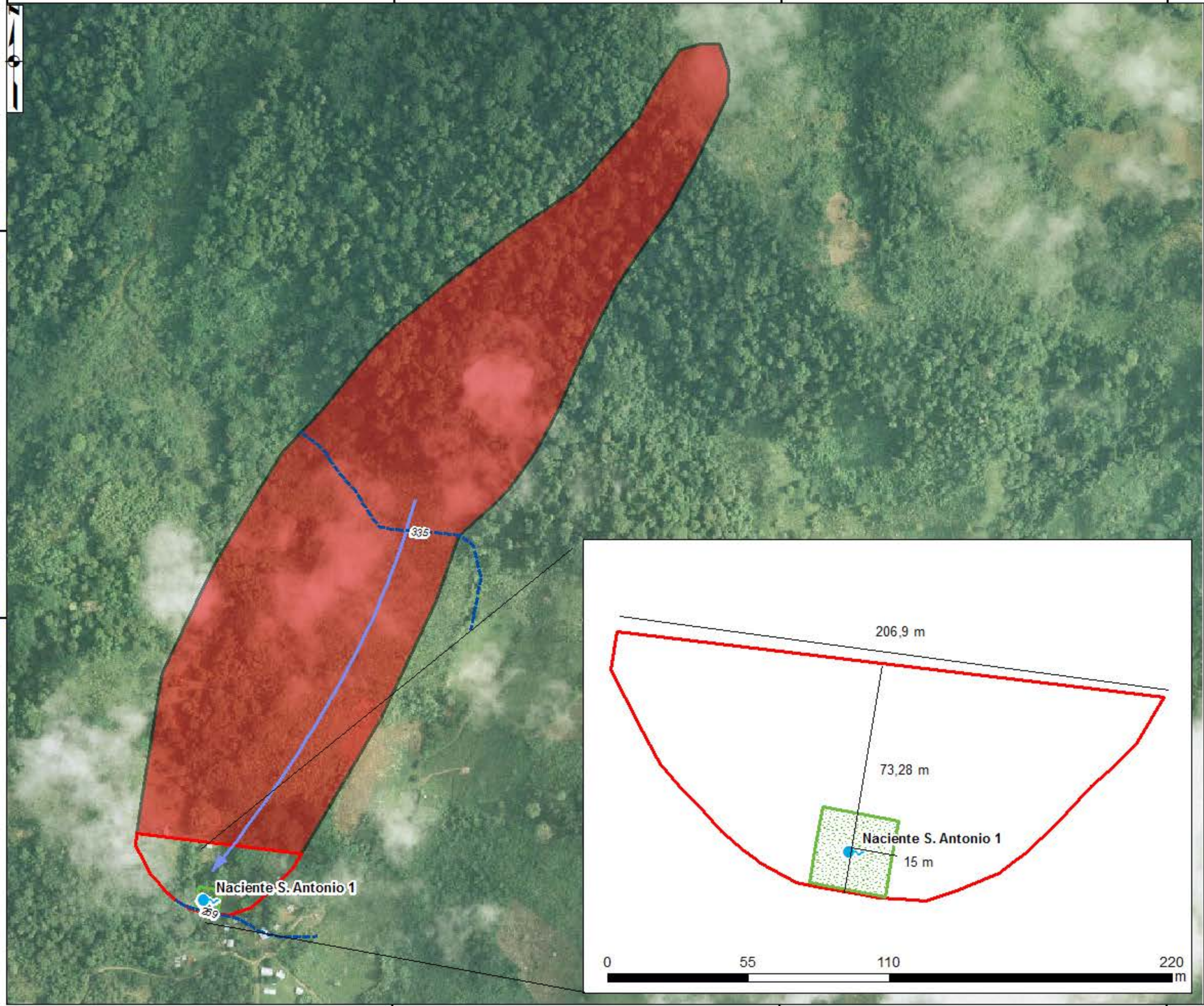


Sistema de Coordenadas Planas:  
 Ocoatepeque CR 1935 Lambert Norte  
 Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
 Servicio WMS de ESRI, DigitalGlobe, 2012.  
 Fallas, fracturas y geología: CNE, 2014. (1:50000)  
 Zonas de protección, equipotenciales, Flujo y Nacientes: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AyA: 2016CDS-00018-PRI Elaborado por: HIDROGEOTECNIA Ltda.





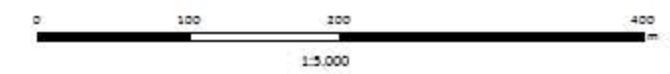
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 Subgerencia Ambiente, Investigación y Desarrollo  
 UEN Gestión Ambiental del Recurso Hídrico  
 Área Funcional de Hidrogeología

Cor-9

**Figura 11. Zonas de protección bacteriológica de la Naciente San Antonio 1 Corredores, Puntarenas**

**Simbología**

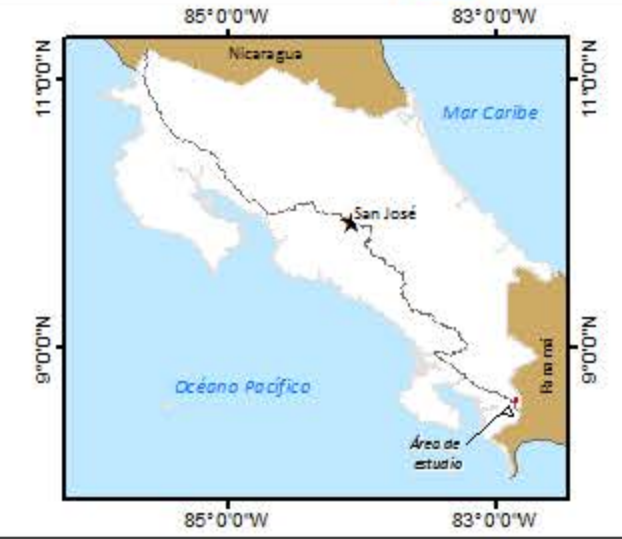
- Nacientes
- Equipotenciales
- Flujo
- Zonas de protección absoluta (Operacional)
- Zona de protección absoluta (Vulnerabilidad Media)
- Zona de protección regulada



Sistema de Coordenadas Planas:  
 Orotepeque CR 1935 Lambert Norte  
 Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
 Servicio WMS de ESRI, DigitalGlobe, 2012.  
 Fallas, fracturas y geología: CNE, 2014. (1:50000)  
 Zonas de protección, equipotenciales, Flujo y Nacientes: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación AYA: 2016CD5-00018-PRI





**Figura 10. Zonas de protección bacteriológica de la Naciente San Antonio 1, Corredores, Puntarenas.**

**Simbología**

- Nacientes
- Equipotenciales
- Flujo
- Zonas de protección absoluta (Operacional)
- Zona de protección absoluta (Vulnerabilidad Media)
- Zona de protección regulada

