

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 ASADA SAN MARTÍN DE LEÓN CORTES



Elaboró: Geól. Christian Delgado Segura

Colaboración de campo: Geól. Christian Corrales Díaz.

Asistencia campo

Gestor Marvin Gómez / Gestor Francisco Segura.

Revisó y avaló: MSc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección del Área Funcional de Hidrogeología
NOVIEMBRE, 2015.



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



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

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

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

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

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

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-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 | 6 |
| 2. UBICACIÓN DE NACIENTES Y POZOS EN EL SECTOR | 6 |
| 3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 10 |
| 3.1. GEOLOGÍA REGIONAL | 10 |
| 3.1.1. Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto) | 10 |
| 3.2. GEOLOGÍA LOCAL | 11 |
| 3.2.1. Unidad de brechas de lavas: | 11 |
| 4. CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS | 18 |
| 4.1 Definición de acuíferos | 18 |
| 4.2. Parámetros hidráulicos del acuífero | 18 |
| 4.3. Niveles de agua subterránea, direcciones de flujo y gradiente hidráulico..... | 21 |
| 4.4. Características de la zona no saturada | 21 |
| 5. TIEMPOS DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA | 23 |
| 5.1. Distancia para un tiempo de tránsito de 100 días (zona de protección absoluta inmediata) 23 | |
| 5.1.1. Zona no saturada | 23 |
| 5.1.2. Zona saturada Nacientes San Martín. | 24 |
| 6. CÁLCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA..... | 25 |
| 6.1. Zona de captura..... | 26 |
| Ancho de la zona de captura..... | 26 |
| Punto de no retorno..... | 26 |
| 6.2. Radio fijo | 27 |

| | |
|--|----|
| 6.4. Zona operacional de las Nacientes ASADA San Martin..... | 28 |
| 7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCION INMEDIATA | 29 |
| 9. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES | 31 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 32 |
| 11. Anexos..... | 34 |
| Anexo 1: Pruebas de infiltración. | 34 |
| Anexo 2: Registro de perforaciones | 38 |
| Anexo 3: Analisis de la calidad de aguas | 39 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Mapa de ubicación de las nacientes de la ASADA San Martín. | 7 |
| Figura 2: Mapa de ubicación de pozos y nacientes registrados en la base de datos del AyA y SENARA | 8 |
| Figura 3: Mapa geológico regional para el sector de las nacientes de la ASADA San Martin. | 12 |
| Figura 4: Columnas litoestratigráficas del sector de San Martin. | 16 |
| Figura 5: Mapa geológico local del sector de las nacientes de la ASADA San Martin..... | 17 |
| Figura 6: Perfil hidrogeológico del sector de las nacientes de la ASADA San Martin. | 19 |
| Figura 7: Mapa de elementos hidrogeológicos sector nacientes Asada San Martin..... | 20 |
| Figura 8: Zonas de protección para las nacientes de la ASADA San Martin | 30 |

Índice de cuadros

| | |
|---|----|
| Cuadro 1: Nacientes levantadas en el sector de San Martín. | 6 |
| Cuadro 2: Características de las perforaciones en la formación Grifo Alto | 9 |
| Cuadro 3: Pruebas de infiltración en la zona de las nacientes de la ASADA San Martin..... | 22 |
| Cuadro 4: Cálculo del tiempo de transito en la zona no saturada para las nacientes de la ASADA de San Martin..... | 24 |
| Cuadro 5: Cálculo de la distancia horizontal en que se degradarían las bacterias..... | 25 |
| Cuadro 6: Parámetros para el calculo del ancho de la zona de captura de las nacientes de la ASADA San Martin..... | 26 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 7: Parametros para el calculo del radio de retorno de las nacientes de la ASADA San Martin..... | 27 |
| Cuadro 8: Parámetros para el radio fijo de las nacientes de la ASADA de San Martin. | 27 |
| Cuadro 9: Zonas de protección de las nacientes de la ASADA San Martín..... | 31 |

Índice de fotografías

| | |
|---|----|
| Fotografía 1: Captación de la naciente 1. | 9 |
| Fotografía 2: Captación de la naciente 2. | 10 |
| Fotografía 3: Afloramiento de lava brechosa cerca de la naciente 2. Coordenadas 536761 N y 189017 N..... | 13 |
| Fotografía 4: Lavas meteorizadas aflorando en el talud del camino San Martin - Cedral..... | 13 |
| Fotografía 5: Suelo de textura limo arcillosa, sector de la columna estratigráfica 3 | 14 |
| Fotografía 6: Variaciones en las tonalidades de las brechas volcánicas meteorizadas. Coordenadas 537039E y 189069N..... | 15 |
| Fotografía 7: Lava alterada aflorando en un corte del camino Cedral - San Martin..... | 15 |
| Fotografía 8: Suelo con raíces, unidad donde se realizaron las pruebas de infiltración 6, 7 . Coordenadas 536840E y 188933N..... | 23 |
| Fotografía 9: Prueba de infiltración No. 2. | 36 |
| Fotografía 10: Prueba de infiltración No. 5. | 37 |
| Fotografía 11: Prueba de infiltración No. 7..... | 37 |

Índice de gráficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 1: Prueba de infiltración No. 2. | 33 |
| Gráfica 2: Prueba de infiltración 3. | 33 |
| Gráfica 3: Prueba de infiltración No. 5..... | 34 |
| Gráfica 4: Prueba de infiltración No. 6..... | 34 |
| Gráfica 5: Prueba de infiltración No. 7..... | 35 |

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES ASADA SAN MARTIN DE LEON CORTES, SAN JOSE.

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio fue realizado en respuesta a la solicitud efectuada por UEN Gestión Acueductos Rurales mediante oficio UEN – GAR – 2015 – 02005, ante esta solicitud por parte de la Dirección de Hidrogeología se asigna a un grupo de trabajo donde se realizaron tres giras de campo los días martes 22 de setiembre, jueves 24 de setiembre y lunes 28 de setiembre del 2015 en las cuales se ejecutaron pruebas de infiltración y el levantamiento geológico del sitio de las nacientes y alrededores. Posteriormente, se hizo el análisis de los datos de campo, solicitud y recolección de información pertinentes para la realización de los cálculos de rigor necesarios para sustentar este tipo de investigación, entre ellos: registros de pozos y nacientes registrados cercanos al de interés. Los manantiales son la única fuente de abastecimiento captada por la Asociación Administradora del Acueducto Rural (ASADA) de San Martín de León Cortes, con la cual abastecen a 54 abonados.

En total se levantaron 8 nacientes, de las cuales son de interés únicamente la naciente N°1 y N°2, que son las captadas por la ASADA de San Martín. Las restantes se identifican sin que implique el análisis de zonas de protección y demás variables descritas en el desarrollo del informe, debido a que no están captadas por la ASADA.

El presente informe consiste en: a) reporte de resultados de pruebas de campo respectivas, b) análisis geológico-hidrogeológico del sitio -contexto de las Nacientes en San Martín, c) determinación de tiempos de tránsito de contaminantes patógenos, e) delimitación de la zona de protección de la fuente en cuestión por medio del método de Grubb, Foster, radio fijo y la referencia de tránsito de contaminantes y f) principales conclusiones y recomendaciones. Apéndices: documentos anexos, cuadros de datos y otros.

1.1 Objetivo General

Delimitar la zona de protección para las 2 nacientes captadas por la ASADA de San Martín de León Cortes.

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 que capta la naciente en mención.
- Representar de forma gráfica, la delimitación de la zona de protección de las nacientes.

1.3 Ubicación Cartográfica y Contextual

Las Nacientes de la ASADA de San Martín, se localizan en la comunidad de Cedral, distrito de Santa Cruz, cantón León Cortes, provincia San José; específicamente a 1 kilómetro al Oeste del

centro comunal, las coordenadas aproximadas son 536728 Este y 189034 Norte, Costa Rica Lambert Norte, hojas topográficas Carairges y Tapantí (IGN), a escala 1:50 000 (Figura 1).

2. UBICACIÓN DE NACIENTES Y POZOS EN EL SECTOR

En el Cuadro 1, se presentan las principales características de las nacientes captadas y no captadas ubicadas en la zona.

Cuadro 1: Nacientes levantadas en el sector de San Martín.

