

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



**DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE
4 POZOS UBICADOS EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE**

ELABORARON:

Geól. Christian Corrales Díaz

Geól. Christian Delgado Segura

M.Sc. Héctor Zúñiga Mora

Gestores expertos:

Tec. Francisco Segura Ortiz – Tec. Marvin Gómez Barquero – Tec. Carlos Murillo Alvarado.

Elaboró y avaló:

MSc. Viviana Ramos Sánchez

Dirección del Área Funcional de Hidrogeología.

JULIO, 2016





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



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

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

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

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

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

Annette
Henchoz Castro

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

Firma: _____

Índice de contenido

I. INTRODUCCIÓN	5
1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Ubicación Cartográfica y Contextual	6
2. UBICACIÓN DE LOS POZOS	6
3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	10
3.1.1 Complejo de Nicoya	10
3.1.1.1. Basaltos.....	11
3.1.1.2. Radiolaritas.....	11
3.1.2. Depósitos del Cuaternario	12
3.1.2.1. Unidad de Depósitos Aluviales.....	12
3.2 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL.....	12
3.3. GEOLOGÍA LOCAL	13
3.3.1 Basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya	13
3.3.2 Depósitos aluviales.....	16
4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS	18
4.1. Información Hidrogeológica.	18
4.2. Modelo Hidrogeológico.	19
4.3. Parámetros hidráulicos del acuífero	19
4.3. Curvas equipotenciales y gradiente hidráulico	20
4.4. Conductividad hidráulica de la zona no saturada	23
5. TIEMPOS DE TRÁNSITO EN LA ZONA NO SATURADA Y SATURADA	23
5.1. Zona no saturada.....	23
5.2. Zona saturada.....	24
6. CÁLCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA.....	25
6.1. Radio fijo.....	25
6.2. Zona protección	25
6.2.1 Zona operacional-zona de protección absoluta de los pozos en estudio.....	25
6.2.2 Zona mediante radio fijo.....	26
7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCION INMEDIATA	26
8. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES	29
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

11. ANEXOS.....	34
Anexo 1: Minuta de reunión Comité Técnico Interinstitucional: AyA, SENARA, Dirección de Aguas- MINAE.....	34
Anexo 2: Registro de perforaciones y pruebas de bombeo.....	35
Anexo 3: Pruebas de infiltración.....	36

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación de pozos en estudio.....	7
Figura 2: Mapa geológico del sector de Nimboyores, pozos en estudio.....	14
Figura 3: Mapa de elementos hidrogeológicos del sector de los pozos en estudio.....	21
Figura 4: Perfil hidrogeológico de los pozos en estudio.....	22
Figura 5: Mapa de zonas de protección de los pozos en estudio.....	27
Figura 6: Mapa de Vulnerabilidad acuífero Nimboyores (SENARA, 2004).....	28

Índice de cuadros

Cuadro 1: Ubicación de los pozos en estudio.....	6
Cuadro 2: Información de los pozos en estudio.....	18
Cuadro 3: Parámetros hidráulicos del acuífero para los pozos en estudio.....	20
Cuadro 4: Pruebas de infiltración realizadas en el sector de los pozos en estudio.....	23
Cuadro 5: Tiempo de tránsito de contaminantes para la fuente analizada.....	24
Cuadro 6: Distancia horizontal mínima para la protección de la fuente.....	24
Cuadro 7: Radio fijo de protección para la fuente analizada.....	25

Índice de fotografía

Fotografía 1: Pozo BE – 359 (L1),	8
Fotografía 2: Pozo BE-368 (L2),	8
Fotografía 3: Pozo BE-369 (L3),	9
Fotografía 4: Pozo ILG-957 (L4),	9
Fotografía 5: Radiolaritas silicificadas aflorando en el camino, sector de Corocitos. Coordenadas 261555 N y 351253 E.....	13
Fotografía 6: Contacto litológico entre depósitos coluvio-aluviales y basaltos del Complejo de Nicoya, coordenadas 262045 N y 351656 E.....	15
Fotografía 7: Afloramiento de basaltos fracturados y cizallados, coordenadas 260393 N y 349459 E.....	16