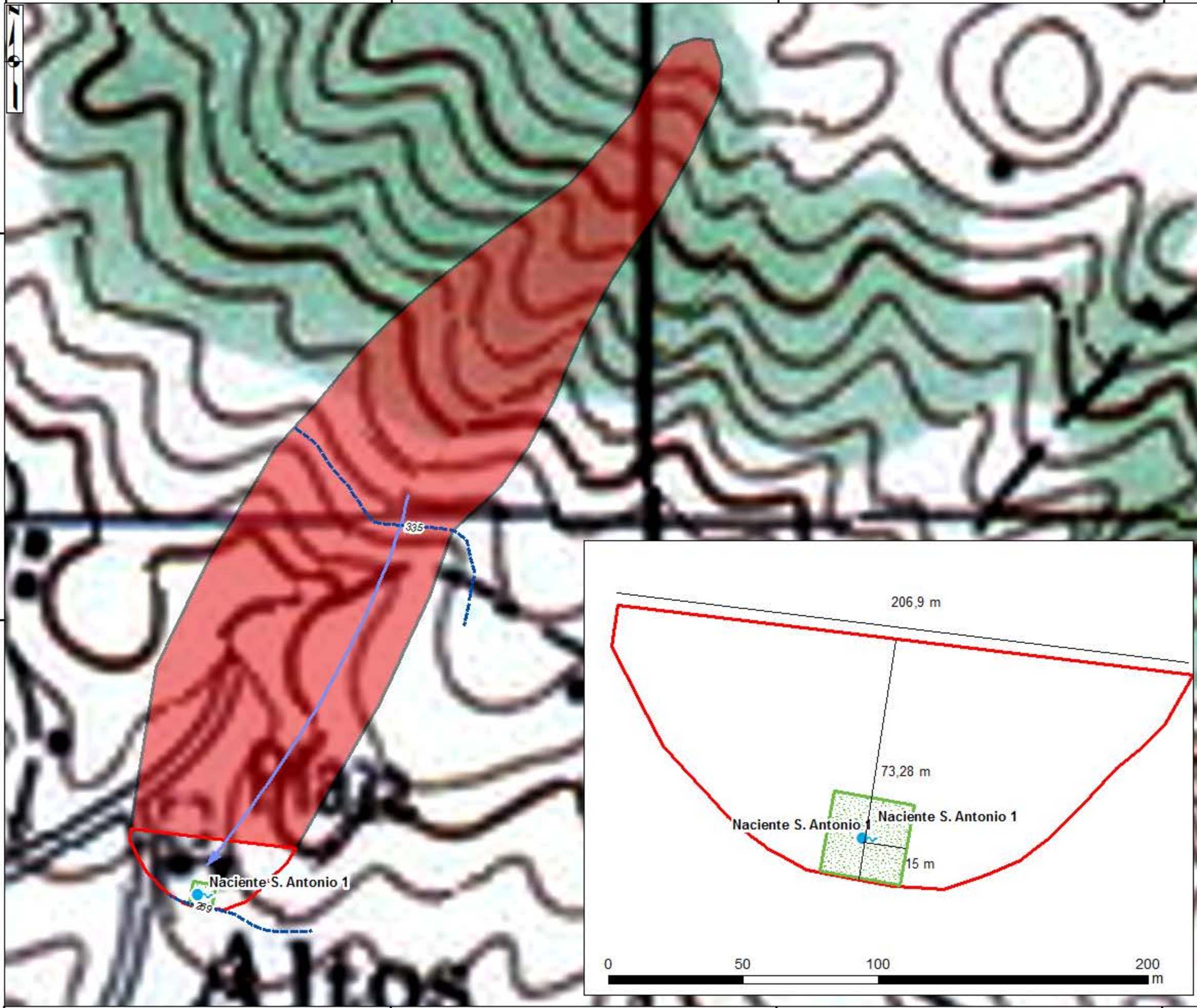
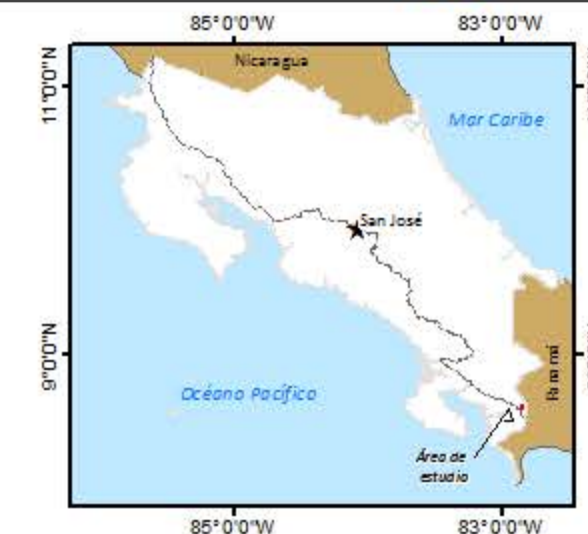


Sistema de Coordenadas Planas:  
Ocoetepeque CR 1935 Lambert Norte  
Fecha: Junio, 2016

Fuente de datos:  
Servicio WMS de ESRI, DigitalGlobe, 2012.  
Fallas, fracturas y geología: CNE, 2014. (1:50000)  
Zonas de protección, equipotenciales, Flujo y Nacientes: Hidrogeotecnia 2016 (1:5000)

Contratación Aya: 2016CD5-00018-PRI

Elaborado por:  
**HST** HIDROGEOLOGIA LTDA





---

## **7 CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES**

En el Anexo 5 se adjuntan los resultados físicos químicos y bacteriológicos aportados por el AyA, oficina cantonal Corredores, donde mediante Informe de Resultados AyA-ID-00550-2016 del Laboratorio Nacional de Aguas, se indican las condiciones ambientales del agua para nacimiento San Antonio 1. El Informe de Resultados AyA-ID-00551-2016 muestra las condiciones ambientales del agua para nacimiento San Antonio 2. A partir del detalle de los reportes de resultados para los distintos análisis, las condiciones de las nacientes San Antonio 1 y 2, están dentro de los valores recomendados.

## **8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD CON EL MÉTODO DE EPIK**

A continuación, se presenta el análisis, para determinar su condición de vulnerabilidad utilizando el método EPIK Doerfliger y Zwahlen (1997) (Figura 14), el cual asigna vulnerabilidades crecientes a medida que disminuyen los valores relativos de los parámetros considerados, ya que apunta a definir factor de protección del acuífero en lugar de vulnerabilidad.

En los cuadros 14 y 15 se muestra el análisis de vulnerabilidad de cada nacimiento en estudio.