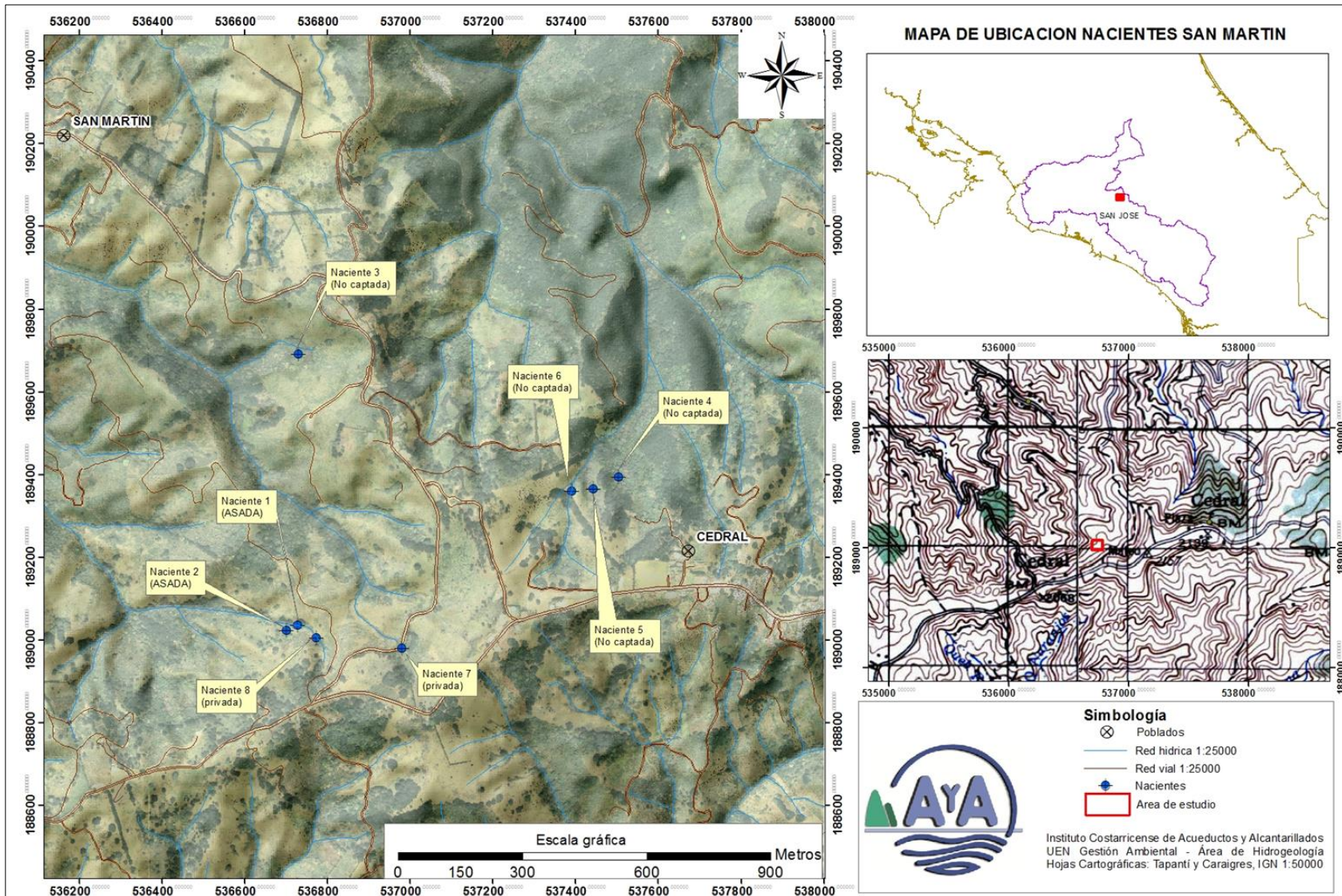
| Naciente | Coordenadas | Caudal (l/s) | Elevación (msnm) | Observaciones |
|----------|----------------------|--------------|------------------|---|
| 1* | 536727E/ 189035N | 0,45 | 2034 | Captada por la ASADA San Martin |
| 2* | 536700E/ 189022N | 0,16 | 2028 | Captada por la ASADA San Martin |
| 3 | 536726E/ 189690 N | NM | 1961 | Antigua captación de ASADA |
| 4* | 537504E/ 189394 N | 0,06 | 2041 | De interes para la Asada, no captada |
| 5 | 537441E/ 189365 N | NM | 2054 | De interes para la Asada, no captada |
| 6 | 537388E/ 189360 N | NM | 2059 | De interes para la Asada, no captada |
| 7 | 536981E/ 188982 N | NM | 2088 | Captada por un vecino, orilla del camino. |
| 8 | 536771E/ 189005N | NM | 2055 | Captada por vecino |

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

NM: Cuadal no medido mediante aforos, condiciones *in situ* desfavorable.

Las nacientes con las se abastece la comunidad de San Martin corresponden con la N°1 y N°2 (Fotografía 1 y Fotografía 2), en total suman 0,614 l/s. Los caudales identificados con NM (no medido), el flujo era muy bajo y disperso (aflora en el suelo y sustrato blocoso), situación que limitaba el aforo (Figura 1).

En la base de datos de SENARA, los pozos más cercanos se encuentran en un radio de 5700 metros, cuya información se encuentra en el Cuadro 2 , Figura 2 y el Anexo 2.



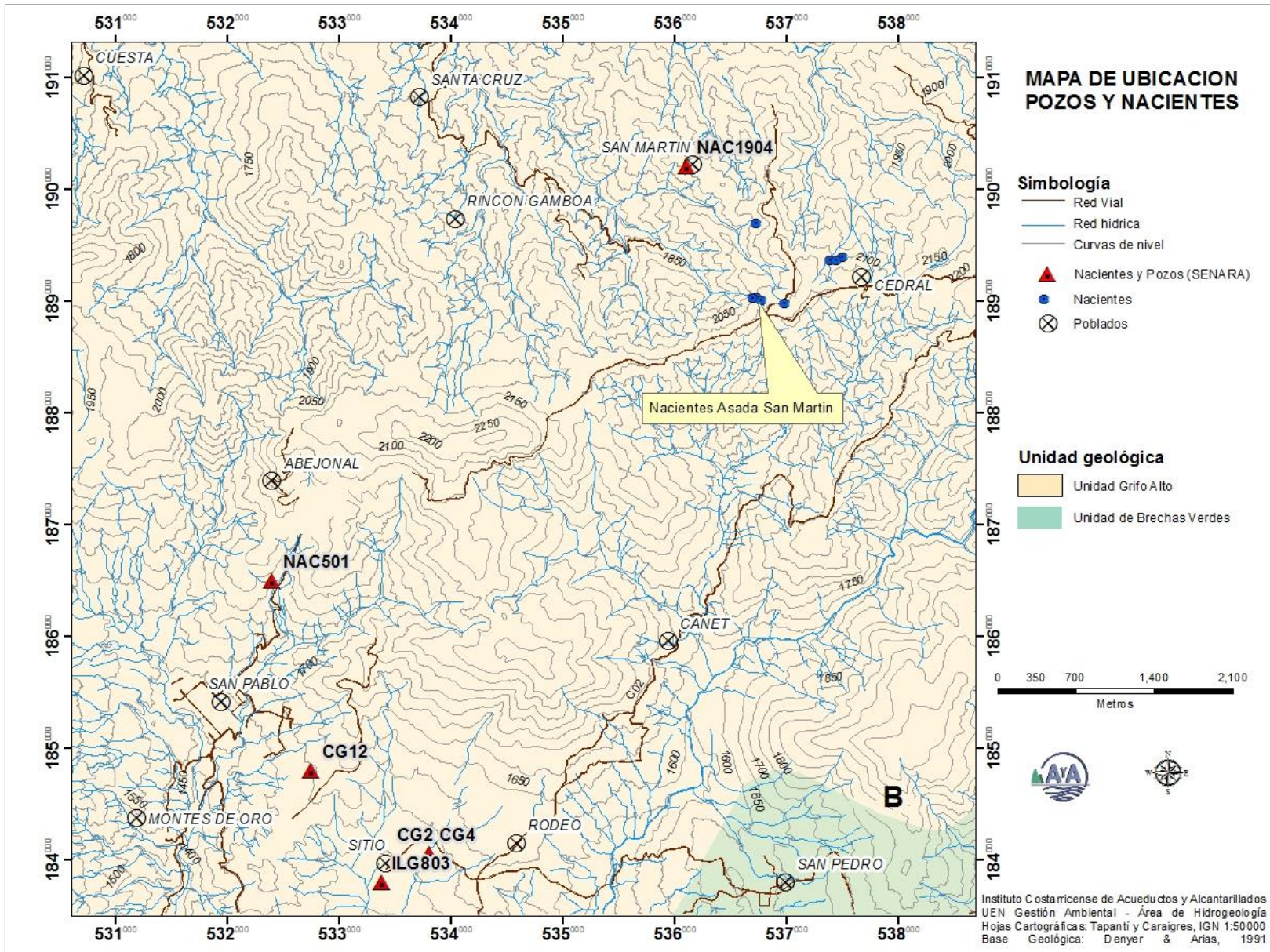


Figura 2:

Mapa de ubicación de pozos y nacientes registrados en la base de datos del AyA y SENARA

Cuadro 2: Características de las perforaciones en la formación Grifo Alto

| Pozo | Coord. (Lamb. N) | NE (m) | ND (m) | Prof. (m) | Q (l/s) | Litología | Propietario |
|-------|---------------------|----------|--------|-----------|---------|--|-----------------------|
| CG-12 | 532750E/ 184800N | 3,5 | 20 | 85 | 2 | 0-3m: suelos. 3-48m: coluvio aluvial. 48-60m: lavas alteradas 60-85m: lavas con secciones fracturadas | MININOS S.A |
| CG-2 | 530300E/ 184500N | 4,5 7 | - | 30 | - | - | Edgar Chamberlaing |



*Fotografía 1: Captación de la
naciente 1.*



*Fotografía 2: Captación de la
naciente 2.*

3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La geología del sitio donde aflora el agua de la naciente está compuesta por materiales volcánicos meteorizados, que por su composición y distribución regional, se correlaciona con la Formación Grifo Alto del Grupo Aguacate. Para hacer las correlaciones correspondientes se describen las unidades regionales de roca, de la más antigua a lo más reciente (Figura 3):

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1. Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto)

Litología: Dengo (1962b), describe este grupo como una serie de rocas compuestas por flujos andesíticos, aglomerados y tobas. Alvarado (1984), indica que este grupo está conformado predominantemente por lavas (andesíticas augíticas, andesíticas basálticas, basaltos alcalinos y en menor cantidad andesitas hornbléndicas), tobas y brechas, además Kussmaul, Tournon & Alvarado (1991), coinciden que las rocas del Grupo Aguacate presentan alteración hidrotermal de tipo propilítica y eventualmente cloritización.

