

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



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO**  
**DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LA NACIENTE GAMBOA**  
**ASADA SAN ISIDRO DE LEÓN CORTÉS**



---

**Elaboró: Geól. Christian Delgado Segura**

**Colaboración de campo: Geól. José Daniel Vargas Bolaños.**

**Colaboración**

Sr. José María Calderón Sandí – Administrador ASADA San Isidro de León Cortés.

---

**Revisó y avaló: MSc. Viviana Ramos Sánchez**  
**Dirección del Área Funcional de Hidrogeología**  
**FEBRERO, 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  
-06'00'

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

## Índice de contenido

I. INTRODUCCIÓN .....	5
1.1 Objetivo General .....	5
1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Ubicación Cartográfica y Contextual .....	5
2. UBICACIÓN DE NACIENTES Y POZOS EN EL SECTOR.....	6
3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	9
3.1.1. Unidad de areniscas (Formación Carraigres).....	9
3.1.2. Unidad sedimentaria vulcanoclástica (Formación Pacacua). ....	10
3.1.3. Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto).....	10
3.2. GEOLOGÍA LOCAL .....	10
3.2.1 Areniscas intercaladas fracturadas.....	10
3.3. ESTRUCTURAL.....	14
4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS .....	16
4.1 Definición de acuíferos.....	16
4.2. Parámetros hidráulicos del acuífero.....	16
4.3. Niveles de agua subterránea, direcciones de flujo y gradiente hidráulico.....	19
4.4. Características de la zona no saturada .....	19
5. TIEMPOS DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA .....	20
5.1. Distancia para un tiempo de tránsito de 100 días (zona de protección absoluta inmediata).....	20
5.1.1. Zona no saturada .....	20
5.1.2. Zona saturada de la Naciente Gamboa .....	21
6. CÁLCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA. ....	22

6.1. Zona de captura.....	22
Ancho de la zona de captura.....	22
Radio de no retorno.....	23
6.2. Radio fijo.....	24
6.3. Darcy.....	25
6.4. Zona operacional de la Naciente Gamboa.....	25
7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCION INMEDIATA.....	26
8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	26
9. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES.....	28
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
11. ANEXOS.....	31
Anexo 1: Pruebas de infiltración.....	31
Anexo 2: Analisis de la calidad de aguas.....	34

### **Índice de figuras**

Figura 1: Mapa de ubicación de la naciente Gamboa.....	7
Figura 2: Mapa geológico para el sector de la Naciente Gamboa, San Isidro de León Cortes.....	15
Figura 3: Mapa de elementos hidrogeológicos de la Naciente Gamboa.....	17
Figura 4: Perfil hidrogeológico del sector de la Naciente Gamboa.....	18
Figura 5: Zonas de protección para la naciente Gamboa.....	27

### **Índice de cuadros**

Cuadro 1: Nacientes levantadas sector naciente Gamboa.....	6
Cuadro 2: Pruebas de infiltración en la zona de la Naciente Gamboa, San Isidro de León Cortés.....	20
Cuadro 3: Cálculo del tiempo de transito en la zona no saturada para la naciente Gamboa, San Isidro de León Cortés.....	21
Cuadro 4: Cálculo de la distancia horizontal en que se degradarían las bacterias.....	22

Cuadro 5: Parámetros para el calculo del ancho de la zona de captura de la Naciente Gamboa, Asada de San Isidro de León Cortés.....	23
Cuadro 6: Parametros para el calculo del radio de retorno de las nacientes de la Naciente Gamboa.....	24
Cuadro 7: Parámetros para el radio fijo de la naciente Gamboa. ....	24
Cuadro 8: Zonas de protección de la naciente Gamboa.....	28

### **Índice de fotografías**

Fotografía 1: Estructura donde se ubica la naciente Gamboa. Coordenadas 528972E y 185169 N. ....	8
Fotografía 2: Sitio de la naciente N° 2.Coordenadas 528847 E y 185198 N. ....	8
Fotografía 3: Vista panorámica de los alrededores de la naciente Gamboa. ....	9
Fotografía 4: Areniscas finas de la formación Caraigres (528800 E y 185274 N). ....	11
Fotografía 5: Ubicación de la Naciente Gamboa (Coordenadas 528963 E y 185176 N). ....	12
Fotografía 6: Afloramiento de areniscas en el corte del camino interno de la finca. Coordenadas 528966 E y 185254 N. ....	13
Fotografía 7: Flujo de bloques asociado a un deslizamiento antiguo. Coordenadas 528845 E y 185319 N. ...	13
Fotografía 8: Prueba de infiltración 1.....	32
Fotografía 9: Prueba de infiltración 2.....	33
Fotografía 10: Prueba de infiltración 3. ....	33

### **Índice de gráficas**

Gráfica 1: Prueba de infiltración 1, Naciente Gamboa.....	31
Gráfica 2: Prueba de infiltración 2, Naciente Gamboa.....	31
Gráfica 3: Prueba de infiltración 3, Naciente Gamboa.....	32

# DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LA NACIENTE GAMBOA, ASADA DE SAN ISIDRO DE LEON CORTES, SAN JOSE.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado en respuesta a la solicitud efectuada por la Subgerencia Gestión de Sistemas Comunales mediante oficio GE – SB – GSC – 2015 – 0456. Ante este requerimiento se asigna por parte de la Dirección de Hidrogeología a un grupo de trabajo donde se realizó una gira de campo entre los días 15 y 16 de octubre del 2015 en las cuales se ejecutaron pruebas de infiltración y el levantamiento geológico del sitio de la naciente y alrededores. Posteriormente, se hizo el análisis de los datos de campo, solicitud y recolección de información pertinentes para la realización de los cálculos necesarios para sustentar este tipo de investigación, entre ellos: registros de pozos y nacientes registrados cercanos a la zona de interés.

En total se levantaron 2 nacientes, de las cuales solamente la naciente Gamboa es de interés por la ASADA, la naciente N°2 en el presente informe es usada como referencia para parámetros hidrogeológicos.

El presente informe consiste en: a) reporte de resultados de pruebas de campo respectivas, b) análisis geológico-hidrogeológico del sitio – contexto de la naciente Gamboa, c) determinación de tiempos de tránsito de contaminantes patógenos, e) delimitación de la zona de protección, Foster, radio fijo y f) principales conclusiones y recomendaciones. Apéndices: documentos anexos, cuadros de datos y otros.

### **1.1 Objetivo General**

Delimitar la zona de protección para la naciente Gamboa.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Ubicar las nacientes en cuestión y efectuar un diagnóstico hidrogeológico del entorno de las mismas.
- Hacer una recopilación de información de pozos cercanos a los pozos de interés (por medio de los registros de pozos de las instituciones pertinentes-SENARA y Departamento de pozos de AyA).
- Determinar el tiempo de tránsito de contaminantes patógenos en el medio acuífero.
- Representar de forma gráfica, la delimitación de la zona de protección de las nacientes.
- 

### **1.3 Ubicación Cartográfica y Contextual**

La naciente Gamboa está ubicada en el flanco suroeste del cerro Alto Carrizal, en la comunidad de San Isidro de León Cortes, provincia San José; específicamente a un kilómetro al noreste del centro comunal, las coordenadas aproximadas son 529,007. Este y 185,108 Norte, Costa Rica Lambert Norte, hoja cartográfica Carraigres (IGN), a escala 1:50 000 (Figura 1).

## 2. UBICACIÓN DE NACIENTES Y POZOS EN EL SECTOR

En el Cuadro 1, se presentan las características levantadas en el campo para las nacientes identificadas (Fotografía 1, Fotografía 2 y Fotografía 3).