Morfología kárstica observada (correspondiente al epikarst). Morfología kárstica ausente.	E <sub>1</sub>	Cuevas, sumideros, dolinas, lapiazes, relieves ruinosos, cuevas.	
	E <sub>2</sub>	Zonas intermedias situadas en alineaciones de dolinas, uvalas, valles secos, cañones y poljes.	
	E <sub>3</sub>	Resto del área de alimentación.	
Ausencia de cubierta de protección.		A. Suelo directamente sobre las formaciones calcáreas o formaciones detríticas con muy alta conductividad hidráulica*.	B. Suelo sobre más de 20 cm de formación geológica de baja conductividad hidráulica**.
	P <sub>1</sub>	0 – 20 cm de suelo.	
	P <sub>2</sub>	20 – 100 cm de suelo.	20 – 100 cm de suelo y formaciones de baja conductividad hidráulica.
	P <sub>3</sub>	> 1 m de suelo.	> 1 m de suelo y formaciones de baja conductividad hidráulica.
Importante cubierta de protección.	P <sub>4</sub>		> 8 m de formaciones de baja conductividad hidráulica o > 6 m de formaciones de baja conductividad hidráulica con > 1 m de suelo (medidas puntuales necesarias).
Infiltración concentrada.	I <sub>1</sub>	Sumideros perennes o temporales – riberas y lechos de cursos de agua perennes o temporales que alimentan a los sumideros, con infiltración de agua superficial – zonas del área de alimentación del curso de agua con drenaje artificial.	
	I <sub>2</sub>	Zonas del área de alimentación del curso de agua que no son drenadas artificialmente y en las que la pendiente es mayor del 10 % para zonas de cultivo y del 25 % para pastos y prados.	
	I <sub>3</sub>	Zonas del área de alimentación del curso de agua que no son drenadas artificialmente y en las que la pendiente es menor del 10 % para zonas de cultivo y del 25 % para pastos y prados. Fuera del área de alimentación de los cursos de agua: las bases de las pendientes y pendientes pronunciadas (pendiente mayor del 10 % para zonas de cultivo y del 25 % para pastos y prados) en las que se infiltra el agua de escorrentía.	
Infiltración difusa.	I <sub>4</sub>	Resto del área de alimentación	
Red kárstica bien desarrollada.	K <sub>1</sub>	Red kárstica bien desarrollada, con conductos decimétricos a métricos con escaso relleno y bien conectados.	
Red kárstica poco desarrollada.	K <sub>2</sub>	Red kárstica pobremente desarrollada, con conductos o drenes de tamaño decimétrico o menor pobremente interconectados o rellenos.	
Acuífero mixto o fisurado.	K <sub>3</sub>	Zona de descarga en medio con porosidad intergranular con una posible influencia de protección – acuífero fisurado no kárstico.	

Parámetro	E	P	I	K
Coefficiente de ponderación	α	β	γ	δ
Peso relativo	3	1	3	2

E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
1	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3

Vulnerabilidad	Índice de protección
Muy alta	F entre 9 y 19
Alta	F entre 20 y 25
Moderada	F mayor de 25
Baja	F mayor de 25, con la presencia de las categorías P <sub>4</sub> + I <sub>3,4</sub>

Figura 14. Diagrama determinación de vulnerabilidad acuífera  
Fuente: Doerfliger y Zwahlen (1997)



## 8.1 ACUÍFERO CALIZAS, FISURADO

Cuadro 13. Acuífero calizas – Naciente San Antonio 1

Clasificación EPIK	Descripción del factor	Valoración de parámetros	Factores de ponderación	Grado de vulnerabilidad
Variable E (Epikarst)	Ausencia de morfología epikárstica (E3)	3,0	a (3)	Media
Variable P (Cobertura protectora)	Cubierta protectora de espesor medio (P3)	3,0	b (1)	
Variable I (Condiciones infiltración)	Zonas con pendientes moderadas (I2)	2,0	g (3)	
Variable K (Desarrollo sistema kárstico)	Acuífero kárstico con fisuración (K3)	3,0	d (2)	

Cuadro 14. Acuífero calizas – Naciente San Antonio 2

Clasificación EPIK	Descripción del factor	Valoración de parámetros	Factores de ponderación	Grado de vulnerabilidad
Variable E (Epikarst)	Ausencia de morfología epikárstica (E3)	3,0	a (3)	Media
Variable P (Cobertura protectora)	Cubierta protectora de baja permeabilidad (P4)	4,0	b (1)	
Variable I (Condiciones infiltración)	Zonas con pendientes moderadas (I2)	2,0	g (3)	
Variable K (Desarrollo sistema kárstico)	Acuífero kárstico con fisuración (K3)	3,0	d (2)	

De acuerdo con el análisis de vulnerabilidad utilizando la metodología EPIK, Doerfliger y Zwahlen (1997) se tiene un grado de vulnerabilidad medio para el acuífero donde se encuentran las nacientes de San Antonio 1 y San Antonio 2, asociado a la Formación Fila de Cal.



---

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) En la zona de estudio donde se encuentran las nacientes del AyA de San Antonio, Corredores, se encuentra un acuífero de origen sedimentario asociado a la Formación Fila de Cal.
- 2) La naciente San Antonio 1 está asociada a una diferenciación entre calizas con fracturas subyaciendo calizas densas sin presencia de fracturamiento secundario. La naciente San Antonio 2 está asociada a coluvios de la formación Fila de Cal.
- 3) Las zonas de protección para cada naciente varían con base en las diferencias entre sus caudales y parámetros hidráulicos obtenidos de cada perfil hidrogeológico y observación de geología de campo. Las dos nacientes de San Antonio se encuentran en zonas con coberturas boscosas, permitiendo así un amortiguamiento a los contaminantes bacteriológicos. Sin embargo, es recomendable mantener un radio de protección aguas abajo de cada naciente de 15 m para evitar afectación de éstas.
- 4) La determinación de las zonas de protección absoluta aguas arriba equivale varía según la naciente. La zona de protección de la naciente San Antonio 1 corresponde con 73,28 m, distancia obtenida según tránsito de contaminantes para zona saturada. El ancho de dicha zona de protección corresponde con las condiciones hidrogeomorfológicas.  
En el caso de la Naciente San Antonio 2, la zona de protección absoluta tiene una distancia aguas arriba de 27,29 m obtenido a partir de la metodología e Radio Fijo y el ancho se obtiene a partir de las condiciones hidrogeomorfológicas.
- 5) La zona de protección regulada corresponde con la distancia entre la longitud máxima de la zona de protección absoluta y la divisoria de aguas de cada microcuenca.
- 6) La vulnerabilidad analizada a partir del método EPIK, demuestra que las zonas de protección inmediata para las nacientes presentan una categoría de vulnerabilidad media.
- 7) A partir de los análisis de calidad de aguas se tiene que las aguas de las nacientes San Antonio 1 y San Antonio 2 reúnen condiciones óptimas ambientales.



---

8) Se recomienda realizar análisis de calidad de aguas y mediciones de caudales mínimo semestrales para monitorear el comportamiento de los manantiales a lo largo del año hidrológico y verificar si se mantiene su calidad en el tiempo y la cantidad.

9) En la zona de protección absoluta no se recomienda realizar actividades tipo agrícola, pecuario, ubicación de tanques sépticos, actividad industrial entre otros. Se recomienda de sobremanera mantener la cobertura boscosa existente aguas arriba de las dos nacientes.



---

## 10 REFERENCIAS

- ALVARADO, G., BARQUERO, R., TAYLOR, W., MORA, M., PERALDO, G., SALAZAR, G & AGUILAR, T., 2009: Geología de la Hoja de San Isidro, Costa Rica.-Rev. Geol. De Amér. Central, 40: 111-122.
- Dengo, G., 1962a: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica.- En: ENGEL, A.E.J., JAMES, H.J.. & LEONARD, B. F. (eds): A volume to honor A.F. Budington.- Geol. Soc. Amer. Spec. Vol.: 133-161.
- MALAVASSI, E., 1961: Some Costa Rican larger foraminiferal localities.- J.Paleont. 35: 498-501.
- MORA, C., 1979: Estudio Geológico de una Parte de la Región Sureste del Valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica.- 144 págs. Univ. de Costa Rica, San José (Tesis Lic.).
- OBANDO, G. & KUSSMAUL, S., 2009: Geología de la Hoja de Buenos Aires, Costa Rica.- Rica.- Rev. Geol. De Amér. Central, 41: 123-136.
- SPRECHMANN, P., 1984: Manual de Geología de Costa Rica.-Ed. UCR, San José, 320 pág.
  - Denyer, P. & Alvarado, G.E., 2007: Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1:400 000, Librería Francesa S.A., San José.
  - Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. – Editorial de la Universidad de Costa Rica, 81 págs.
  - Departamento de Aguas del MINAE, Junio 2016, Base de datos de Concesiones y Pozos Registrados.
  - Echandi, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla. - Tesis de Licenciatura, ECG-UCR, 123 pp.
  - Foster, S, Hirata, R, Gomez, D, D Elia, M, Paris, M, 2003. Protección de la Calidad el Agua Subterránea. Banco Mundial, Whashington DC. Primera Edición, 112.
  - Rodríguez, H., 1994. Normas para el cálculo de tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterráneas. Consecutivo DEP-RH-94-049, AyA.
  - SENARA, Junio 2016, Base de datos de pozos.