Denyer & Arias (1991), dividen este grupo en dos formaciones para el Valle Central, la más antigua es la Formación La Cruz (Mioceno Superior Cuspidal), después de un basculamiento regional en el límite Mioceno-Plioceno se deposita la Formación Grifo Alto (Plio-Pleistoceno), constituida por una

serie de rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas, la cual sobreyace discordantemente a la unidad anterior.

Forma, espesor y distribución: Este grupo está distribuido en el Valle Central, principalmente hacia el oeste, en los Montes del Aguacate (Denyer & Arias, 1991), posee una forma bastante tabular, y a veces algo acuñada con un espesor superior a los 3000 m (Denyer & Arias, 1991).

Edad: 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

A una escala local, en el área en donde se ubican las nacientes predominan materiales volcánicos asociados a coladas de lava y brechas volcánicas, superficialmente son sobreyacidos por un espesor de suelo variable de composición limo-arcillosa.

3.2.1. Unidad de brechas de lavas:

Se encuentra consolidada y aflora en el lecho de las quebradas y en la base de los taludes de los caminos perimetrales a las comunidades de San Martín y Cedral (Fotografía 3). Tiene un espesor meteorizado que oscila entre 1 m y 5 metros, con pátinas de oxidación y matriz limosa de poca cohesión.

Composicionalmente, los clastos son andesíticos de textura afanítica porfírica con fenocristales de plagioclasas distribuidos aleatoriamente, poca abundancia de minerales máficos (Fotografía 4). La matriz que soporta los clastos de la brecha volcánica es de color beige, tobacea, bien consolidada. En el sitio de la Naciente 2, la captación está fundada en esta unidad. Para las demás nacientes (Cuadro 1) la condición geológica en que afloran son similares a las descritas anteriormente.

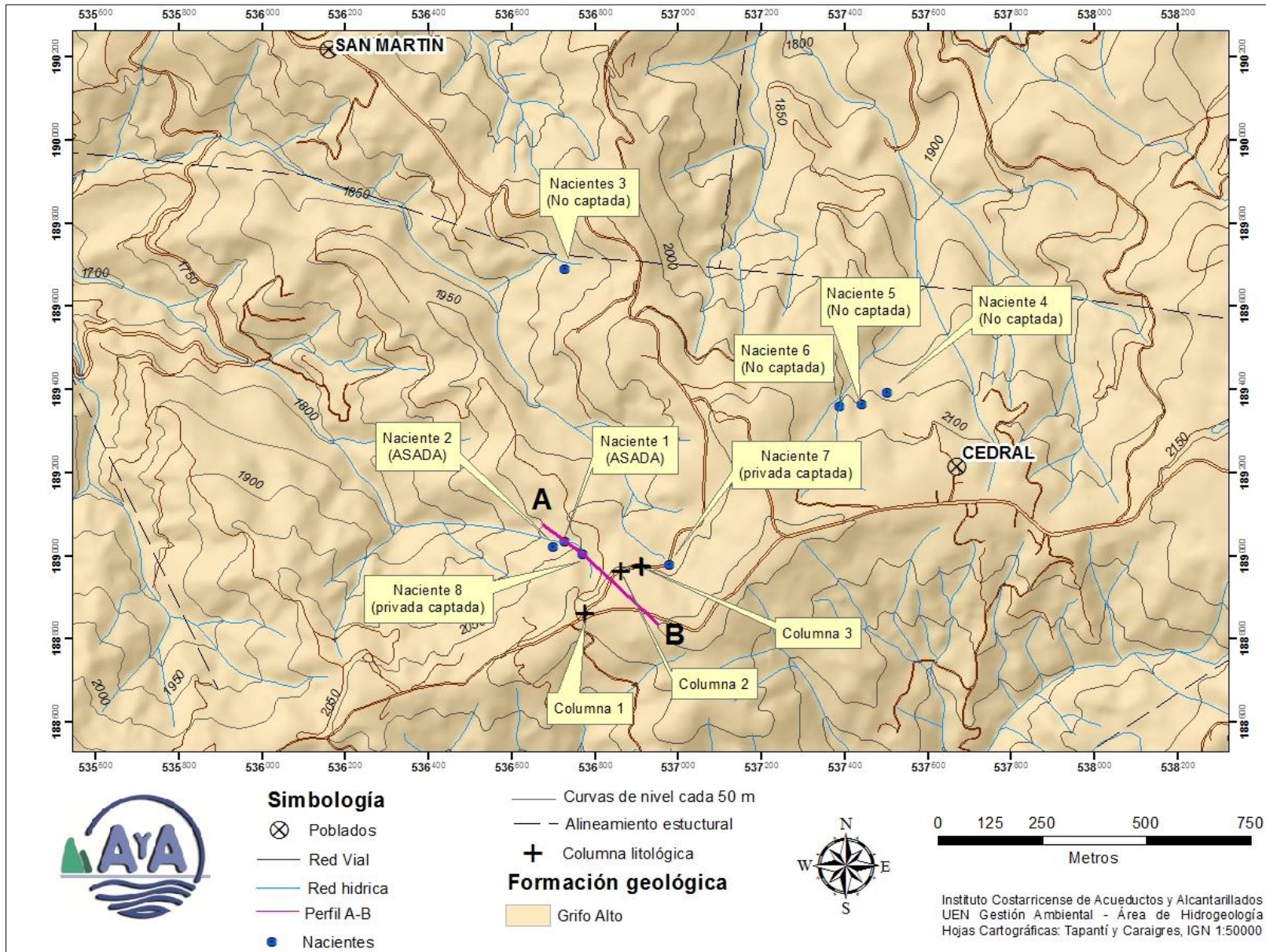


Figura 3:

Mapa geológico regional para el sector de las nacientes de la ASADA San Martín.



*Fotografía 3: Afloramiento de lava brechosa cerca de la
naciente 2. Coordenadas 536761 N y 189017 N.*



Fotografía 4: Lavas meteorizadas aflorando en el talud del camino San Martin - Cedral.

De manera interdigitada y lenticular, se observan horizontes de color morado o con variaciones en la tonalidad de la matriz que sugiere oxidación por la infiltración del agua, así como mayor abundancia de tobas durante la depositación del flujo (Fotografía 6 y Fotografía 7).

A partir de las observaciones de campo, es claro que el agua aflora en la roca y drena aguas abajo por el contacto suelo – roca de manera dispersa, situación que dificulta aforar el caudal. Sobre la generalidad del área hay un suelo rojizo limo arcilloso con variaciones laterales en textura hacia la divisoria de aguas que se vuelve más limo – arenoso cuyo espesor varía entre 0,40 y 2,5 metros (Fotografía 5). La Figura 4, presenta algunas variaciones en el espesor del suelo.



Fotografía 5: Suelo de textura limo arcillosa, sector de la columna estratigráfica 3

La Figura 5 es un mapa geológico local y la Figura 6 es un perfil donde se presenta el modelo geológico conceptual. En el mapa geológico local se presentan los afloramientos de las brechas de lava y la cobertura de suelo típica en el área de estudio.



Fotografía 6: Variaciones en las tonalidades de las brechas volcánicas meteorizadas. Coordenadas 537039E y 189069N



Fotografía 7: Lava alterada aflorando en un corte del camino Cedral - San Martin.

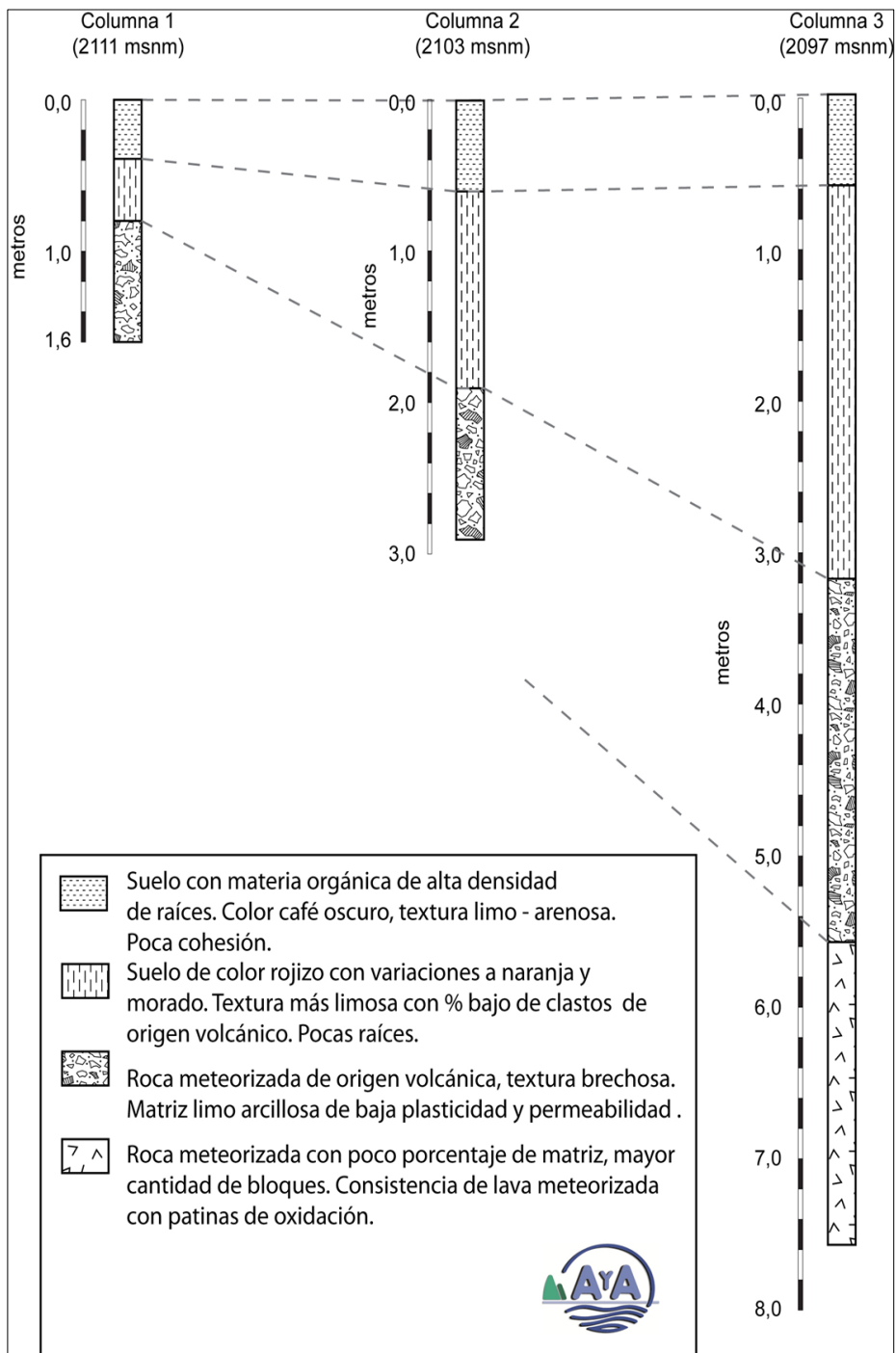


Figura 4: Columnas

litoestratigráficas del sector de San Martín.