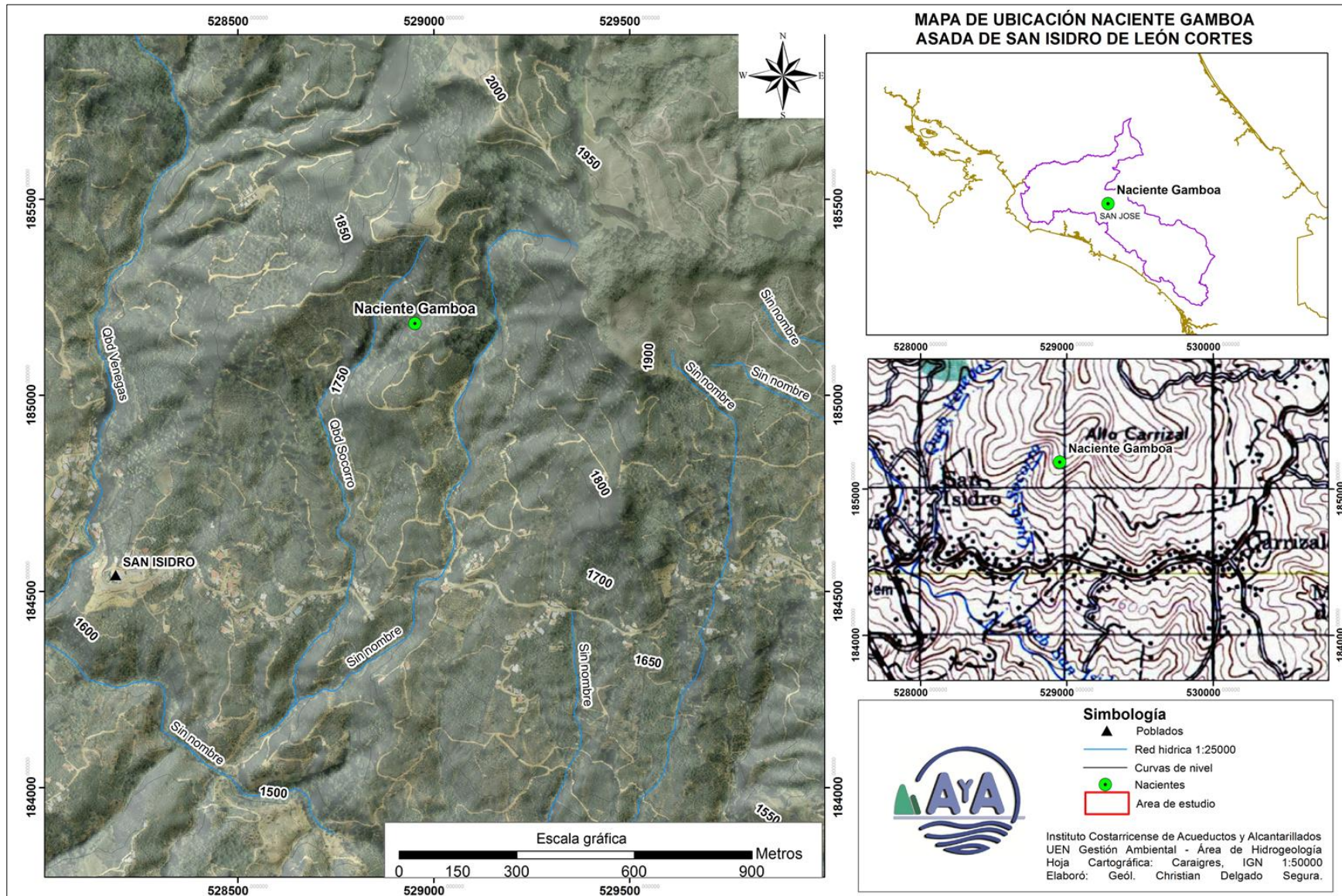
*Cuadro 1: Nacientes levantadas sector naciente Gamboa.*

<b>Naciente</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Elevación (msnm)</b>	<b>Observaciones</b>
1*	528962E/ 185174N	0,45	1813	Tiene un estructura de captación, a la fecha de inspección no era aprovechada.
2	528861E/ 185184N	NM	1789	Sin captar

\*Fuente: datos obtenidos de aforos realizados durante las giras.

NM: caudal no medido por las condiciones desfavorables del sitio.

En la base de datos de pozos del SENARA no hay pozos registrados en un radio menor a los 2 km.





*Fotografía 1: Estructura donde se ubica la naciente Gamboa. Coordenadas 528972E y 185169 N.*



*Fotografía 2: Sitio de la naciente N° 2. Coordenadas 528847 E y 185198 N.*



*Fotografía 3: Vista panorámica de los alrededores de la naciente Gamboa.*

### **3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio se encuentra constituida por unidades geológicas de origen sedimentario volcánico en gran parte, y en menor proporción por unidades de origen ígneo, las cuales se indican a continuación (Figura 3):

Denyer & Arias, 1991, en el mapa geológico de la hoja cartográfica Carraigres identifica para la zona de estudio, litologías correlacionables con las formaciones de la cuenca del Valle Central de Costa Rica, cuyo registro evidencia una actividad volcánica y el proceso de erosión de las conas volcánicas propios del Mioceno.

Específicamente, describe lutitas y areniscas que asocia con la formación Carraigres; brechas volcánico – sedimentarias de la formación Pacacua; finalmente lavas de la formación Grifo Alto.

#### **3.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

##### **3.1.1. Unidad de areniscas (Formación Carraigres).**

Constituida por interestratificaciones de areniscas verdosas y/o gaulometría variable; fina, media y gruesa y brechas de fragmentos angulares, con laminación paralela, cruzada, bidireccional, posibles, brizooarios y globigerinoides, con fuerte influencia volcánica (clastos de rocas volcánicas: 3-70%, mayoritariamente alrededor de un 60%) ( Denyer & Arias, 1991; Alvarado et al, 2009).

Denyer & Arias (1991), mencionan que al sur de la hoja Caraigres, específicamente en la localidad de San Isidro hay deslizamientos con bloques de esta formación.

Dada su posición estratigráfica y litológica, se puede asignar una edad Oligocena Media hasta Mioceno Inferior Basal (Alvarado et al, 2009, Denyer & Arias, 1991).

### **3.1.2. Unidad sedimentaria vulcanoclástica (Formación Pacacua).**

La secuencia está conformada por volcanoclastitas de granulometría diversa. Destacan colores vivos muy llamativos con predominio del rojo y morado, en menor medida tonos verdes. Las estratificaciones decimétricas hasta métricas de areniscas vulcanoclásticas (finas, gruesas, guijarrosas) tobas, tobitas, y brecha finas y gruesas con contacto de fragmentos por matriz. Son frecuentes los diques y sills de diabasa con espesores de hasta 1 metro (Denyer & Arias, 1991)

Sobreyace gradualmente a la formación Caraigres y es sobreyacida por la Fm. Brechas Verdes Coyolar de manera transicional y de manera brusca con la Fm. Peña Negra. La edad es Mioceno Inferior (Denyer & Arias, 1991).

### **3.1.3. Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto)**

Constituida por rocas de origen volcánico que cubrieron las secuencias sedimentarias posteriormente al basculamiento (Dengo (1962b); Denyer & Arias (1991) y Alvarado (1984), predominantemente lavas (andesíticas augíticas, andesíticas basálticas, basaltos alcalinos y en menor cantidad andesitas hornbléndicas), tobas y brechas.

Esta formación se distribuye en el Valle Central, principalmente hacia el oeste, en los Montes del Aguacate, posee una forma bastante tabular, y a veces algo acuñada con un espesor superior a los 3000 m (Denyer & Arias, 1991).

Denyer & Arias (1991) considera, tomando en cuenta autores anteriores y su posición estratigráfica, que se extiende desde el Mioceno Superior Cuspidal al Plioceno-Pleistoceno.

## **3.2. GEOLOGÍA LOCAL**

### **3.2.1 Areniscas intercaladas fracturadas**

En el área en donde se ubica la naciente, aflora una secuencia sedimentaria constituida por areniscas intercaladas, meteorizadas y fracturadas (Fotografía 4).

Las areniscas tienen granulometrías finas, medias y en menor medida paquetes lenticulares de arenas gruesas - brechas finas, con estratos tabulares en promedio de 10 centímetros de espesor. El color de la roca meteorizada es beige, variaciones a café - verdoso para las rocas menos afectadas por el frente de meteorización (Fotografía 4 y Fotografía 6).