# **ANEXO N° 1**

## **Nacientes**



Cuadro 1. Listado de nacientes

No Fuente	Latitud	Longitud	Concesionario	Estado Expediente	Tipo Expediente	Tipo Fuente
ISIDORO LEO E602	281542	591183	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
CRUZ MORANT E602	281695	591195	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
MILAGRO E602	281845	591082	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento
DARIO CEBAL E602	281846	591232	AyA	INSCRITO	R (ACUEDUCT	Nacimiento




# **ANEXO N° 2**

## **RESULTADOS LABORATORIO DEL**

### **INTA, MAG**



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
---	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC Arvinio 1
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \frac{\text{PESO ESPECIFICO SECO}}{\text{VOLUMEN TOTAL}} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$   
 $W_s = \text{PESO SECO (gr)}$   
 $V_t = \text{VOLUMEN TOTAL, (cm}^3)$

$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$

$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$

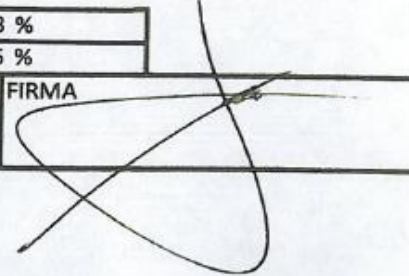
$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$  Porosidad

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t}$   $W_s = 94,42$   
 $V_t = 102,65$


$\gamma_D = 0,91982465$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$   $n = 0,6593242$

<b>% POROSIDAD =</b>	65,93 %
<b>% POROSIDAD EFECTIVA =</b>	52,75 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc. Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas. Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental. Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7850. Registro CPCECR: 024276.	FIRMA 
---	---



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
---	--

Geosoluciones Cíviles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC San Antonio 1
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$$\gamma_D = \frac{\text{PESO ESPECIFICO SECO}}{\text{VOLUMEN TOTAL}} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$$

$$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$$

$$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$$

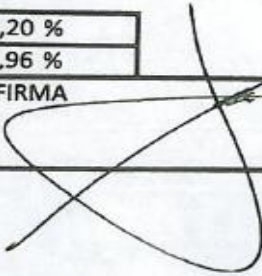
$$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad \text{Porosidad}$$

$$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t} \quad \begin{matrix} W_s = 125,26 \\ V_t = 119,57 \end{matrix}$$

$$\gamma_D = 1,04758719$$

$$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad n = 0,61200475$$

% POROSIDAD =	61,20 %
% POROSIDAD EFECTIVA =	48,96 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc. Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas. Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental. Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7650. Regi CPCECR: 024276.	FIRMA 
--	---



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
--	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC Arto San Antonio 2
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \text{PESO ESPECIFICO SECO} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$

$W_s = \text{PESO SECO (gr)}$

$V_t = \text{VOLUMEN TOTAL, (cm}^3)$

$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$

$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad \text{Porosidad}$

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t} \quad W_s = 107,1$   
 $V_t = 119,18$

$\gamma_D = 0,89864071$


$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad n = 0,66717011$

% POROSIDAD =	66,72 %
% POROSIDAD EFECTIVA =	53,37 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7650. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
Geosoluciones Civiles	
Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC San Antonio 2
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \frac{PESO\ ESPECIFICO\ SECO}{VOLUMEN\ TOTAL} = \frac{W_s}{V_t} \quad (gr / cm^3)$   
 $W_s = PESO\ SECO\ (gr)$   
 $V_t = VOLUMEN\ TOTAL, (cm^3)$

$\gamma_W = PESO\ ESPECIFICO\ AGUA = 1 \quad g/cm^3$

$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad \text{Porosidad}$

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t} \quad W_s = 87,21$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad \quad V_t = 113,94$

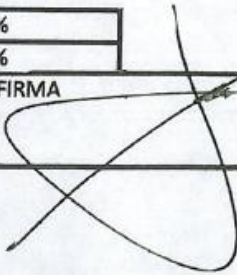
$\gamma_D = 0,76540284$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad n = 0,71651747$

% POROSIDAD =	71,65 %
% POROSIDAD EFECTIVA=	57,32 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7650. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA





	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
--	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC Arto San Antonio 3
Profundidad	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t}$  PESO ESPECIFICO SECO = WS/VT (gr / cm<sup>3</sup>)  
 $W_s =$  PESO SECO (gr)  
 $V_t =$  VOLUMEN TOTAL, (cm<sup>3</sup>)

$\gamma_W = \frac{W_s}{V_t}$  PESO ESPECIFICO AGUA = 1 g/cm<sup>3</sup>

G = 3,5 Rocas  
 2,7 Arcillas

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$  **Porosidad**

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t}$        $W_s = 105,07$   
 $V_t = 121,81$

$\gamma_D = 0,86257286$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$        $n = 0,68052857$

<b>% POROSIDAD =</b>	68,05 %
<b>% POROSIDAD EFECTIVA =</b>	54,44 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7850. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
--	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC Arvinio 3
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \frac{\text{PESO ESPECIFICO SECO}}{\text{VOLUMEN TOTAL}} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$   
 $W_s = \text{PESO SECO (gr)}$   
 $V_t = \text{VOLUMEN TOTAL, (cm}^3)$

$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$

- $G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$  **Porosidad**

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t}$        $W_s = 113,59$   
 $V_t = 114,86$

$\gamma_D = 0,98894306$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$        $n = 0,63372479$

<b>% POROSIDAD =</b>	63,37 %
<b>% POROSIDAD EFECTIVA =</b>	50,70 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7650. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
--	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC San Antonio 3
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$\gamma_D = \frac{\text{PESO ESPECIFICO SECO}}{\text{VOLUMEN TOTAL}} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$   
 $W_s = \text{PESO SECO (gr)}$   
 $V_t = \text{VOLUMEN TOTAL, (cm}^3\text{)}$

$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$

$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$ 
Porosidad

$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t}$ 
 $W_s = 114,37$   
 $V_t = 129,26$

$\gamma_D = 0,88480582$

$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W)$ 
 $n = 0,67229414$

<b>% POROSIDAD =</b>	67,23 %
<b>% POROSIDAD EFECTIVA =</b>	53,78 %

Ing. Llc. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General. Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-765. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA



	GEOSOLUCIONES CIVILES V&A DE CENTRO AMERICA S.A. Centro de Asesoría Geotécnica y Ambiental Costa Rica, Centroamérica
--	--