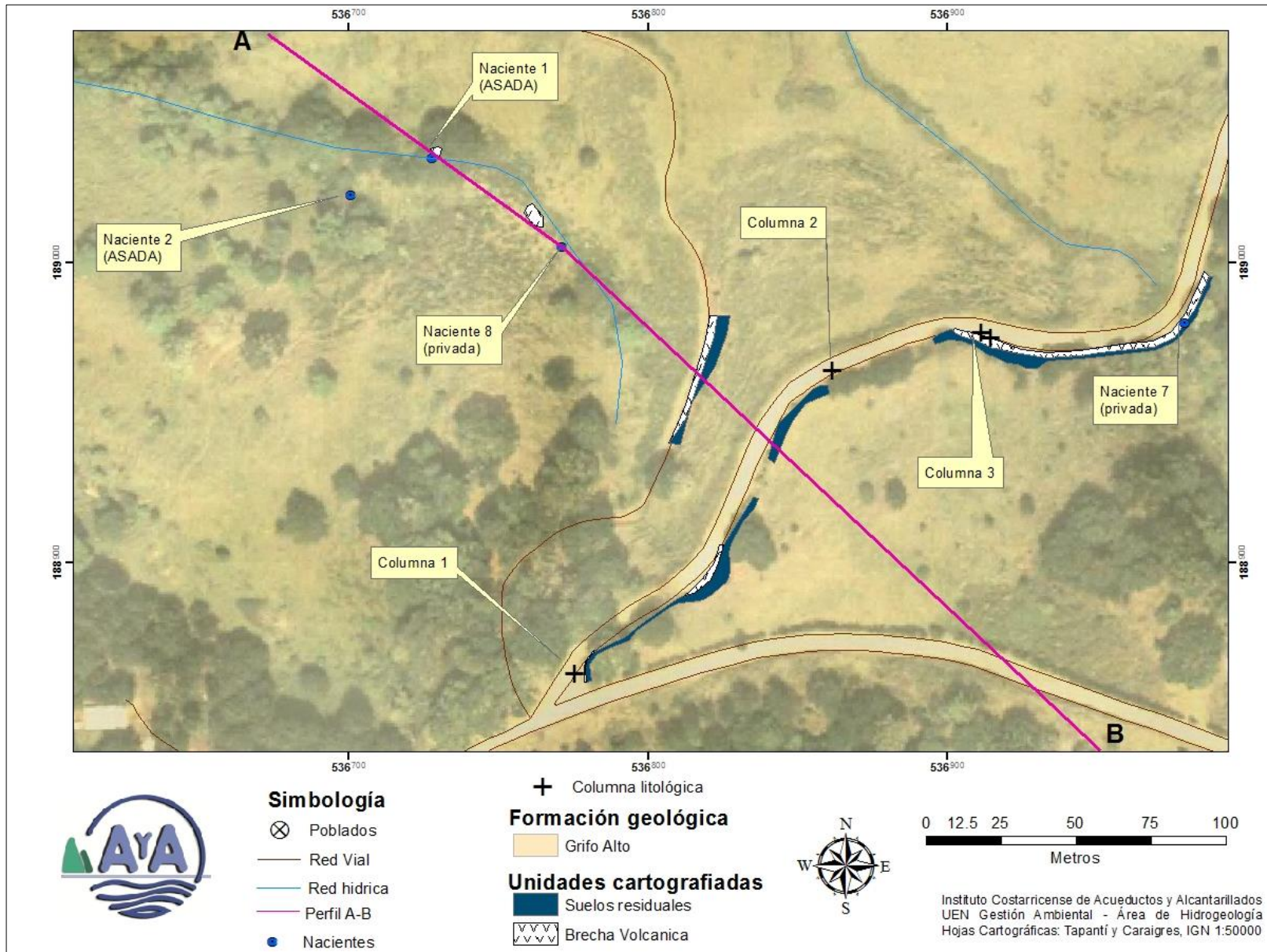


Figura 5:

Mapa geológico local del sector de las nacientes de la ASADA San Martin.

4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

4.1 Definición de acuíferos

Según se puede observar directamente en el sitio, el agua de las nacientes brota de la unidad de lavas brechosas, cuyo flujo esta condicionado a la permeabilidad dada por las fracturas. Corresponde con un acuífero libre cubierto por un suelo de textura limosa de espesor variable. Los afloramientos se deben a cambios topográficos donde la roca queda expuesta y la cobertura de suelo se ha removido por erosión o cortes en los taludes. Para el sitio específico de las nacientes, no se observa un estrato impermeable que funcione como piso del nivel que aflora. Sin embargo, por las características de la roca y la heterogeneidad de la misma (Apartado 3,2,1), no se descarta la presencia de niveles de menor permeabilidad asociados a lentes tobáceos que limiten la recarga lateral o de niveles más profundos.

A partir de las observaciones y el modelo hidrogeológico que se plantea, el nivel es freático cubierto (Figura 6).

4.2. Parámetros hidráulicos del acuífero

En las cercanías del sitio de estudio no hay pozos cercanos, el más próximo es el CG – 12 ubicado a 5730 m al suroeste y el CG – 2, ubicado a 5800 m al suroeste. Se usa la descripción y características del CG – 12 para asignarle los parámetros al acuífero fracturado de la misma formación geológica (Grifo Alto) en la cuál se encuentran las nacientes de la ASADA de San Martin (Figura 2).

- Pozo CG – 12.

Se ubica en San Pablo de León Cortes, tiene una profundidad de 85 metros. Perforó un espesor de 48 m de coluvio – aluvial, posteriormente lavas alteradas y fracturadas en donde se colocó la rejilla y siendo este tramo el espesor de acuífero considerado (23,4 m).

Cuenta con una prueba de bombeo de 12 horas, cuyo caudal de bombeo fue de 2 l/s, el nivel estático es de 3,5 mbns y el dinámico está en 20 mbns. No se reporta transmisividad ni permeabilidad. Dichos parametros se obtienen a partir de la ecuación de Galofré (Custodio & Llamas, 1983):

$$T = \frac{Q * 100}{\Delta s}$$

Donde

T: Transmisividad (m²/d)

Q: Caudal (L/s)

Δs: abatimiento (m)

Por tanto, la transmisividad para el el acuífero fracturado en la formación Grifo Alto es