Presenta un grado de fracturación moderadamente alto, con patinas de oxidación y de manganeso. En su mayoría, las fracturas están cerradas con rellenos arcillosos, afloramientos de este tipo se encuentran aguas arriba de la naciente, en el sector donde se realizaron las pruebas de infiltración 2 (528966 E y 185250 N) y 3 (529031 E y 185253 N).

El buzamiento de la secuencia es  $S40^{\circ}E/5^{\circ}$ , con alteraciones en el macizo por discontinuidades, cuyas familias principales tienen buzamientos de  $S55^{\circ}E/75^{\circ}$ ,  $N70^{\circ}E/60$ ,  $S65^{\circ}W/40$ .



*Fotografía 4: Areniscas finas de la formación Carraigres (528800 E y 185274 N).*

La Naciente Gamboa, aflora en un estrato de areniscas verdosas, en donde hay una caída de agua de al menos 5 metros, el rumbo de de la caída coincide con el rumbo de la Falla Quebrada Socorro (Figura 3, Fotografía 5), en tanto, que la condición hidrogeológica esta influenciada directamente por la presencia de la falla en el macizo.

Desde el punto de vista de la condición de las laderas, presentan pendientes fuertes con poco espesor de suelo y superficialmente lo que aflora es roca meteorizada, por tal motivo, es común encontrarse rastros de delizamientos antiguos o depósitos de bloques originadas por flujos gravitacionales (coluvios). En el área de estudio, hay dos sectores con estas características, el primero es en la ladera Norte inmediata a la naciente Gamboa (Figura 4) donde hay un depósito de espesor máximo de 2,5 metros y su extensión no va más allá del pie de la ladera y el otro es un flujo

identificado en la Figura 2 como forma incipiente de inestabilidad, cuyo depósito de ha definido como rastro de deslizamiento antiguo (Fotografía 7).

En sintensis, condiciones como las descritas favorecen la infiltración del agua, por tanto, la recarga del agua subterránea. Es importante valorar que el rastro de deslizamiento antiguo está en la parte alta de la microcuenca donde se encuentra la Naciente 2.



*Fotografía 5: Ubicación de la Naciente Gamboa (Coordenadas 528963 E y 185176 N).*



*Fotografía 6:  
Afloramiento de areniscas en el corte del camino interno de la finca. Coordenadas 528966 E y  
185254 N.*



*Fotografía 7: Flujo de bloques asociado a un deslizamiento antiguo. Coordenadas 528845 E y 185319 N.*

### **3.3. ESTRUCTURAL**

Regionalmente se han identificado alineamientos y fallas geológicas, cuyas manifestaciones más directas se dan en los cauces rectilíneos, divisorias de aguas deflectadas o con morfologías como “sillas de falla” (Figura 2 y Figura 3).

En el Mapa Geológico (Figura 2), los alineamientos se ubican al Sureste con un rumbo N-NE, siendo la principal característica la deflexión de los ríos y/o quebradas, así como los cauces ligeramente rectilíneos. El más evidente es el alineamiento Quebrada Venegas con rumbo N-S.

Con respecto a las fallas, la presencia de la caída de agua en el sitio de la naciente Gamboa, la ligera silificación del macizo rocoso, fracturación moderadamente del medio (Fotografía 4) y la coincidencia del rumbo del escarpe que genera el salto de agua con respecto al rumbo de la quebrada Socorro, son criterios para darle carácter de falla a dicha expresión.

En el Atlas Geológico (Denyer et al, 2003) se diferencian varias fallas activas y no activas en la zona las cuáles por escala de las figuras no se observan en la Figura 2 y Figura 3.

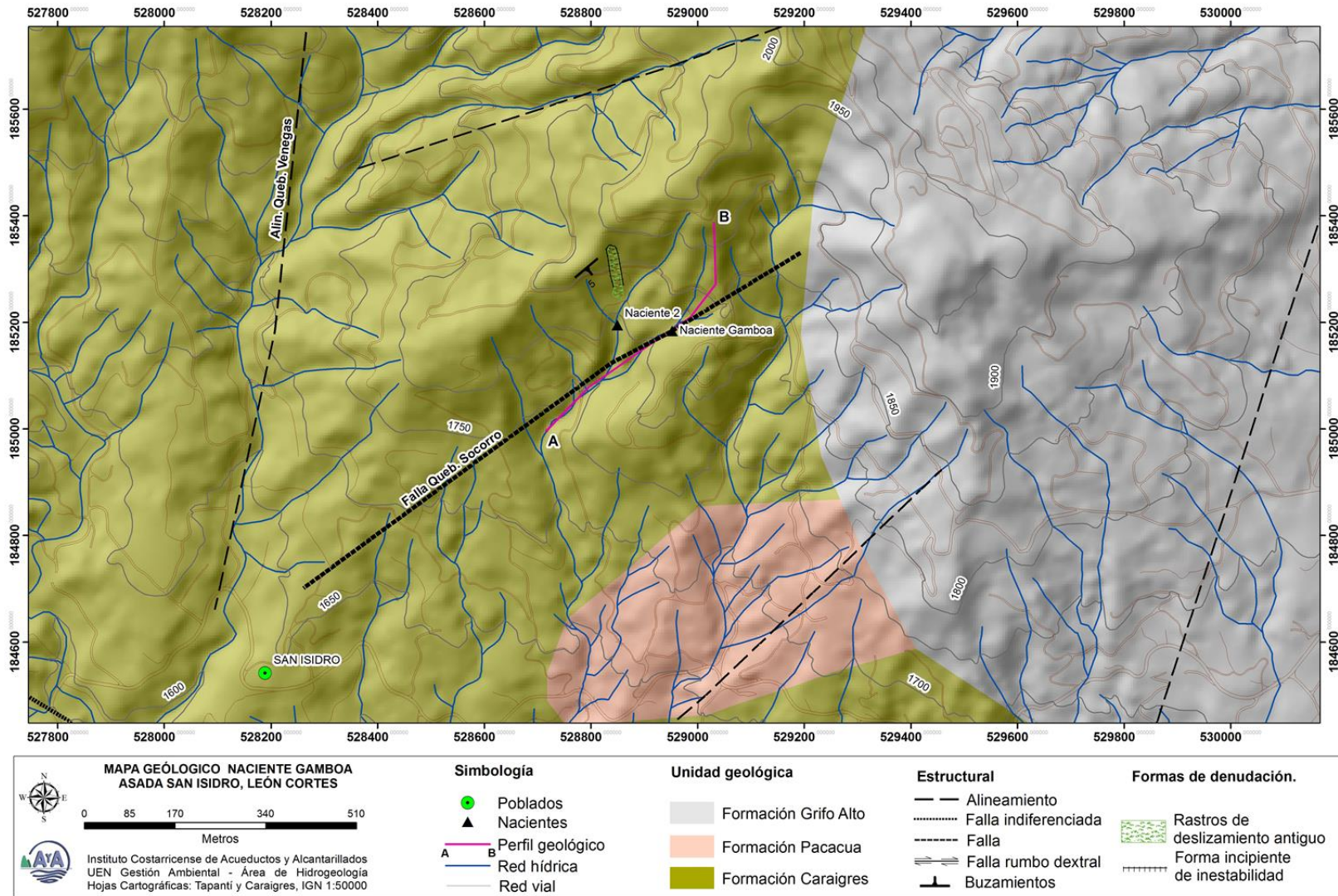


Figura 2:

Mapa geológico para el sector de la Naciente Gamboa, San Isidro de León Cortes.

## **4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS**

### **4.1 Definición de acuíferos**

A partir de observaciones en el sitio, se define una unidad hidrogeológica desarrollada en rocas sedimentarias fracturadas, meteorizadas en la parte superficial con una cobertura de suelo menor a un metro. El agua que brota en la naciente Gamboa se da a través del techo de un estrato de mayor competencia en las intercalaciones de las areniscas, justamente en el salto de agua asociado a la falla Quebrada Socorro. Corresponde con un acuífero libre desarrollado en la roca relativamente sana, en la parte superior la roca está meteorizada. Tanto la naciente Gamboa como la naciente 2, afloran en cambios topográficos importantes donde el agua subterránea pierde cobertura y queda expuesta superficialmente.