Geosoluciones Civiles

Ubicación:	Zona Sur - AyA
Proyecto:	Zona de Protección
Cliente:	Hidrogeotecnia Ltda.
Muestra:	NAC Arto San Antonio 1
Profundidad:	Superficial
Descripción:	Limos -Arcillas color café
Fecha:	nov-16

$$\gamma_D = \frac{\text{PESO ESPECIFICO SECO}}{\text{VOLUMEN TOTAL}} = \frac{W_s}{V_t} \quad (\text{gr} / \text{cm}^3)$$

$$W_s = \text{PESO SECO (gr)}$$

$$V_t = \text{VOLUMEN TOTAL, (cm}^3\text{)}$$

$$\gamma_W = \text{PESO ESPECIFICO AGUA} = 1 \quad \text{g/cm}^3$$

$$G = \begin{matrix} 3,5 & \text{Rocas} \\ 2,7 & \text{Arcillas} \end{matrix}$$

$$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad \text{Porosidad}$$

$$\gamma_D = \frac{W_s}{V_t} \quad \begin{matrix} W_s = 92,05 \\ V_t = 113,82 \end{matrix}$$

$$\gamma_D = 0,80873309$$

$$n = 1 - (\gamma_D / G \gamma_W) \quad n = 0,70046923$$

% POROSIDAD =	70,05 %
% POROSIDAD EFECTIVA =	56,04 %

Ing. Lic. Alexander Molina Villalobos, M.B.A. M.Sc.  
 Ingeniero Civil Geotecnista. Administrador de Empresas.  
 Máster en Gerencia General, Máster en Ingeniería Ambiental.  
 Registro SETENA: CI-058-99. Registro CFIA: IC-7850. Registro CPCECR:  
 024276.

FIRMA

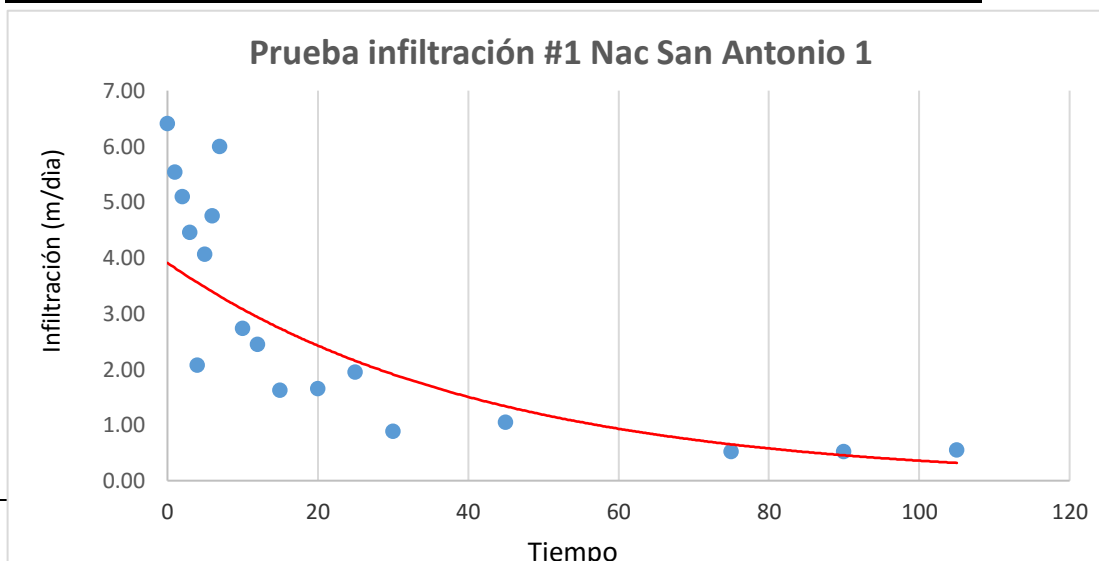


# **ANEXO N° 3**

## **PRUEBAS DE PERMEABILIDAD**

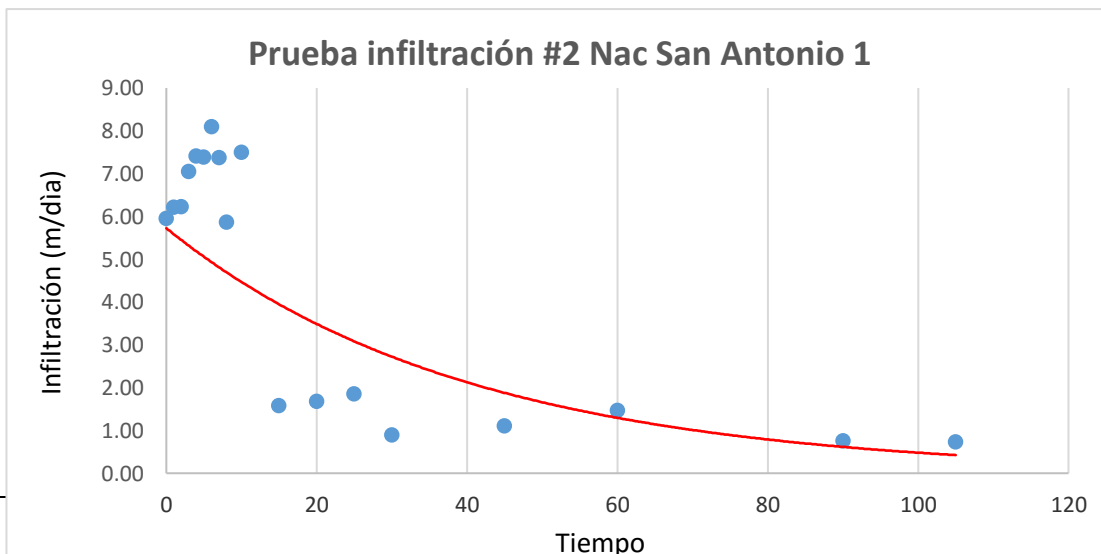


<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:		Nac Altos de Antonio	Fecha: 15/11/2016
No:		infiltración 1	Hora: 11:00
Ubicación:		Altos San Antonio Zona Sur	
Coordenadas:			
TIEMPO (min)	LECTURA (cm)	K (cm/min)	K (m/día)
0	24,00		
1	20,90	0,44	6,40
2	18,50	0,38	5,53
3	16,50	0,35	5,09
4	14,90	0,31	4,44
5	14,20	0,14	2,07
6	12,90	0,28	4,06
7	11,50	0,33	4,74
8	9,90	0,42	5,99
10	18,10		
12	16,00	0,19	2,73
15	13,50	0,17	2,44
20	11,10	0,11	1,62
25	9,00	0,11	1,65
30	6,90	0,13	1,94
45	4,60	0,06	0,88
60	2,50	0,07	1,04
75	18,00		
90	15,10	0,04	0,52
105	12,60	0,04	0,51
120	10,30	0,04	0,55
Radio de excavación =		7,5 cm	