$$T = 2 \text{ l/s} * 100 / (16,5 \text{ m})$$

$$T = 12,12 \text{ m}^2/\text{d}$$

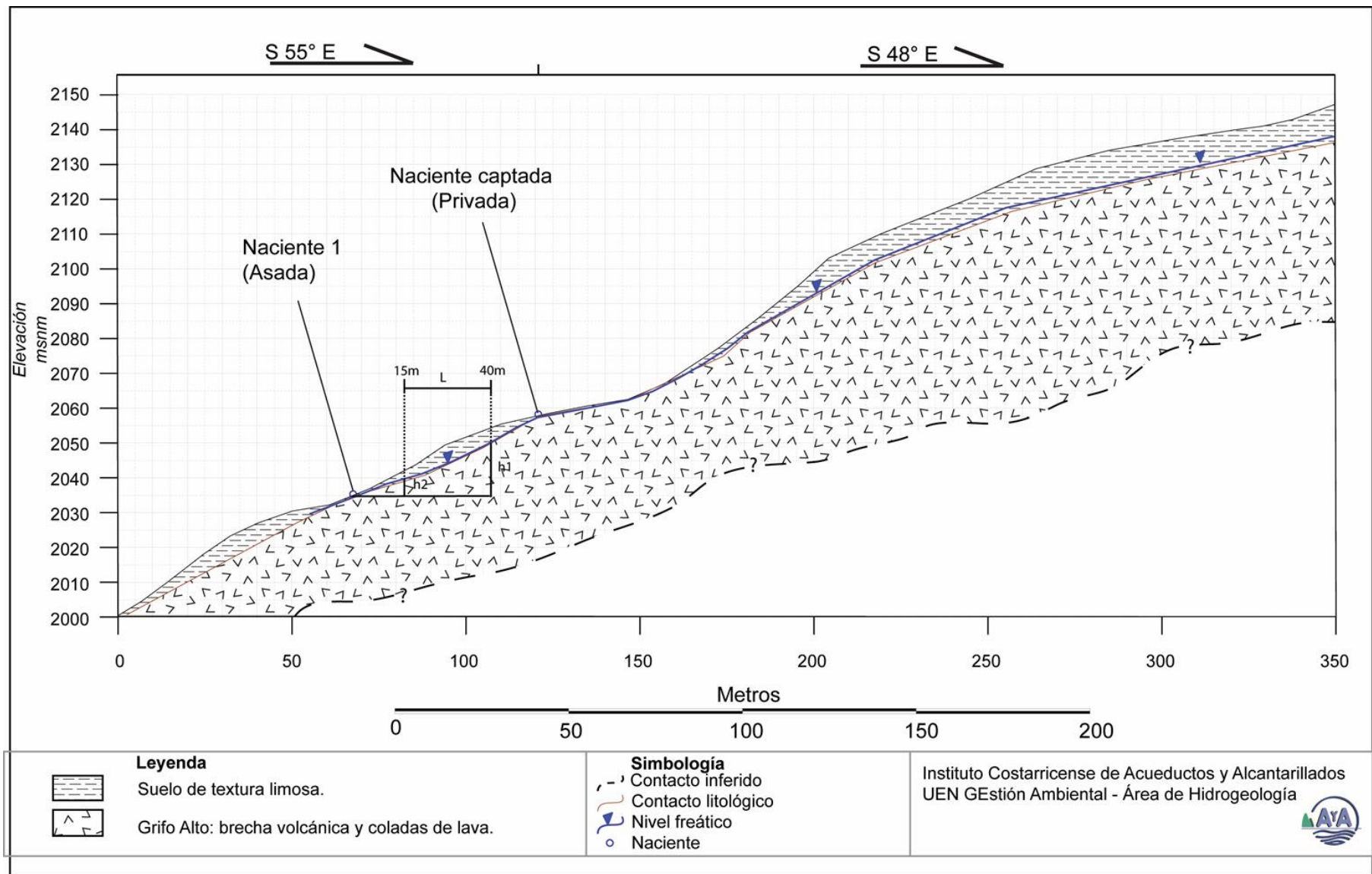
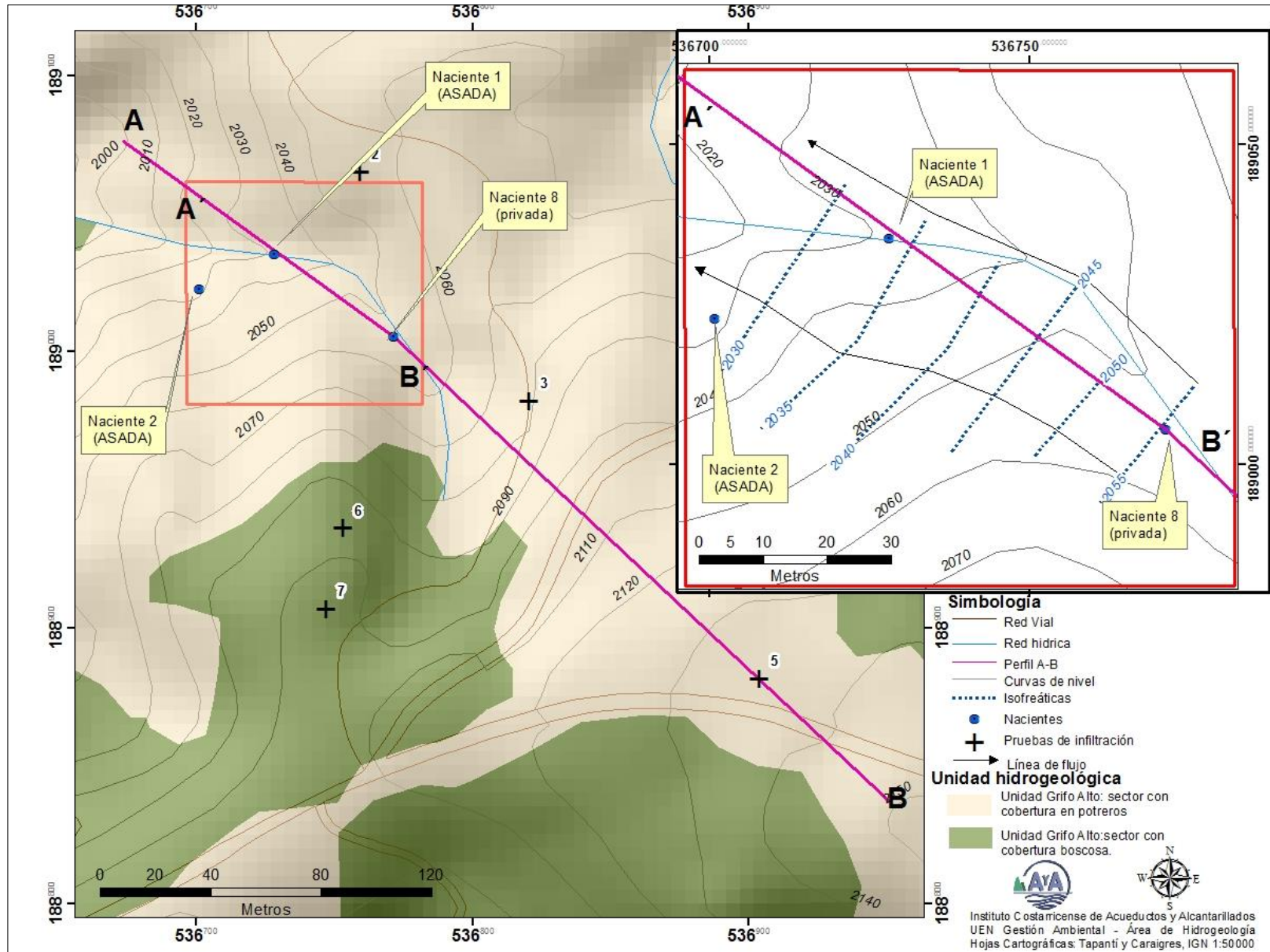


Figura 6: Perfil hidrogeológico del sector de las nacientes de la ASADA San Martin.



La permeabilidad se obtiene de la relación entre el espesor del acuífero y la transmisividad:

$$T(m^2/d) = k(m/d) * b(m)$$

Donde

T: Transmisividad (m²/d)

k: espesor (m)

b: espesor del acuífero (m)

Por tanto, la permeabilidad para el el acuífero fracturado en las lavas brechosa de Grifo Alto es de:

$$k (m/d) = T (m^2/d) / b (m)$$

$$k (m/d) = 12,12 \text{ m}^2/d / 23,4 \text{ m (tomado a partir del armado del pozo CG - 12)}$$

$$k (m/d) = 0,517 \text{ m/d.}$$

En relación con la porosidad, al acuífero se le asigna una porosidad de 0,1 por tratarse de un medio fracturado (AyA, 1994).

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 lavas de la formación Grifo Alto. 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 (Figura 7).

La dirección de flujo del agua subterránea es hacia el Noroeste y la gradiente hidráulica es de 0,34, tomado a partir de las líneas isofreáticas 2030 y 2035 msnm. La profundidad del techo del acuífero no es mayor a los 5 metros en la zona de las nacientes de la ASADA.

4.4. Características de la zona no saturada

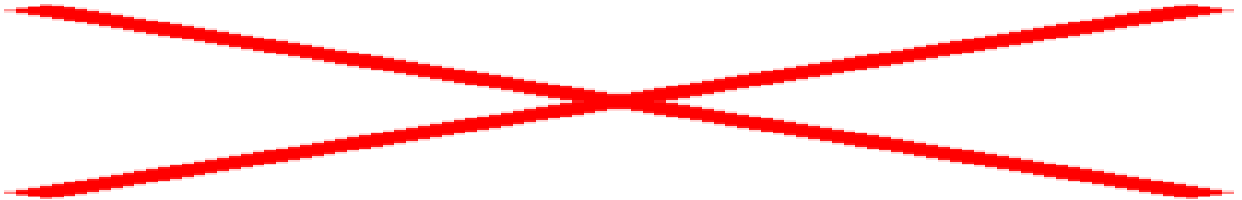
Para conocer las características de los materiales que cubren al acuífero se hicieron 5 pruebas de infiltración directamente sobre el terreno.

A partir de la permeabilidad obtenida en las pruebas y el uso de suelo en la zona, se diferenciaron dos unidades en función de la cobertura, con cambios significativos en la permeabilidad y textura del suelo (Figura 7). Siendo las permeabilidades más altas las asociadas con los sectores de las divisorias de aguas en donde predominan árboles de roble y ciprés, los cuales generan una red de raíces en el subsuelo que facilita la infiltración del agua. Las permeabilidades menores, son las más

representativas para el sector y que son más consistentes con los materiales generados a partir de la meteorización de rocas volcánicas (suelos limosos a limo-arcillosos).

La ubicación de las pruebas se presenta en el mapa de la Figura 7. En el Cuadro 3, se da un resumen de las características de cada de las pruebas de infiltración realizadas. .

Cuadro 3: Pruebas de infiltración en la zona de las nacientes de la ASADA San Martin



Para asignar un valor de permeabilidad representativo de la zona no saturada se tomó el valor promedio de las pruebas de infiltración N°2, N°3 y N°5, siendo de 0,1589 m/d. Dichas pruebas son las más representativas para el tipo de suelo que predomina en la cuenca que contiene las nacientes.

Las pruebas de infiltración N°6 y N°7 son representativas para los primeros 60 cm de suelo que se encuentra en el sector de la divisoria de aguas que tiene una cobertura de suelo con vegetación (árboles de roble y cipreses). Es importante aclarar que estos valores han sido considerados como referencia pero no se han incluido en las valoraciones del tránsito de contaminantes bacteriano, puesto que es muy localizado y poco representativo para lo que predomina en el sector inmediato a las nacientes (Fotografía 8).