Debido a las condiciones propias de la zona en cuanto al control estructural, el agua fluye por las fracturas generadas por las fallas, siendo la naciente Gamboa el techo del acuífero local.

A partir de las observaciones y el modelo hidrogeológico que se plantea, el nivel es libre (Figura 4).

### **4.2. Parámetros hidráulicos del acuífero**

En la zona de estudio no hay pozos cercanos registrados en litologías similares. A nivel regional no hay pozos perforados en la formación Carraigres.

Por tanto, considerando que las pruebas de infiltración N° 2 y N°3 fueron realizadas directamente en el macizo rocoso meteorizado, se usará el valor obtenido en dichas pruebas como el dato de permeabilidad para el acuífero:

- Permeabilidad (k): 1,722 m/d, promedio de las infiltraciones 2 y 3.
- Porosidad: 30%, basado en Sanders (1998)
- b: espesor de acuífero: 25,61 m (valor obtenido del  $h_2$ , usado para el cálculo de la zona de captura)

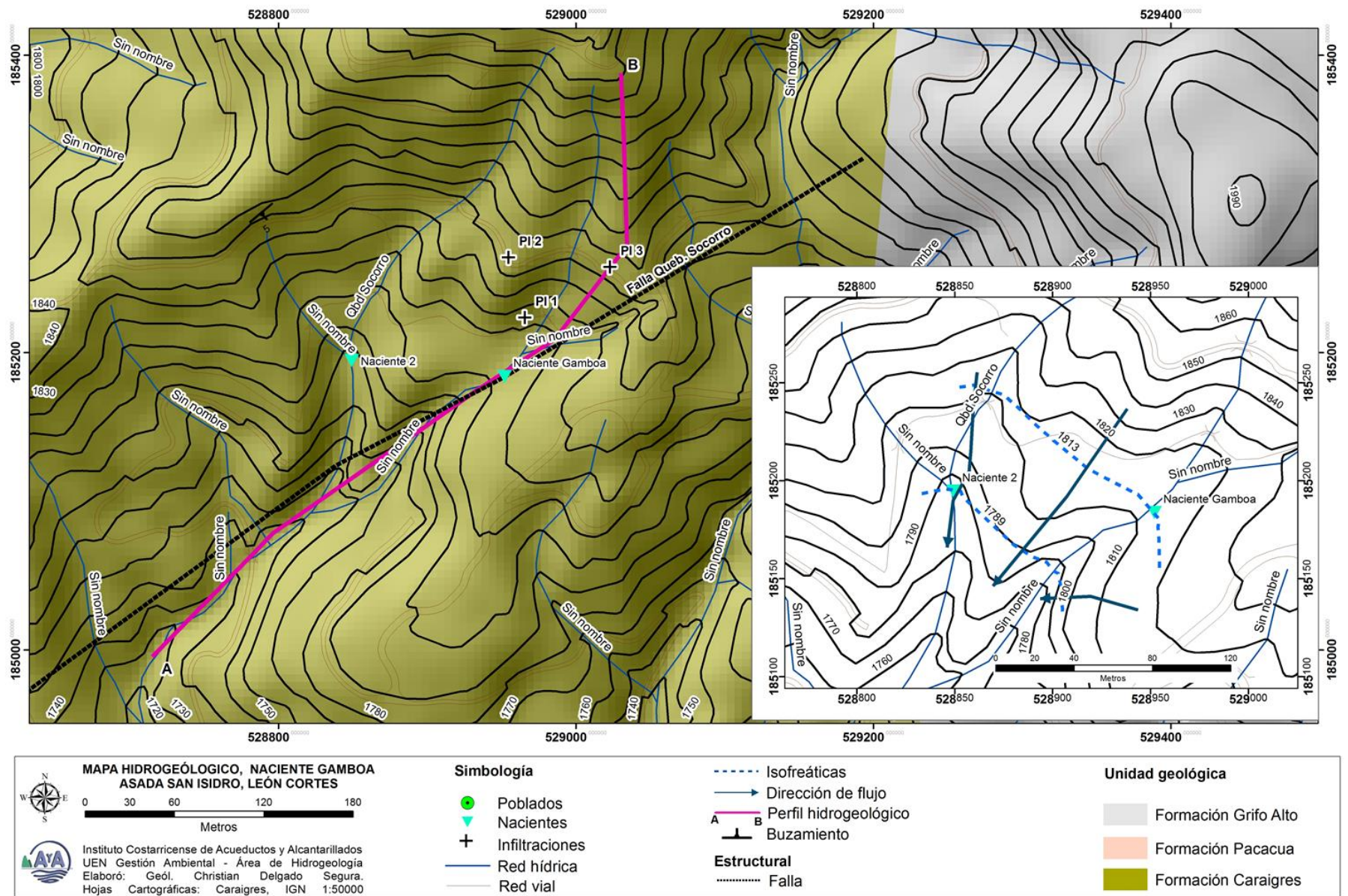


Figura 3: Mapa de elementos hidrogeológicos de la Naciente Gamboa.

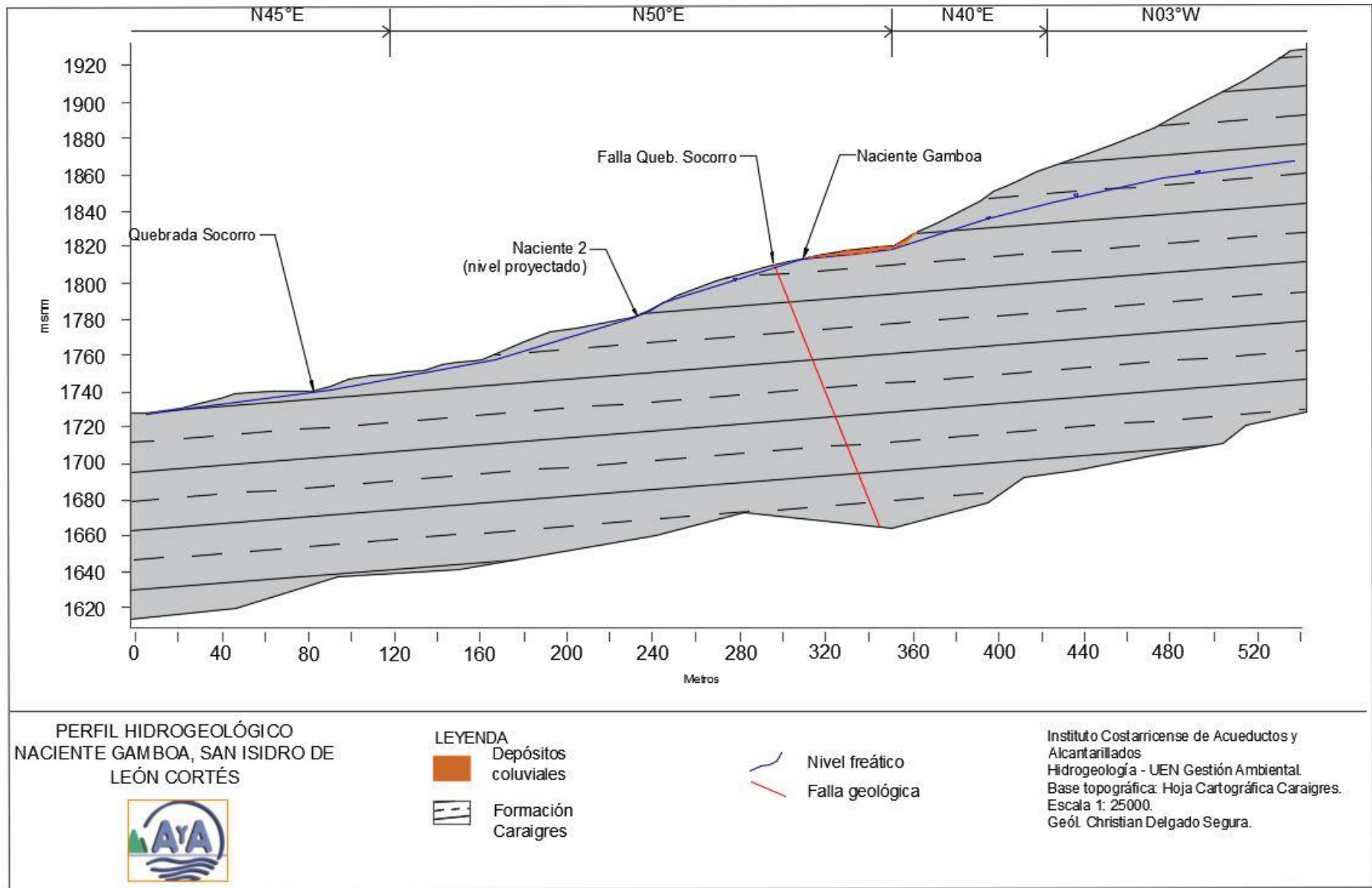


Figura 4: Perfil hidrogeológico del sector de la Naciente Gamboa.