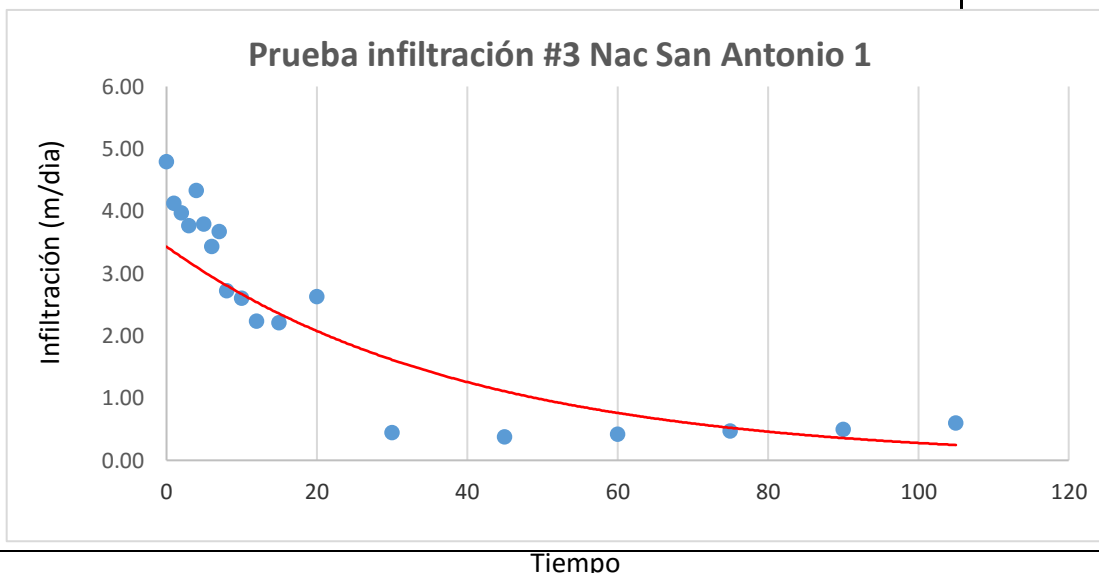


<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:		Nac Altos de Antonio	Fecha: 15/11/2016
No:		infiltración 2	Hora: 14:30
Ubicación:		Altos San Antonio Zona Sur	
Coordenadas:			
TIEMPO (min)	LECTURA (cm)	K (cm/min)	K (m/día)
0	25,00		
1	22,00	0,41	5,95
2	19,20	0,43	6,22
3	16,70	0,43	6,23
4	14,20	0,49	7,04
5	11,90	0,51	7,40
6	9,90	0,51	7,38
7	8,00	0,56	8,09
8	6,50	0,51	7,38
10	4,50	0,41	5,86
12	2,50	0,52	7,50
15	22,00		
20	18,50	0,11	1,58
25	15,30	0,12	1,68
30	12,30	0,13	1,85
45	8,80	0,06	0,89
60	5,50	0,08	1,10
75	2,40	0,10	1,47
90	16,50		
105	12,70	0,05	0,75
120	9,70	0,05	0,72
Radio de excavación =		7,5 cm	



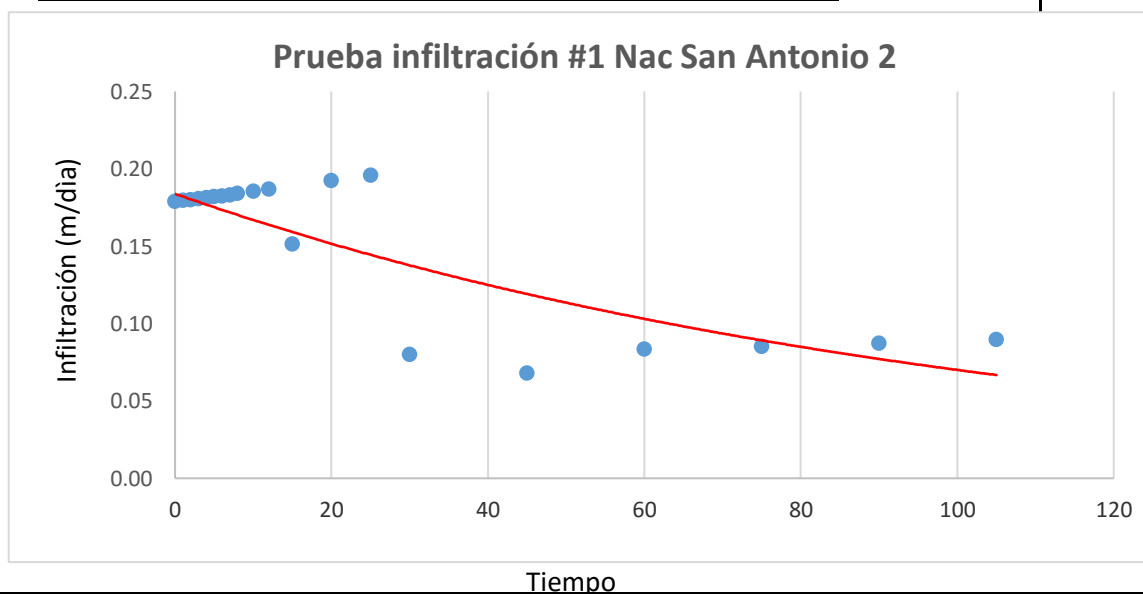


<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:		Nac Altos de Antonio	Fecha: 15/11/2016
No:		infiltración 3	Hora: 14:00
Ubicación:		Altos San Antonio Zona Sur	
Coordenadas:			
TIEMPO	LECTURA	K	K
(min)	(cm)	(cm/min)	(m/día)
0	24,50		
1	22,10	0,33	4,79
2	20,20	0,29	4,12
3	18,50	0,28	3,98
4	17,00	0,26	3,77
5	15,40	0,30	4,33
6	14,10	0,26	3,80
7	13,00	0,24	3,43
8	11,90	0,25	3,67
10	10,40	0,19	2,72
12	9,10	0,18	2,60
15	7,60	0,16	2,23
20	5,50	0,15	2,21
25	3,50	0,18	2,63
30	21,40		
45	18,50	0,03	0,44
60	16,30	0,03	0,37
75	14,10	0,03	0,42
90	11,90	0,03	0,47
105	9,90	0,03	0,49
120	7,80	0,04	0,60
Radio de excavación =		7,5 cm	