La porosidad para la zona no saturada se ha considerado en 0,45 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.



Fotografía 8: Suelo con raíces, unidad donde se realizaron las pruebas de infiltración 6, 7. Coordenadas 536840E y 188933N.

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 4 se muestran las variables y cálculos respectivos para cada nacimiento en estudio.

Cuadro 4: Cálculo del tiempo de tránsito en la zona no saturada para las nacientes de la ASADA de San Martín.

| Parámetros | Naciente 1 | Naciente 2 |
|--|------------|------------|
| b : espesor de la zona no saturada | 3,79 m | 6,22 m |
| θ : porosidad efectiva de los materiales de la zona no saturada | 0,45 | 0,45 |
| k : permeabilidad vertical de la zona no saturada | 0,1589 | 0,1589 |

| | | |
|--|-------------------|-------------------|
| <i>t₁: tiempo de tránsito del flujo vertical en la zona no saturada</i> $t_1 = (b * \square) / (k * i)$ | 10,73 días | 17,61 días |
|--|-------------------|-------------------|

Se determina un tiempo de 10,73 días para la naciente N°1 y de 17,61 días para la naciente N°2 en la zona no saturada de la naciente.

5.1.2. Zona saturada Nacientes San Martín.

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

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

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 = 0,10% (AyA, 1994)

k: permeabilidad del acuífero = 0,571 m/d (determinada a partir de la relación de Galofré para el pozo CG - 12)

i: gradiente hidráulico = 0,34 m/m

La norma dada por el Departamento de Recursos Hídricos del AyA, para la eliminación de bacterias en la zona saturada establece y acepta la fórmula descrita anteriormente. Además, considérese que la componente horizontal del movimiento del flujo en la zona saturada (t_2), puede determinarse restando el tiempo total de vida de las bacterias según el medio menos el tiempo en el tránsito vertical (según Rodríguez, 1994). Se determina un tiempo (t_2) de 89,29 días y de 82,39 días para la zona saturada de la nacientes N°1 y N°2 respectivamente de la ASADA San Martín

Cuadro 5: Cálculo de la distancia horizontal en que se degradarían las bacterias.

| Parámetros | Naciente 1 | Naciente 2 |
|---|-------------------|-------------------|
| <i>t₁: tiempo en la zona no saturada</i> | 10,73 días | 17,61 días |
| \square : <i>porosidad efectiva de los materiales de la zona saturada</i> | 0,1 | 0,1 |
| <i>k: permeabilidad del acuífero</i> | 0,5170 m/d* | 0,5170 m/d* |
| <i>i: gradiente hidráulico</i> | 0,3400** | 0,3400** |

| | | |
|--|-----------------|-----------------|
| <i>t₂: tiempo de tránsito horizontal restante (hasta completar los 100 días (t)) para la degradación de las bacterias</i> | 89,29 días | 82,39 días |
| d: distancia horizontal en que se degradarían las bacterias | 156,96 m | 144,82 m |

*permeabilidad del acuífero tomado de la relación Galofré para el pozo CG – 12.

**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 159,96 m para la naciente N°1 y de 144,82 m para la naciente N°2 para que se degraden en su totalidad. Por lo que cabe mencionar, que no debería darse ninguna fuente de contaminación a menos de 159,96 m para la aguas arriba de la naciente N°1 y de 144,82 m aguas arriba para la naciente N°2 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 8).

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 6)

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

Para acuíferos libres, en donde

a = ancho de la zona de captura

Q= caudal de la fuente.

k = permeabilidad del acuífero, 0,517 m/d.

H₁ = 15,5 m, espesor acuífero a 40 m aguas arriba de la naciente (ver perfil).

h₂ = 4,9 m, espesor acuífero a 15 m aguas arriba de la naciente (ver perfil).

L = 25 m, distancia entre los dos puntos de observación del espesor acuífero (h₁ y h₂)

Cuadro 6: Parámetros para el calculo del ancho de la zona de captura de las nacientes de la ASADA San Martin.

| Parámetros | Naciente 1 | Naciente 2 |
|--------------------------|--------------|-------------|
| Caudal m ³ /d | 38,88 | 13,82 |
| L (m) | 25 | 25 |
| K (m/d) | 0,5170 | 0,5170 |
| h ₁ (m) | 15,5000 | 15,5000 |
| h ₂ (m) | 4,9000 | 4,9000 |
| a (m) | 17,39 | 6,18 |

El ancho teórico resultante para la naciente N°1 es de 17,39 m y para la naciente N°2 es de 6,18 m.

▪ **Punto de no retorno**

El calculo del periodo de 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 7):

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

Cuadro 7: Parametros para el calculo del radio de retorno de las nacientes de la ASADA San Martin.

| Parámetros | Naciente 1 | Naciente 2 |
|--|-------------|-------------|
| Caudal m ³ /d | 38,88 | 13,82 |
| L (m) | 25 | 25 |
| K (m/d) | 0,5170 | 0,5170 |
| h ₁ (m) | 15,5000 | 15,5000 |
| h ₂ (m) | 4,9000 | 4,9000 |
| X₀(m) : radio de retorno | 2,77 | 0,98 |

El punto de retorno para la naciente N°1 es de 2,77 m y para la naciente N°2 es de 0,98 m.

6.2. Radio fijo

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

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot T_{sat}}{\pi \cdot \Theta \cdot b}}$$

Donde,

Q: caudal en m³/día de la naciente

T_{sat}: 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 8: Parámetros para el radio fijo de las nacientes de la ASADA de San Martín.

| Parámetros | Naciente 1 | Naciente 2 |
|-----------------------------------|--------------|-------------|
| Caudal (m ³ /d) | 38,88 | 13,82 |
| Porosidad | 0,1 | 0,1 |
| Espesor del acuífero (m) | 23,4 | 23,4 |
| Tiempo en la zona saturada (días) | 89,27 | 82,39 |
| Radio (m) | 21,73 | 12,4 |

6.4. Zona operacional de las Nacientes ASADA San Martín

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 20 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 20 metros de radio para la “zona operacional” para las Nacientes de la ASADA San Martín, resulta altamente recomendable*; 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=156,96 metros aguas arriba de la naciente N°1 y d=144,82 metros agua arriba de la naciente N°2)

Se indica que el día de la visita de campo a las nacientes que capta la ASADA, se pudo observar que las mismas son captadas a través de un recipiente y tiene una rotulación. No hay un piso adecuado ni una protección perimetral que limite el acceso a la naciente por parte de animales o personas ajenas a la ASADA. Adicionalmente, se recomienda realizar una cunetas aguas arriba de las nacientes con el objetivo de canalizar la escorrentía que eventualmente contaminaría la fuente captada.

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 cubierto, índice 0,6.
- Ocurrencia del sustrato: brechas volcánicas 0,8
- 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 0,432, correspondiente a **vulnerabilidad media**.

8. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

A la fecha se cuenta con los informes de análisis de la calidad del agua (AyA – ID – 04149 – 2015 y AyA – ID – 04150 – 2015) realizados en 02 de junio de 2015 en ambas nacientes. El resultado es que las determinaciones efectuadas cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327 – S. En el Anexo 3 se encuentran adjuntos los resultados de los análisis.