#### **4.3. Niveles de agua subterránea, direcciones de flujo y gradiente hidráulico.**

Conociendo la elevación de los manantiales de la ASADA en la zona de estudio, y considerando que la elevación del nivel del agua subterránea es igual a la elevación del manantial, se procedió a dibujar las líneas isofreáticas del acuífero fracturado en las rocas sedimentarias de la formación Carraigres. Los manantiales se encuentran en la roca y afloran debido a que por procesos erosivos la cobertura de suelo se ha removido y ha dejado expuesto el techo del acuífero, además de la presencia de la falla Quebrada Socorro la cuál alteró localmente el macizo con un enriquecimiento de sílice, que entre otras cosas produce una caída de agua (Figura 3).

La dirección de flujo del agua subterránea es hacia el Suroeste y la gradiente hidráulica es de 0,358, tomado a partir de las líneas isofreáticas 1813 y 1789 msnm. La profundidad del techo del acuífero varía entre 2,5 y 5 metros en la zona de las nacientes de la ASADA (Figura 4).

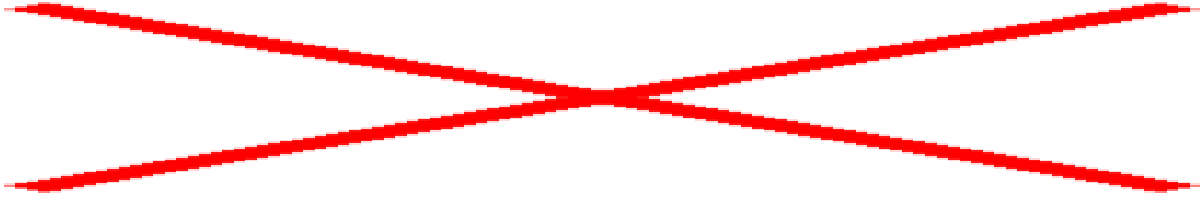
#### **4.4. Características de la zona no saturada**

Para conocer las características de los materiales que cubren al acuífero se hicieron 3 pruebas de infiltración directamente sobre el terreno (Anexo 1).

A partir de la permeabilidad obtenida en las pruebas y el uso de suelo en la zona, se identificó una sola unidad geológica para la zona, la misma corresponde con rocas meteorizadas de la Fm. Carraigres. La infiltración 1 fue realizada sobre un medio en transición a suelo y que está influenciado por materiales coluviales, en comparación con las otras dos pruebas presenta una permeabilidad mayor, sin embargo las tres se ubica en la categoría Media .

La ubicación de las pruebas de infiltración se presenta en el mapa de la Figura 3 y Fotografía 3. . En el Cuadro 2, se da un resumen de las características de cada de las pruebas de infiltración realizadas. .

Cuadro 2: Pruebas de infiltración en la zona de la Naciente Gamboa, San Isidro de León Cortés.



La permeabilidad para el coluvio es de 4,7842 m/d. Para la roca meteorizada que sobreyace la tabla de agua, se considera el promedio de las infiltraciones 2 y 3 que es de 1,722 m/d ya que fueron realizadas directamente sobre la roca meteorizada.

La porosidad para la zona no saturada se ha considerado en 40% debido a la textura aparente del suelo y basado en Sanders (1998)

El Anexo 1 contiene los datos de campo y los gráficos de análisis de cada una de las pruebas de infiltración llevadas a cabo (Figura 3 y Figura 4).

**5. TIEMPOS DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA**

**5.1. Distancia para un tiempo de tránsito de 100 días (zona de protección absoluta inmediata)**

**5.1.1. 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:

$$t_1 = \left( \frac{b \cdot \theta}{k \cdot i} \right)$$

En el Cuadro 3 se muestran las variables y cálculos respectivos para cada naciente en estudio.

Cuadro 3: Cálculo del tiempo de transito en la zona no saturada para la naciente Gamboa, San Isidro de León Cortés.

Parámetros	Naciente Gamboa
$b$ : espesor de la zona no saturada	2,51 m
$\theta$ : porosidad efectiva de los materiales de la zona no saturada	0,4

<i>k</i> : permeabilidad vertical de la zona no saturada (m/d)	1,7220
<b><i>t</i><sub>1</sub>: tiempo de tránsito del flujo vertical en la zona no saturada</b> $t_1 = (b * \square) / (k * i)$	<b>0,583 días</b>

Se determina un tiempo de 0,583 días para la naciente Gamboa en la zona no saturada de la naciente.

### 5.1.2. Zona saturada de la Naciente Gamboa.

El tiempo de tránsito para un flujo de contaminantes patógenos que se mueve en la tabla de agua subterránea (*t*<sub>2</sub>), se determina con la fórmula:

$$t_2 = \left( \frac{d * \theta}{k * i} \right)$$

Donde:

*d*: corresponde a la distancia horizontal entre el punto analizado y un foco de contaminación (teórico)

$\square$ : porosidad del medio en la zona saturada = 30% (AyA, 1994)

*k*: permeabilidad del acuífero = 1,722 m/d (realizadas en el macizo rocoso meteorizado)

*i*: gradiente hidráulico = 0,358 m/m, tomado en las isofreáticas.

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*<sub>2</sub>), puede determinarse restando el tiempo total de vida de las bacterias según el medio menos el tiempo en

el tránsito vertical (según Rodríguez, 1994). Se determina un tiempo (*t*<sub>2</sub>) de 99,418 para la Naciente Gamboa.

*Cuadro 4: Cálculo de la distancia horizontal en que se degradarían las bacterias.*

<b>Parámetros</b>	<b>Naciente 1</b>
<i>t</i> <sub>1</sub> : tiempo en la zona no saturada	0,583 días
$\square$ : porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada	0,3
<i>k</i> : permeabilidad del acuífero	1,72
<i>i</i> : gradiente hidráulico	0,358**

<i>t<sub>2</sub>: tiempo de tránsito horizontal restante (hasta completar los 100 días (t)) para la degradación de las bacterias</i>	99,418 días
<b>d: distancia horizontal en que se degradarían las bacterias</b>	<b>204,29 m</b>

\*permeabilidad del acuífero tomada a partir de las pruebas de infiltración en el macizo rocoso.

\*\*gradiente hidráulico tomado de las isofreáticas.

Considerando que las bacterias no estarían degradadas cuando llegan a la tabla de agua, una vez que empiezan a desplazarse (componente horizontal), siguiendo la dirección de flujo preferencial bajo el gradiente hidráulico indicado, necesitarían recorrer 204,29 m. Por lo que cabe mencionar, que no debería darse ninguna fuente de contaminación a menos de 204,29 m para la aguas arriba de la naciente y así evitar la posibilidad de contaminación de la fuente, constituyendo así un área de *protección microbiológica para la naciente*.

## 6. CÁLCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA.

El cálculo de las zonas de protección involucra dos etapas, primero la definición de la zona de captura de la fuente y segundo, la delimitación del sector de esa zona de captura dentro de la cual el tiempo de tránsito entre la superficie y la fuente es menor a 70 días para medios porosos y menor a 100 días para medios fracturados, el cual es el presente caso (Figura 5).