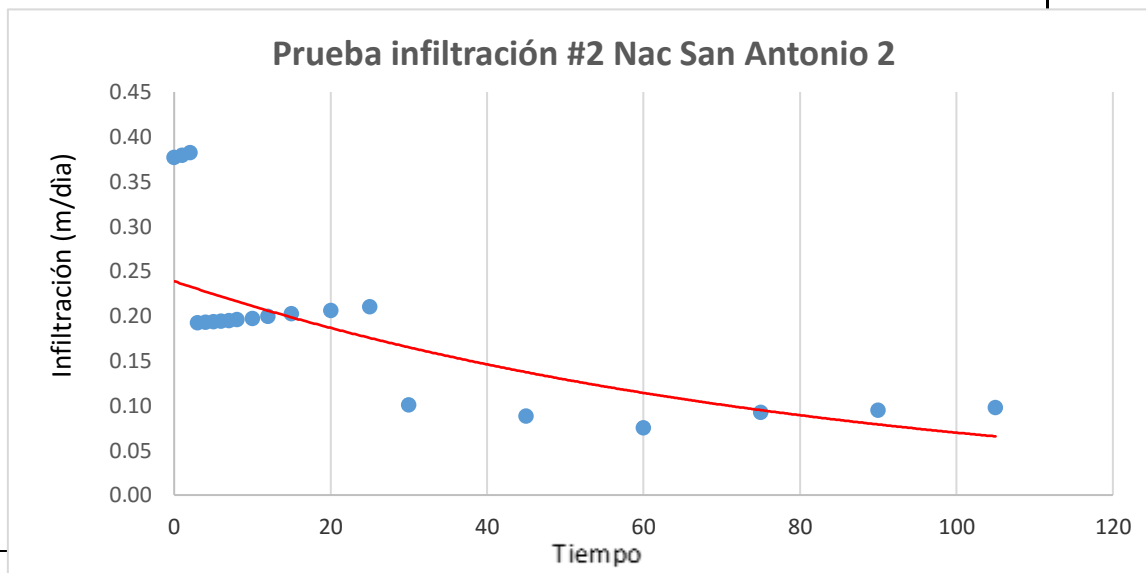


<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:	Nac Altos de Antonio 2	Fecha:	16/11/2016
No:	infiltración 1	Hora:	7:30
Ubicación:	Altos San Antonio Zona Sur		
Coordenadas:			
TIEMPO	LECTURA	K	K
(min)	(cm)	(cm/min)	(m/día)
0	26,50		
1	26,40	0,01	0,18
2	26,30	0,01	0,18
3	26,20	0,01	0,18
4	26,10	0,01	0,18
5	26,00	0,01	0,18
6	25,90	0,01	0,18
7	25,80	0,01	0,18
8	25,70	0,01	0,18
10	25,50	0,01	0,18
12	25,30	0,01	0,19
15	25,00	0,01	0,19
20	24,60	0,01	0,15
25	24,10	0,01	0,19
30	23,60	0,01	0,20
45	23,00	0,01	0,08
60	22,50	0,00	0,07
75	21,90	0,01	0,08
90	21,30	0,01	0,09
105	20,70	0,01	0,09
120	20,10	0,01	0,09
Radio de excavación =		7,5 cm	



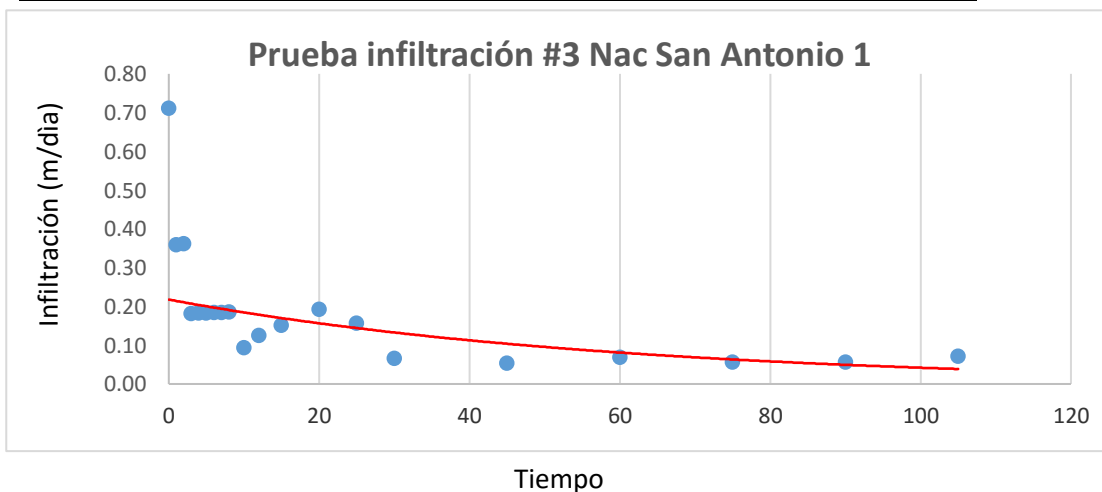


<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:	Nac Altos de Antonio 2	Fecha:	16/11/2016
No:	infiltración 2	Hora:	8:00
Ubicación:	Altos San Antonio Zona Sur		
Coordenadas:			
TIEMPO (min)	LECTURA (cm)	K (cm/min)	K (m/día)
0	25,00		
1	24,80	0,03	0,38
2	24,60	0,03	0,38
3	24,40	0,03	0,38
4	24,30	0,01	0,19
5	24,20	0,01	0,19
6	24,10	0,01	0,19
7	24,00	0,01	0,19
8	23,90	0,01	0,19
10	23,70	0,01	0,20
12	23,50	0,01	0,20
15	23,20	0,01	0,20
20	22,70	0,01	0,20
25	22,20	0,01	0,21
30	21,70	0,01	0,21
45	21,00	0,01	0,10
60	20,40	0,01	0,09
75	19,90	0,01	0,08
90	19,30	0,01	0,09
105	18,70	0,01	0,09
120	18,10	0,01	0,10
Radio de excavación =		7,5 cm	





<b>PRUEBA DE PORCHET</b>			
Tipo aprovechamiento:		Nac Altos de Antonio	Fecha: 16/11/2016
No:		infiltración 3	Hora: 10:30
Ubicación:		Altos San Antonio Zona Sur	
Coordenadas:			
TIEMPO (min)	LECTURA (cm)	K (cm/min)	K (m/día)
0	26,80		
1	26,40	0,05	0,71
2	26,20	0,02	0,36
3	26,00	0,03	0,36
4	25,90	0,01	0,18
5	25,80	0,01	0,18
6	25,70	0,01	0,18
7	25,60	0,01	0,18
8	25,50	0,01	0,18
10	25,30	0,01	0,19
12	25,20	0,01	0,09
15	25,00	0,01	0,12
20	24,60	0,01	0,15
25	24,10	0,01	0,19
30	23,70	0,01	0,16
45	23,20	0,00	0,07
60	22,80	0,00	0,05
75	22,30	0,00	0,07
90	21,90	0,00	0,06
105	21,50	0,00	0,06
120	21,00	0,01	0,07
Radio de excavación =		7,5 cm	





---

## **ANEXO N° 4**

### **Aforos**



## INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

## UEN GESTIÓN AMBIENTAL - ESTUDIOS BÁSICOS

## REGISTRO HISTÓRICO DE AFOROS

## FUENTE SAN ANTONIO- EN SAN ANTONIO DE COLORADO- CANOAS

CÓDIGO: 33 0  
16  
LATITUD : 284468  
LONGIT UD: 589381

ELEVACIÓN: 253  
M.S.N.M  
HOJA: CANOAS  
AREA DE DRENAJE: N/D

CAUDAL MÁXIMO 346,  
(l/s): 00  
CAUDAL MÍNIMO (l/s): 0,00  
CAUDAL CAPTADO (l/s):

No.	Fecha	Caudal(l/s)
1	20/10/1998	8,43
2	17/11/1998	7,79
3	19/01/1999	2,33
4	09/02/1999	1,5
5	09/03/1999	2,53
6	20/04/1999	1,13
7	11/05/1999	1,82
8	08/06/1999	10,88
9	26/01/2000	18
10	15/01/2002	27
11	19/02/2002	17
12	22/04/2003	13,2
13	19/08/2003	32,2
14	09/12/2003	82,8
15	11/02/2004	20
16	09/03/2004	10
17	01/07/2004	105
18	28/07/2004	77,6