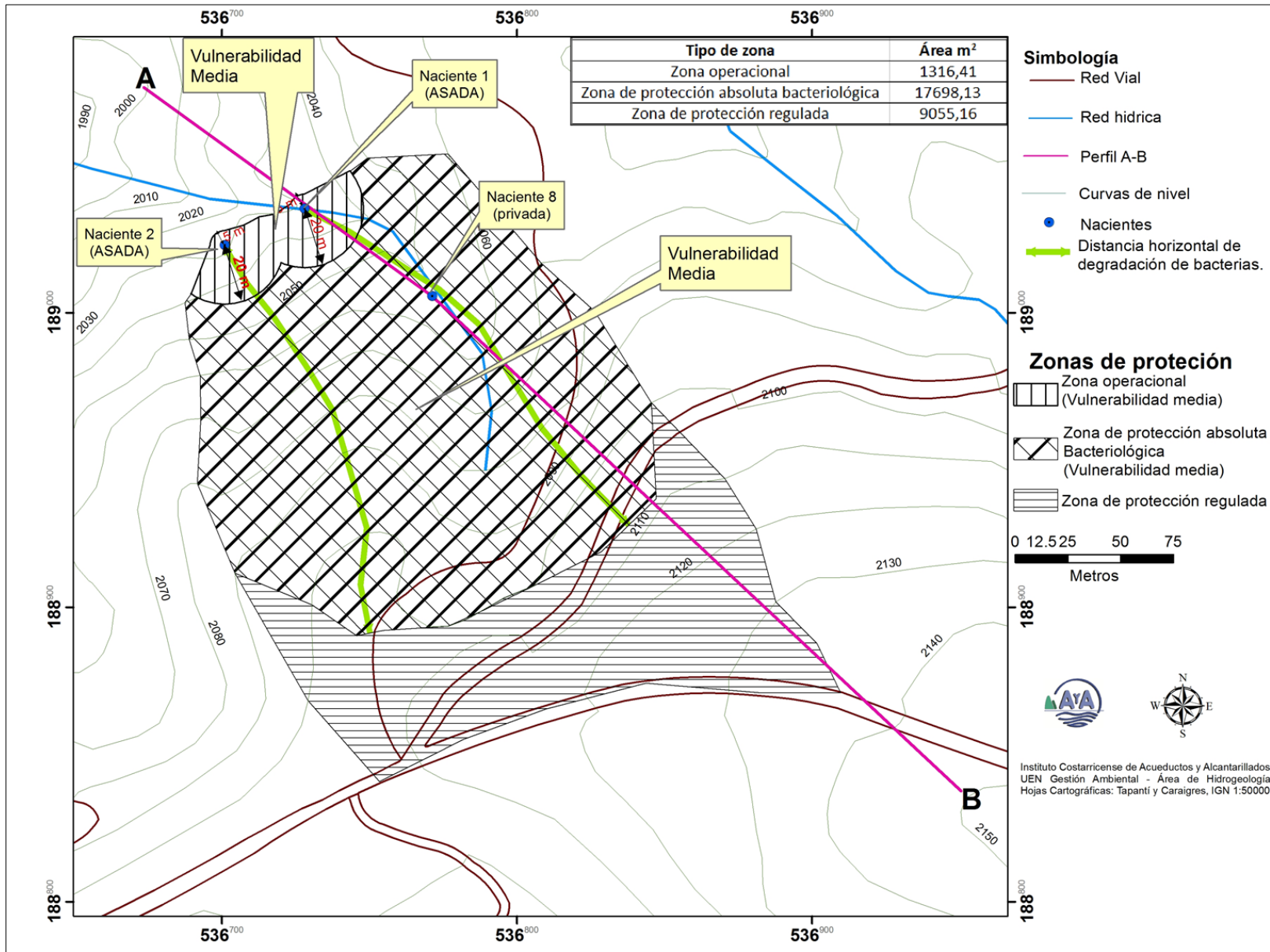


Figura 8:

Zonas de protección para las nacientes de la ASADA San Martin

9. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

El acuífero del que se origina la naciente es del tipo freático cubierto por un suelo limo - arenoso. El nivel se encuentra en lavas fracturadas, asociados a la formación Grifo Alto.

La vulnerabilidad del acuífero dentro de la zona de protección absoluta se cataloga como media. El análisis de tránsito de contaminantes bacteriológicos indican que en una distancia horizontal recorrida de 156,96 m y de 144,82 m para la naciente N°1 y N°2 respectivamente, 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 N°1 es de 17,39 m y para la naciente N°2, el ancho de la zona de captura es de 6,18 m. El punto de no retorno para la naciente N°1 y N°2 es de 2,77 m y 0,98 m respectivamente.

Según la metodología de radio fijo, la zona de protección para la naciente N°1 y N°2 están definidas por 21,73 m y 12,4 m respectivamente.

La definición de las zonas de protección de las nacientes de la ASADA San Martín aparte de los criterios desarrollados en el presente informe, se apoya en el criterio geomorfológico para el trazado de la zona operacional, la zona de protección absoluta bacteriológica y la zona de protección regulada (Cuadro 9 y Figura 8).

Cuadro 9: Zonas de protección de las nacientes de la ASADA San Martín.

| Tipo de zona de protección | Área (m²) | Observaciones |
|---|-----------------------------|---|
| <i>Zona operacional</i> | 1316,41 | Sector recomendado para el resguardo físico del sitio de captación. |
| <i>Zona de protección absoluta bacteriológica</i> | 17698,13 | 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 156,96 m para la naciente N°1 y de 144,82 m para para naciente N°2. |
| <i>Zona de protección regulada</i> | 9055,16 | Sector de protección regulada en la cual se restringen actividades donde hayan vertidos con tiempos de degradación mayor a los 100 días, es decir 56,96 m para la naciente N°1 y de 144,82 m para para naciente N°2. |

Se recomienda una zona de protección de 5 metros aguas abajo de cada naciente (Figura 8).

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, bodegas de productos químicos, ni la aplicación de plaguicidas (Figura 8).

De igual manera, no deben permitirse alteraciones del terreno que vayan a disminuir el espesor de la zona no saturada. Esta área de protección debería estar cercada, o al menos demarcada de una manera fácilmente identificable. En la actualidad este terreno está ocupado por arboles.

En la zona operacional 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 nacientes observadas No 4, 5 y 6 presentan 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 estas nacientes al momento de realizar este informe se indica que los análisis, cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 32327 – S.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias O., & Denyer P., 1990. "Mapa geológico de la hoja Carraigres". Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Montes de Oca.

Denyer P y Arias O. 1991. "Estratigrafía de la región central de Costa Rica". Rev. Geol. de América Central, 12:1-59.

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.

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 and unconfined aquifers". Ground Water 31, No. 1:21-32.

Kussmaul, S; Tourrnon, J & Alvarado, G; 1991: Evolución de la rocas plutónicas y volcánicas subalcalinas del Neógeno y Cuaternario de Costa Rica. Simposio sobre magmatismo Andino y su marco Tectónico, vol 1: 23-44 págs. Julio 3-5, Manizales Colombia.

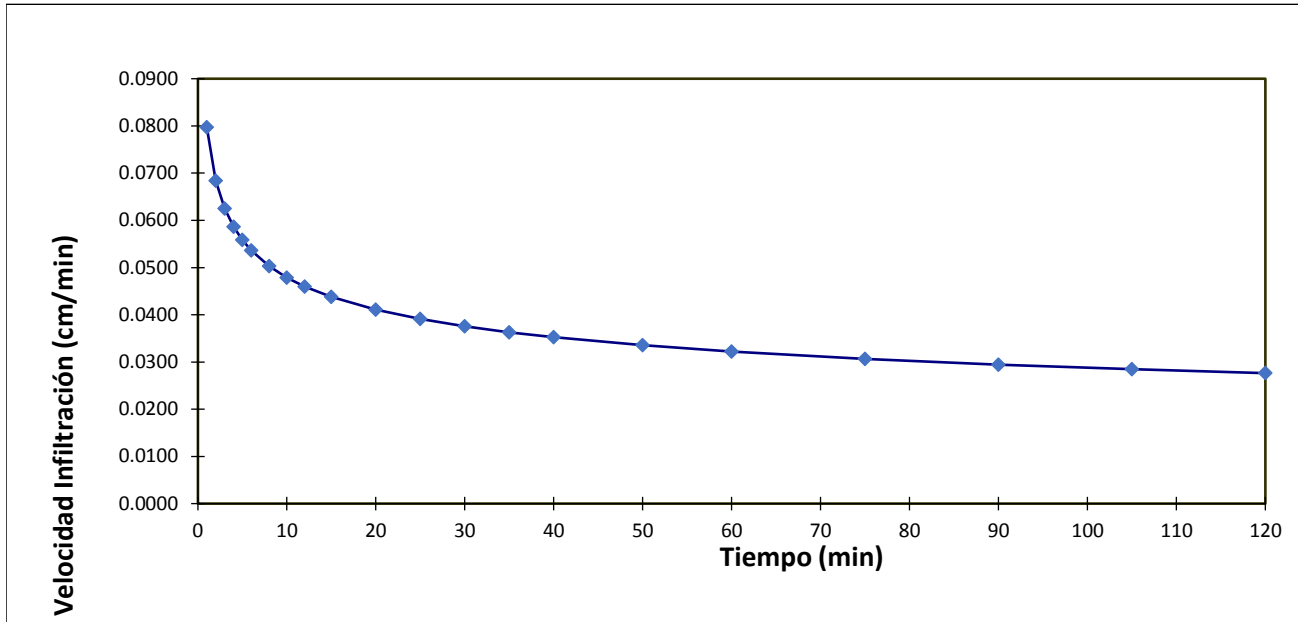
Rodriguez, H., 2011: Definición de la zona de protección absoluta inmediata de la naciente Grifo Alto 1 (Jose Luis Porras). Grifo Alto, Puriscal. Área de Hidrogeología – UEN Gestión Ambiental. 18 pp.

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

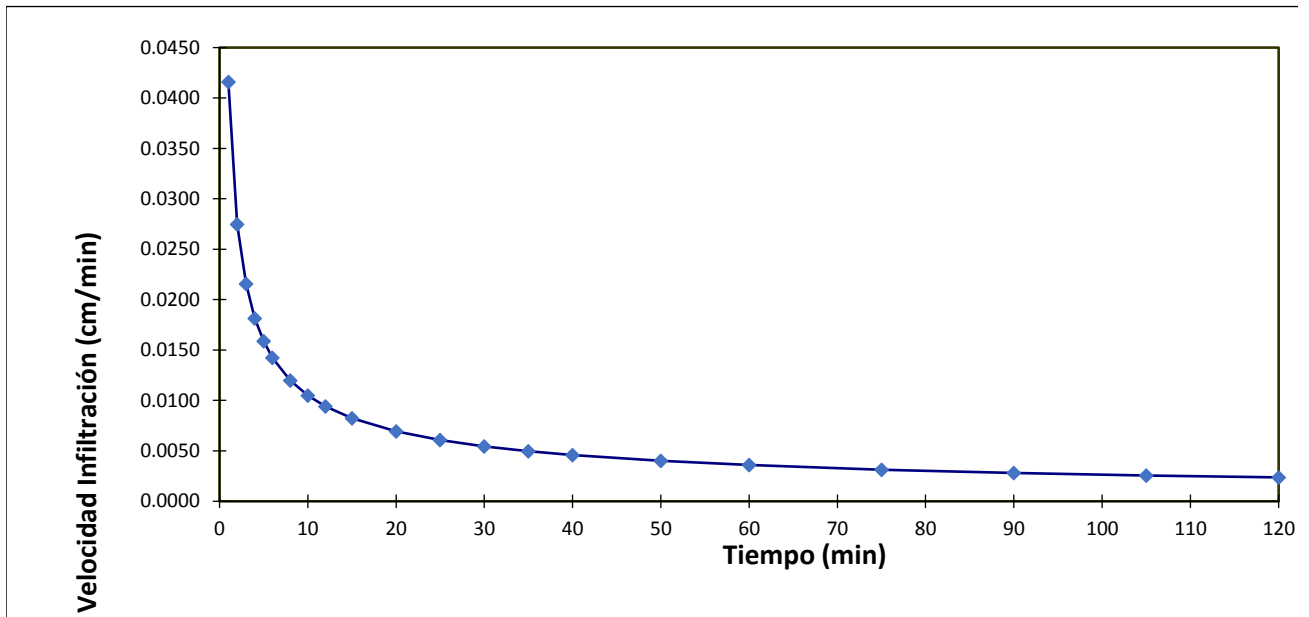
SENARA, 2015: Base de datos de perforación.