### 6.1. Zona de captura

- **Ancho de la zona de captura**

El ancho de la zona de captura se define con la relación (Grubb, 1993) (Cuadro 5)

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

Para acuíferos libres, en donde

a = ancho de la zona de captura

Q= caudal de la fuente, según aforo realizado en el sitio.

k = permeabilidad del acuífero, 1,722 m/d.

H<sub>1</sub> = 25,61 m, espesor acuífero a 115,42 m aguas arriba de la naciente (Figura 4).

H<sub>2</sub> = 8,39 m, espesor acuífero a 57,89 m aguas arriba de la naciente (Figura 4).

L = 57,3 m, distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero (h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>)

*Cuadro 5: Parámetros para el calculo del ancho de la zona de captura de la Naciente Gamboa, Asada de San Isidro de León Cortés.*

Parámetros	Naciente 1
------------	------------

Caudal m <sup>3</sup> /d	38,88
L (m)	57,3
K (m/d)	1,7220
h <sub>1</sub> (m)	25,6100
h <sub>2</sub> (m)	8,3900
<b>a (m)</b>	<b>4,39</b>

El ancho teórico resultante para la naciente Gamboa es de 4,39 m.

▪ **Radio de no retorno**

El calculo del radio de no retorno, es una metodología definida para pozos, sin embargo se estima para las nacientes como referencia para la protección de la zona captada (Grubb, 1993) (Cuadro 6):

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

*Cuadro 6: Parametros para el calculo del radio de retorno de las nacientes de la Naciente Gamboa.*

<b>Parámetros</b>	<b>Naciente 1</b>
<i>Caudal m<sup>3</sup>/d</i>	38,88
<i>L (m)</i>	57,3
<i>K (m/d)</i>	1,7220
<i>h<sub>1</sub> (m)</i>	25,6100
<i>h<sub>2</sub> (m)</i>	8,3900
<b><i>X<sub>0</sub>(m) : radio de retorno</i></b>	<b>0,69</b>

El radio de no retorno para la naciente Gamboa es de 0,69 m. Sin embargo por criterio experto y morfología, se define dicha zona en al menos un radio de 5 metros, distancia en la que se ubica el salto de agua, aguas abajo de la naciente.

**6.2. Radio fijo**

Para realizar el cálculo de la zona de protección se emplea la ecuación del radio fijo:

$$R = \sqrt{\left(\frac{Q \cdot T_{sat}}{\pi \cdot \Theta \cdot b}\right)}$$

Donde,

Q: caudal en m<sup>3</sup>/día de la naciente

T<sub>sat</sub>: tiempo de tránsito del flujo horizontal en el acuífero.

Θ porosidad del acuífero

π: Pi 3,14

b: espesor del acuífero

r: es el radio fijo en metros

*Cuadro 7: Parámetros para el radio fijo de la naciente Gamboa.*

<b>Parámetros</b>	<b>Naciente 1</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /d)	38,88
Porosidad	0,3
Espesor del acuífero (m)	25,61
Tiempo en la zona saturada (días)	99,42
<b>Radio (m)</b>	<b>12,66</b>

El radio fijo como zona de protección queda incluida en la zona de protección operacional definida por Foster et al (2002) (Apartado 6.4)

### **6.3. Darcy**

Se utiliza la relación de Darcy ( $Q = TiL$ ) para determinar el ancho de la zona de captura:

$$L = \frac{Q}{Ti} = \frac{38,88m^3/d}{44,04m \cdot 0,358} = L = 2,46m$$

Donde:

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/d

i: gradiente hidráulico.

T: transmisividad (m<sup>2</sup>/d), obtenida de la relación  $T = ki$ , donde la permeabilidad es de 1,72 m/d y el espesor es de 25,61m.

L: ancho de captura.

### **6.4. Zona operacional de la Naciente Gamboa.**

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 de un pozo, la cual comprende una

pequeña área de terreno alrededor de la propia fuente de abastecimiento. *Análogamente, se puede utilizar ésta misma morfología 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.

*Es un área de reserva absoluta.* En ella *no se deberán permitir actividades que no estén relacionadas con la extracción misma del agua y aún así estas actividades necesitan ser evaluadas y controladas cuidadosamente* para evitar la posibilidad de que los 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). *Esto se cumple para el caso en estudio, y al ser un acuífero libre el que se está aprovechando, la aplicación de 15 metros de radio para la “zona operacional” para la naciente Gamboa, resulta altamente recomendable, al igual que los 5 metros aguas abajo de la naciente; éste se debe implementar junto con el resultado del parámetro “d”, del análisis de tiempos de tránsito de contaminantes advectivos en la zona conexas a la naciente (esto es: d=204,96 metros aguas arriba de la naciente Gamboa)*

Se indica que el día de la visita de campo a la Naciente, la misma no estaba siendo captada y tenía una estructura en concreto donde se captaba y almacenaba el agua por parte de un tercero, dicho tanque de almacenamiento estaba degradado parcialmente (ausencia de mantenimiento), de igual manera, en caso de que haya interés en que el agua sea captada y usada para distribución se recomienda proteger el sitio de captación y hacer cunetas en la parte alta, de tal manera que la escorrentía no llegue a la naciente y sea protegida de los animales.

## **7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCION INMEDIATA**

La vulnerabilidad se evalúa por el método G.O.D. (Foster y otros, 2002), el cual toma en cuenta tres factores y aplica un índice a cada uno de ellos. La vulnerabilidad final resulta de la multiplicación de esos tres índices. Los cálculos son los siguientes:

- Grado de confinamiento: libre, índice 1,0.
- Ocurrencia del sustrato: areniscas medias y fnas 0,7.
- Profundidad al nivel freático: menor a 5 m en las cercanías de la naciente, índice 0,9.

El índice de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero es 0,63, correspondiente a ***vulnerabilidad alta***.

## **8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

A la fecha se cuenta con un informe de calidad de agua realizado por el Laboratorio Nacional de Agua el día 22 de febrero de 2014, cuyo resultado fue de 460 coliformes fecales/100 mL, el cual concluye que "la densidad de coliformes detectada indica que el agua de la muestra evaluada es de calidad mala" (Anexo 2).