No.	Fecha	Caudal(l/s)
30	23/04/2006	7
31	24/05/2006	273
32	23/06/2006	60
33	19/07/2006	71
34	18/08/2006	31
35	22/09/2006	150
36	19/01/2007	8,7
37	20/02/2007	5
38	21/03/2007	seco
39	25/05/2007	126
40	23/06/2007	5
41	25/08/2007	19
42	17/11/2007	103
43	19/04/2008	seco
44	15/06/2008	12
45	18/10/2008	10
46	19/12/2008	8
47	24/01/2009	seco

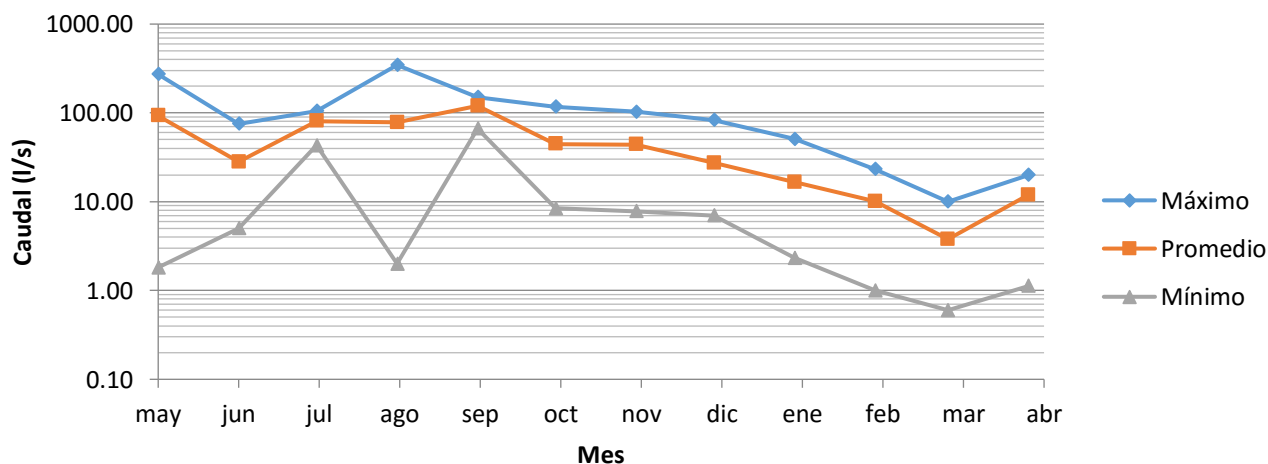
No.	Fecha	Caudal(l/s)
59	19/05/2011	39,9
60	23/06/2011	8
61	27/07/2011	91,5
62	25/08/2011	346
63	23/09/2011	66,4
64	26/01/2012	seco
65	10/03/2012	0,6
66	27/04/2012	18
67	13/06/2012	66,4
68	31/07/2012	C.M.E.
69	12/10/2012	42,6
70	29/11/2012	31
71	22/12/2012	35,81
72	27/01/2013	6,41
73	24/05/2013	5
74	26/02/2014	7,5
75	23/04/2014	seco
76	25/06/2014	75,34



19	20/08/2004	70	48	18/02/2009	7	77	05/12/2014	21
20	28/10/2004	117	49	16/03/2009	seco	78	12/12/2014	seco
21	11/02/2005	1	50	16/04/2009	seco	79	21/01/2015	3
22	21/04/2005	20	51	25/06/2009	13	80	25/03/2015	2
23	15/07/2005	94	52	22/07/2009	81,4	81	18/06/2015	5
24	18/08/2005	116	53	02/12/2009	7	82	05/08/2015	2
25	16/09/2005	144	54	30/01/2010	seco	83	03/12/2015	8
26	09/12/2005	28	55	11/06/2010	24,4	84	25/02/2016	seco
27	01/02/2006	11,5	56	25/11/2010	33,5	85	19/05/2016	112
28	26/02/2006	7	57	27/01/2011	51	86	20/07/2016	43
29	23/03/2006	seco	58	21/02/2011	23,3	87	25/08/2016	6

	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr
Máximo	273,00	75,34	105,00	346,00	150,00	117,00	103,00	82,80	51,00	23,30	10,00	20,00
Promedio	92,95	28,00	80,50	77,78	120,13	44,51	43,82	27,23	16,63	10,08	3,78	11,87
Mínimo	1,82	5,00	43,00	2,00	66,40	8,43	7,79	7,00	2,33	1,00	0,60	1,13

### Registro histórico de aforos de FUENTE SAN ANTONIO- EN SAN ANTONIO DE COLORADO-CANOAS





---

Observaciones
C.M.E. = No se afora por camino en mal estado SECO o SECA = Río Seco



---

Naciente	Caudal Verano l/s	Caudal Invierno l/s
San Antonio 1	Seco	20,0
San Antonio 2	3,0	17,0

Serie 2012-2015



# **ANEXO N° 5**

## **Pruebas de calidad físico química**



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-00550-2016

**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)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Cliente:</b>	REGION BRUNCA		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>	Ing. Guillermo Zuñiga Esquivel		<b>Muestreado por</b>	Arauz Rojas Chris	
<b>SISTEMA:</b>	PASO CANOAS		<b>Fecha de muestreo</b>	27-ene-16	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	28-ene-16	
<b>Muestreo:</b>	NACIENTE SAN ANTONIO 1		<b>Fecha de Reporte:</b>	04-feb-16	
<b>Dirección:</b>	LLAVE DE CHORRO		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>	2271-36-34	
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Corredores	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:gzuñiga@aya.go.cr">gzuñiga@aya.go.cr</a>	<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	11:32

**DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	154	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	12,2	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,3	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	*	62,9	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	N.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	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	313	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	*	157	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	175	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	0,10	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	*	5,5	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	4,4	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	*	1,55	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	*	7,63		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	

Página 1 de 4

 Editado e impreso por  
 AYA 2006

 Aprobado por:  
 Dr. Darner Mora Alvarado



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-00550-2016

## 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)



PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	3,3	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	5,87	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Turbiedad	*	0,2	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:**

El muestreo se realizó en condiciones de verano. La horas coinciden ya que el muestreo se realizó de forma simultánea.

**Observaciones:**

Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-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



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-00551-2016

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

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



## DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	REGION BRUNCA		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>	Ing. Guillermo Zuñiga Esquivel		<b>Muestreado por</b>	Arauz Rojas Chris	
<b>SISTEMA:</b>	PASO CANOAS		<b>Fecha de muestreo</b>	27-ene-16	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	28-ene-16	
<b>Muestreo:</b>	NACIENTE SAN ANTONIO 2		<b>Fecha de Reporte:</b>	04-feb-16	
<b>Dirección:</b>	LLAVE DE CHORRO		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>	2271-36-34	
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Corredores	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>	<a href="mailto:gzuñiga@aya.go.cr">gzuñiga@aya.go.cr</a>	<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	11:35

## DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	152	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	11,3	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,3	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	*	62,9	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	N.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	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	313	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	*	157	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	175	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	0,12	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	*	5,6	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	4,4	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	*	1,65	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	*	7,61		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	

Página 3 de 4

Editado e impreso por  
AYA 2006

Aprobado por:  
Dr. Darner Mora Alvarado



## 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)



PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	3,3	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	5,98	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Turbiedad	*	0,3	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	4,4	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:

El muestreo se realizó en condiciones de verano. La horas coinciden ya que el muestreo se realizó de forma simultánea.

### Observaciones:

Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-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