11. Anexos

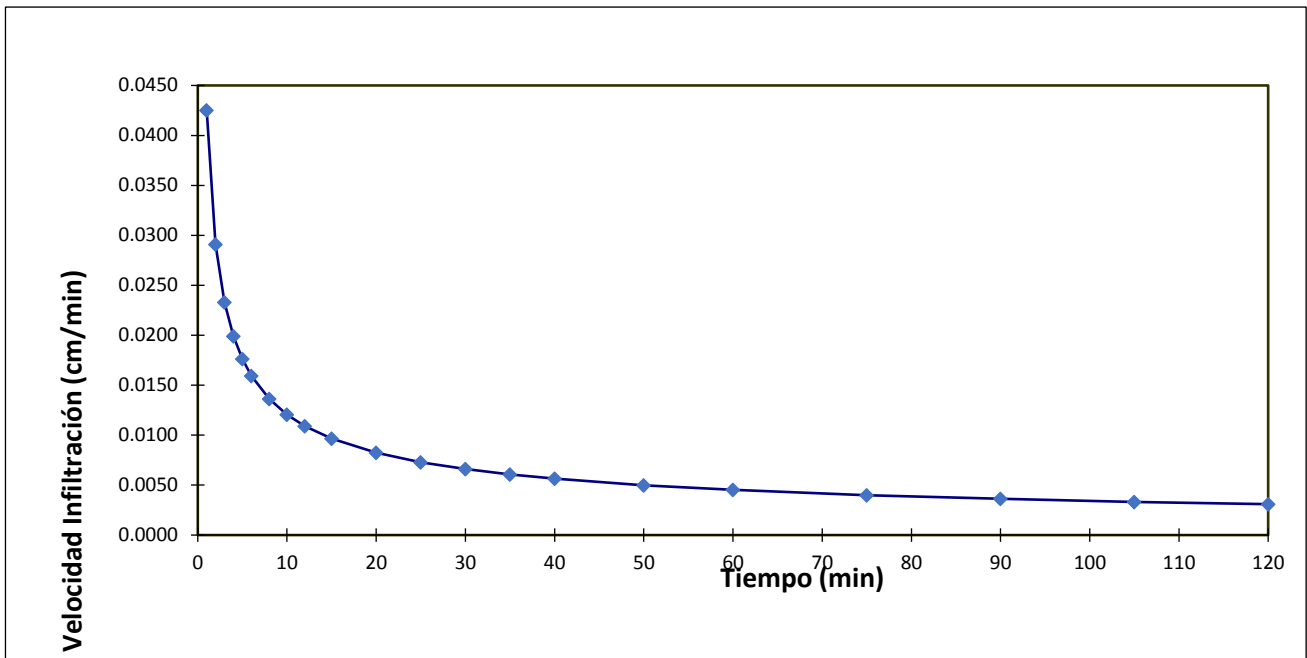
Anexo 1: Pruebas de infiltración.



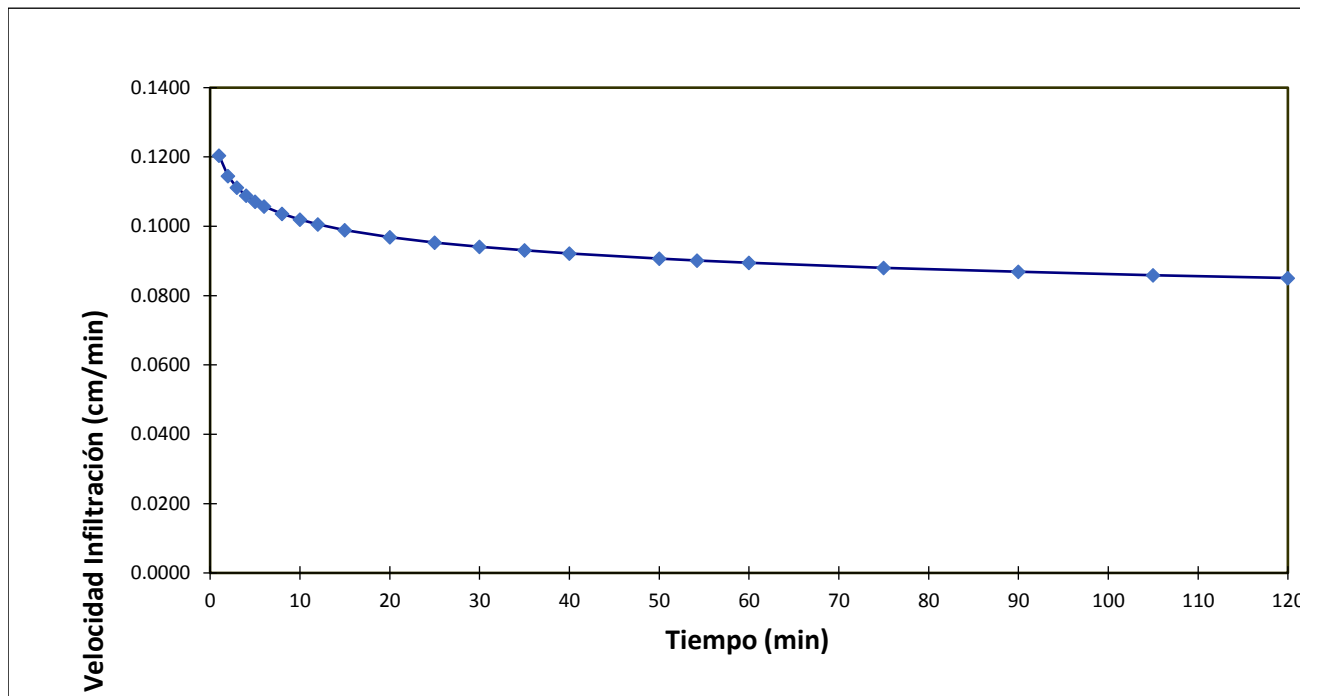
Gráfica 1: Prueba de infiltración No. 2.



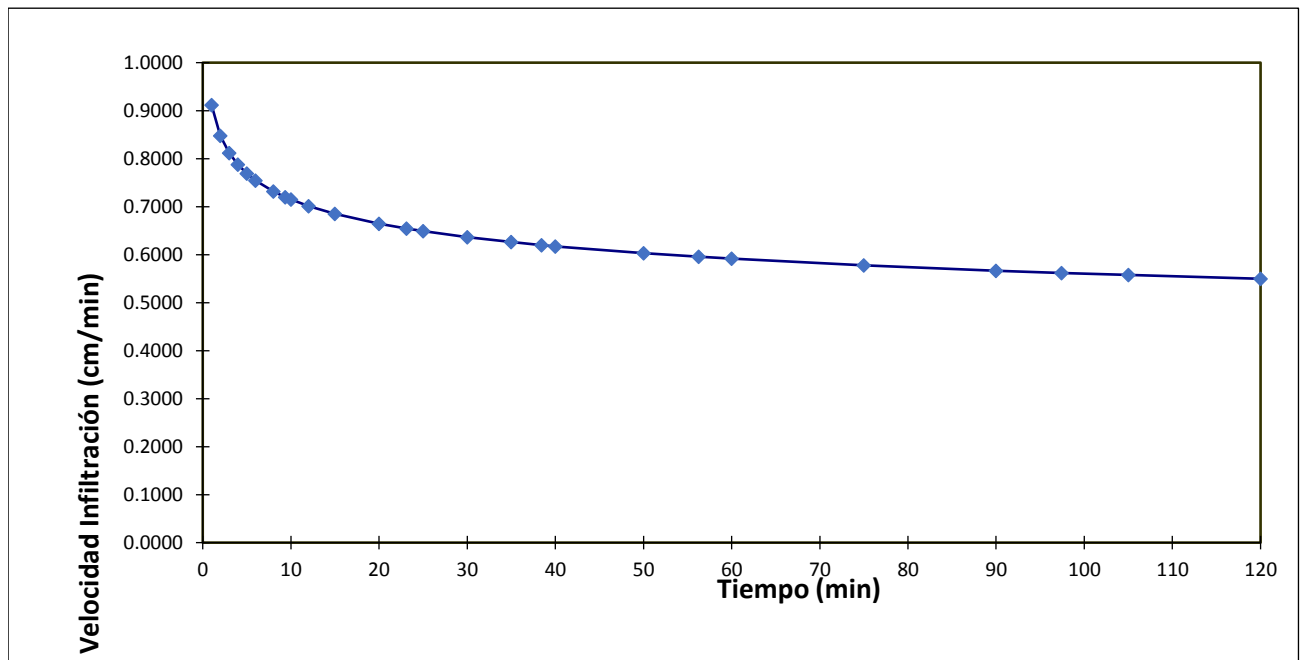
Gráfica 2: Prueba de infiltración 3.



Gráfica 3: Prueba de infiltración No. 5.



Gráfica 4: Prueba de infiltración No. 6.



Gráfica 5: Prueba de infiltración No. 7.





Fotografía 10: Prueba de infiltración

No. 5.



Fotografía 11: Prueba de infiltración

No. 7.