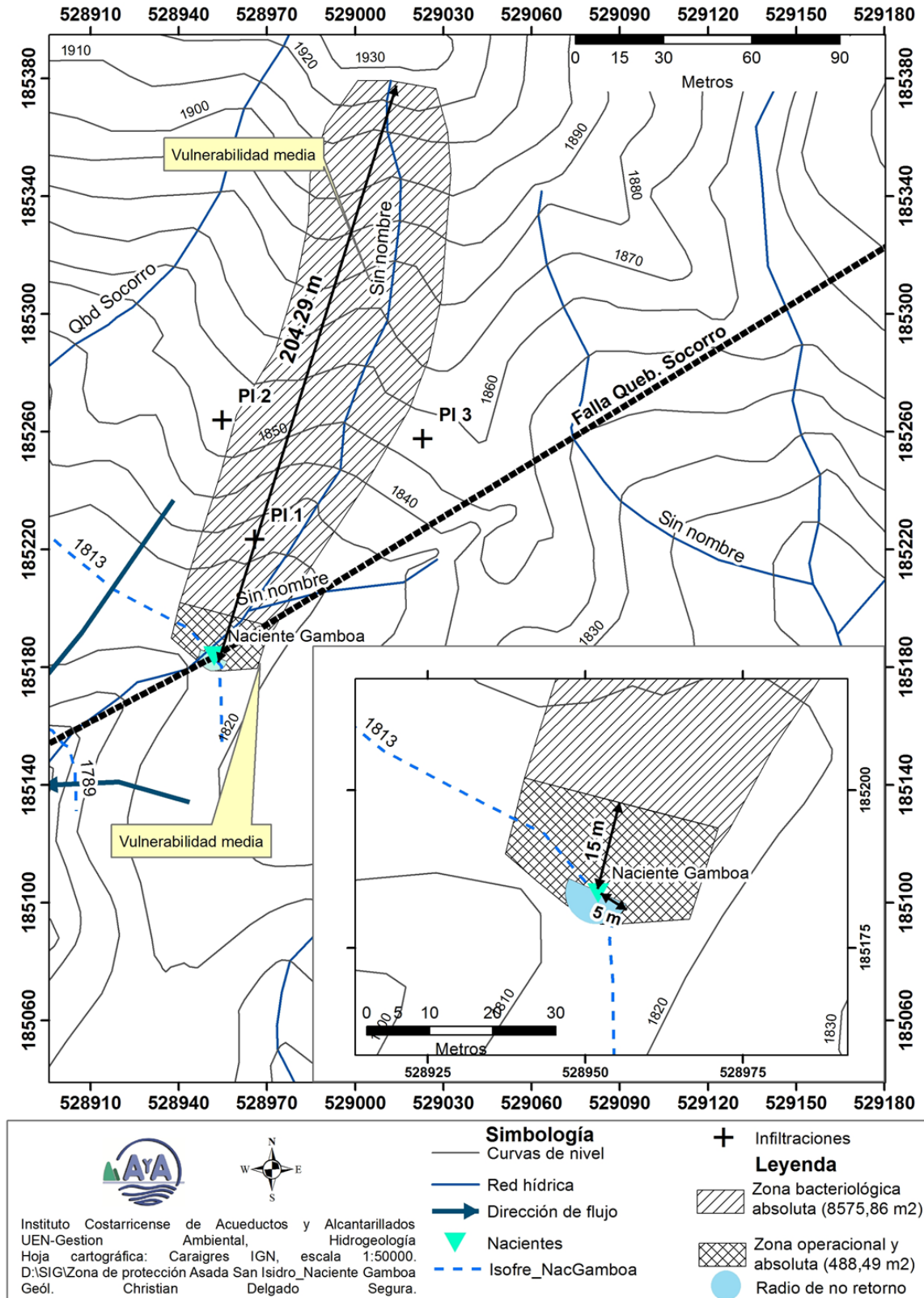


Figura 5: Zonas de protección para la naciente Gamboa.

## 9. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

El acuífero del que se origina la naciente es del tipo libre. El nivel se encuentra en las areniscas fracturadas de la formación Carraigres.

La vulnerabilidad del acuífero dentro de la zona de protección bacteriológica y operacional se cataloga como alta. El análisis de tránsito de contaminantes bacteriológicos indican que en una distancia horizontal recorrida de 204,29 m de la naciente Gamboa, las bacterias se degradarían en su totalidad para un período de vida de 100 días en medios fracturados.

El ancho de la zona de captura resultante basado en la metodología de Grubb para la naciente Gamboa es de 4,39 m. El radio de no retorno es de 0,69m, sin embargo por criterio experto y morfología se define en 5 m..

Según la metodología de radio fijo, la zona de protección para la naciente es de 12,66 m, la misma queda incluida en la zona operacional definida por Foster et al (2002), con un radio de 15 m.

La definición de la zona de protección de la naciente Gamboa aparte de los criterios desarrollados en el presente informe, se apoya en el criterio geomorfológico para el trazado de las zona operacional, la zona de protección absoluta bacteriológica (Cuadro 8 y Figura 5).

*Cuadro 8: Zonas de protección de la naciente Gamboa.*

<b>Tipo de zona de protección</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Zona operacional</i>	529,67	Sector recomendado para el resguardo físico del sitio de captación.
<i>Zona de protección absoluta bacteriológica</i>	8575,86	Sector de protección absoluta en la cual se restringe todo tipo de actividades que implique vertidos de contaminantes físico - químicos y bacteriológicos, hasta una distancia de 204,29 m para la naciente Gamboa.

Se recomienda una zona de protección de 5 metros aguas abajo de la naciente Gamboa (Figura 5).

La zona de protección absoluta bacteriológica así definida es un área de reserva absoluta dentro de la cual no se debe permitir ninguna actividad generadora de fluidos potencialmente contaminantes tales como tanques sépticos, uso de productos químicos, ni la aplicación de plaguicidas (Figura 5).

De igual manera, no deben permitirse alteraciones del terreno que vayan a disminuir el espesor de la zona no saturada. En la zona operacional y zona de protección absoluta debe estar demarcada de una manera fácilmente identificable.

En la zona operacional y de protección absoluta se recomienda resguardar la seguridad en las nacientes colocando una malla perimetral para evitar que la fuente se contamine por residuos de animales o personas, de igual manera, instalar cunetas aguas arriba de cada captación y así canalizar el agua de escorrentía que podría afectar la fuente captada.

Las naciente N°2 presenta caudales muy bajos que no fue posible medir mediante el método volumétrico y actualmente no están siendo captadas por la ASADA.

En cuanto a la calidad de aguas de la naciente Gamboa al momento de realizar este informe, el resultado del análisis de aguas del Laboratorio Nacional de Agua realizado el día 22 de febrero de 2014, indica que hay 460 coliformes fecales/100 mL, concluyendo que "la densidad de coliformes detectada indica que el agua de la muestra evaluada es de calidad mala"

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias O., & Denyer P., 1990. "Mapa geológico de la hoja Caraigres". Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Montes de Oca. Alvarado, G., Barquero, R., Taylor, W., Mora, M., Peraldo, G., Salazar, G. & Aguilar, T., 2009: Geología de la hoja San Isidro, Costa Rica. – Rev. Geól. Amér. Central, 40: 111-122.
- AyA. 1994. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. "Normas para el cálculo de los tiempos de tránsito entre los drenajes de los tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea". División de Estudios y Proyectos. San José.
- Dengo, G, 1962: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica. –En: ENGEL, A.E.J., JAMES, H.L. & LEONARD, B.F. (eds.): A volumen to honor A.F. Budington: Geol. Soc. Am. Spec. Vol.: 133-161.
- Denyer P y Arias O. 1991. "Estratigrafía de la región central de Costa Rica". Rev. Geol. de América Central, 12:1-59.
- Denyer, P., Montero, W, & Alvarado G., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. 1 de. Edit. Universidad de Costa Rica. 79 pp.
- 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 aquifers". Ground Water 31, No. 1:21-32.

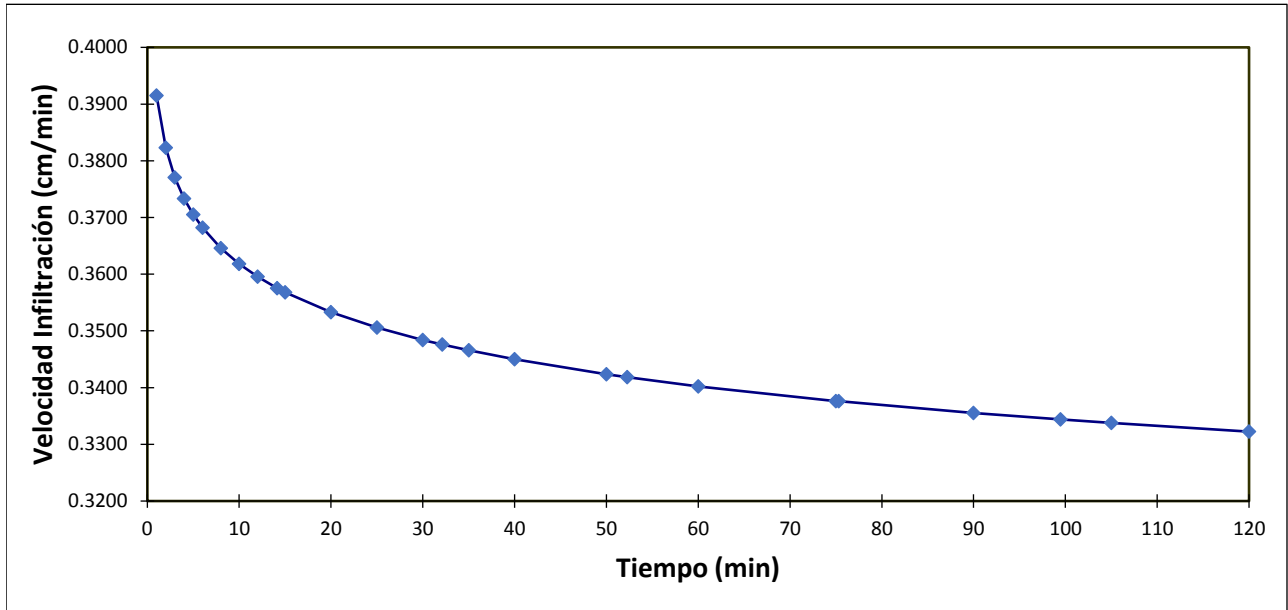
Rodriguez, H., 2011: Definición de la zona de protección absoluta inmediata de la naciente Grifo Alto 1 (Jose Luis Porras). Grifo Alto, Puriscal. Área de Hidrogeología – UEN Gestión Ambiental. 18 pp.

Sanders, L;1998: A manuel of field Hydrogeology. Prentice Hall. 381 pp.

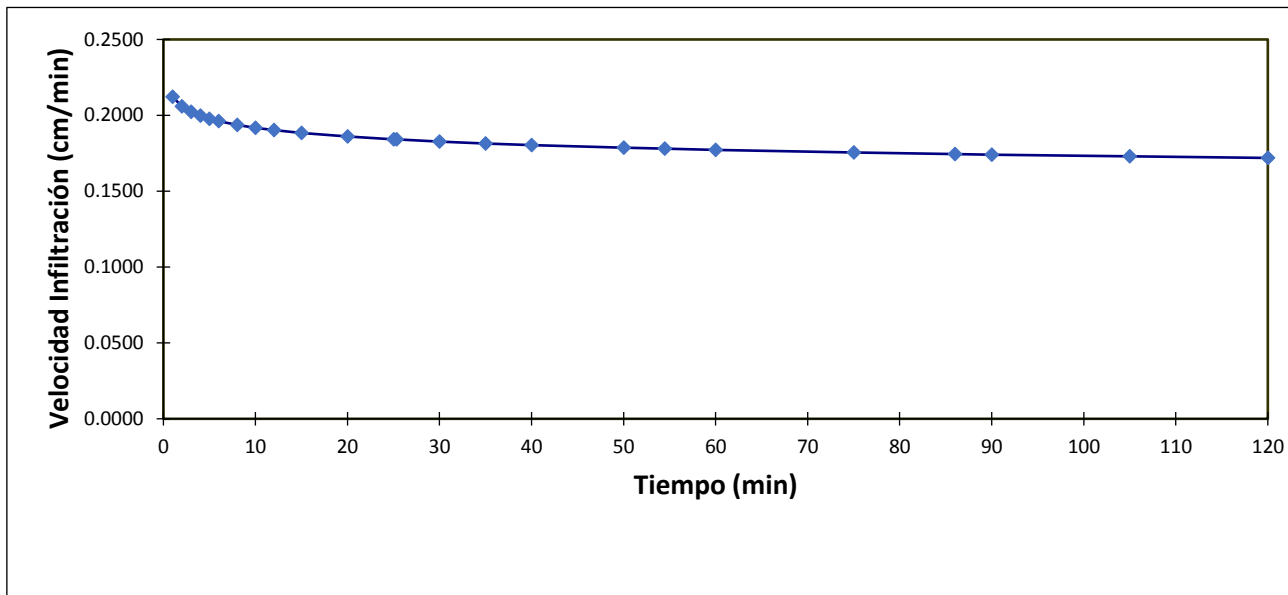
SENARA, 2015: Base de datos de perforación.

## 11. ANEXOS

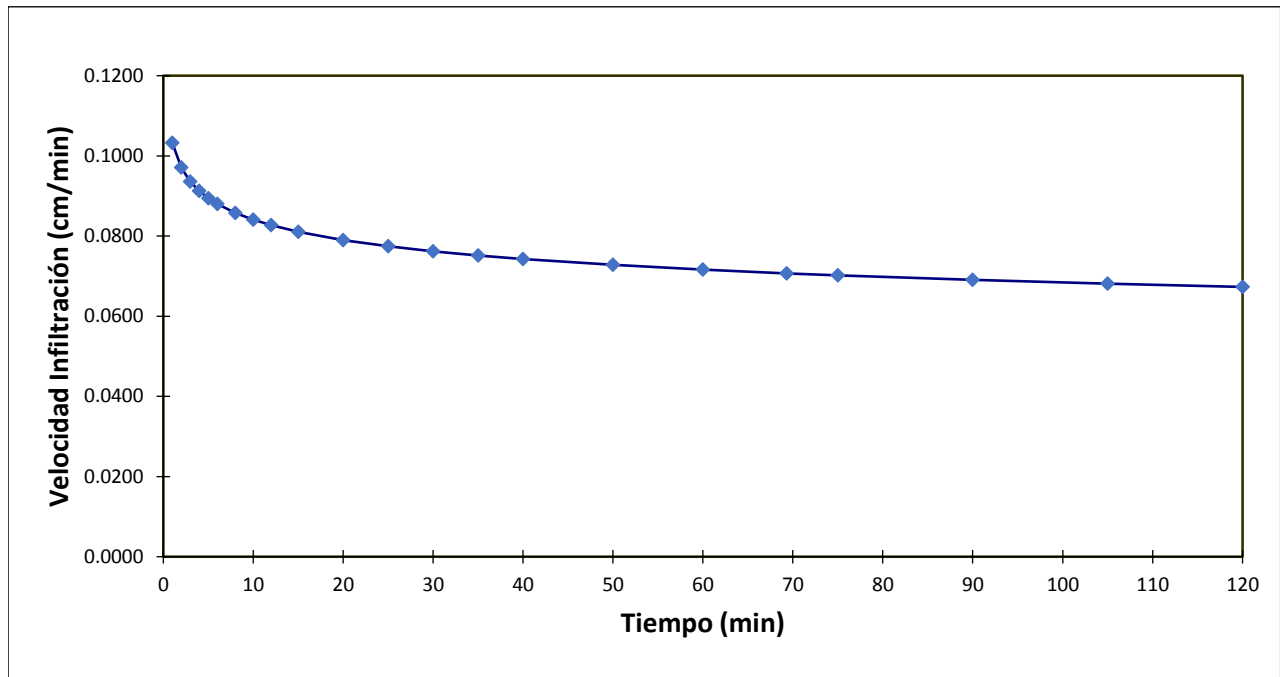
### Anexo 1: Pruebas de infiltración.



Gráfica 1: Prueba de infiltración 1, Naciente Gamboa



Gráfica 2: Prueba de infiltración 2, Naciente Gamboa



Gráfica 3: Prueba de infiltración 3, Naciente Gamboa



Fotografía 8: Prueba de infiltración

1.

Coordenadas 528970 E y 185218 N.



Fotografía 9:

Prueba de infiltración 2.

Coordenadas 528967 E y 185253 N



Fotografía 10:

*Prueba de infiltración 3.  
Coordenadas 529034 E y 185247 N.*

## ***Anexo 2: Analisis de la calidad de aguas***




Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Procedencia: SAN ISIDRO DE LEÓN CORTÉS		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS RURALES		Recolección: 22/02/2014	
Cantón: LEON CORTÉS		Recolectado por: RAFAEL SOLIS		Conclusión análisis: 25/02/2014	
Provincia: SAN JOSÉ		Tipo de muestra: Pozos ó manantiales	Número reporte: 115520	Emisión reporte: 27/02/2014	
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml <sup>-1</sup>		NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES	
NACIENTE GAMBOA	12:45			460	460

1- Orden: 0742-14.  
2- Reporte de campo: naciente para estudio dependiendo de los resultados se inyectara al acueducto.  
3- Criterio microbiológico de evaluación de pozos y manantiales: a) calidad excelente: menor o igual a 6 coliformes fecales/100 mL, sin E.coli.; b) calidad buena: 7-21 coliformes fecales/100 mL; c) calidad regular: 22-50 coliformes fecales/100 mL; d) calidad mala: mayor a 50 coliformes fecales/100 mL. 4-En este análisis puntual, en base a los criterios de pozos y manantiales, la densidad de coliformes detectada indica que el agua de la muestra evaluada es de calidad mala.

  
PROFESIONAL RESPONSABLE

AREA MICROBIOLOGIA

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"