Fotografía 8: Afloramiento de basaltos fracturados sobre carretera, entre los puentes del río Nimboyores y Limón, coordenadas 260535 N y 349689 E.	16
Fotografía 9: Depósitos aluviales en cortes de camino entre los pozos en estudio y Cartagena, coordenadas 261534 N y 351327 E.	17
Fotografía 10: Depósito coluvial aflorando en el talud de la plaza de deportes de la comunidad de Lorena, coordenadas 260602 N y 348906 E.	18
Fotografía 11: Prueba de infiltración P1,	36
Fotografía 12: Prueba de infiltración P2,	37
Fotografía 13: Prueba de infiltración P3,	38
Fotografía 14: Prueba de infiltración P4,	39
Fotografía 15: Prueba de infiltración P5,	40
Fotografía 16: Prueba de infiltración P6,	41

Índice de gráficas

Gráfica 1: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P1	36
Gráfica 2: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P2.....	37
Gráfica 3: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P3.....	38
Gráfica 4: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P4.....	39
Gráfica 5: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P5.....	40
Gráfica 6: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P6.....	41

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS UBICADOS EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE

I. INTRODUCCIÓN

El Acuífero Nimboyores esta constituido por un área de 104,87 km² (sistema plano-montañoso), actualmente cuenta con los estudios hidrogeológicos de balance hidrogeológico respectivos, donde a partir de la minuta de la reunión del día 02 de mayo de 2011 del Comité Técnico Interinstitucional constituido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), SENARA, y la Dirección de Aguas del MINAE, de definió que el caudal disponible de extracción para la parte alta del subcuenca de Río Nimboyores es de 188,8 L/s (Anexo 1).

A partir de este conocimiento del acuífero y del monitoreo permanente por el Comité Técnico Internstitucional, es que el AyA, estará aceptando en donación 4 pozos localizados en el Acuífero Nimboyores, específicamente en Lorena, Santa Cruz, Guanacaste, donde 3 pozos se encuentran ubicados en el plano G-485694-1998 y 1 pozo en el plano G-454096-1997.

Debido a este donación es que la Gerencia General-AyA, le solicita a la Dirección del Área Funcional de Hidrogeología-UEN Gestión Ambiental, efectuar el estudio hidrogeológico correspondiente con la delimitación de las zonas de protección.

Ante este solicitud se asigna por parte de la Dirección de Hidrogeología a un grupo de trabajo, para realizar las actividades de campo los días 04 y 05 de julio del 2016.

El trabajo de campo consistió en: 6 pruebas de infiltración (método doble anillo), ubicación geográfica de los 4 pozos en estudio y de pozos cercanos (entre ellos 5 pozos artesanales, 3 piezómetros y 2 pozos perforados) y el levantamiento geológico a detalle en los 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, estudios previos realizados por el SENARA, AyA y la empresa GEOTEST S.A.

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

1.1 Objetivo General

Delimitar la zona de protección de 4 pozos ubicados en Lorena, Santa Cruz-Guanacaste.

1.2 Objetivos Específicos

- Ubicar los pozos y efectuar un diagnóstico hidrogeológico de cada uno de los pozos a partir de las pruebas de bombeo.
- 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 la zona de protección de los pozos en estudio mediante la metodología radio fijo.
- Determinar el tiempo de tránsito de contaminantes patógenos para el acuífero más somero.
- Revalorar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero Nimboyores basado en el estudio de SENARA 2004.

1.3 Ubicación Cartográfica y Contextual

La Figura 1, presenta la zona de estudio, ubicada en el distrito de Cartagena, cantón Santa Cruz, Guanacaste, en donde se encuentran ubicados los 4 pozos en los lotes ubicados entre las coordenadas Norte 261000 - 261200 m y Este 350380 – 350700 m, cuadrante Costa Rica Lambert Norte, hoja topográfica Belén (IGNCR), a escala 1:50 000. Los pozos BE – 359 (L1), BE – 368 (L2) y BE – 369 (L3) se encuentran en el plano catastro G-485694-1998 y el pozo ILG – 957 (L4) en el plano catastro G-454096-1997.

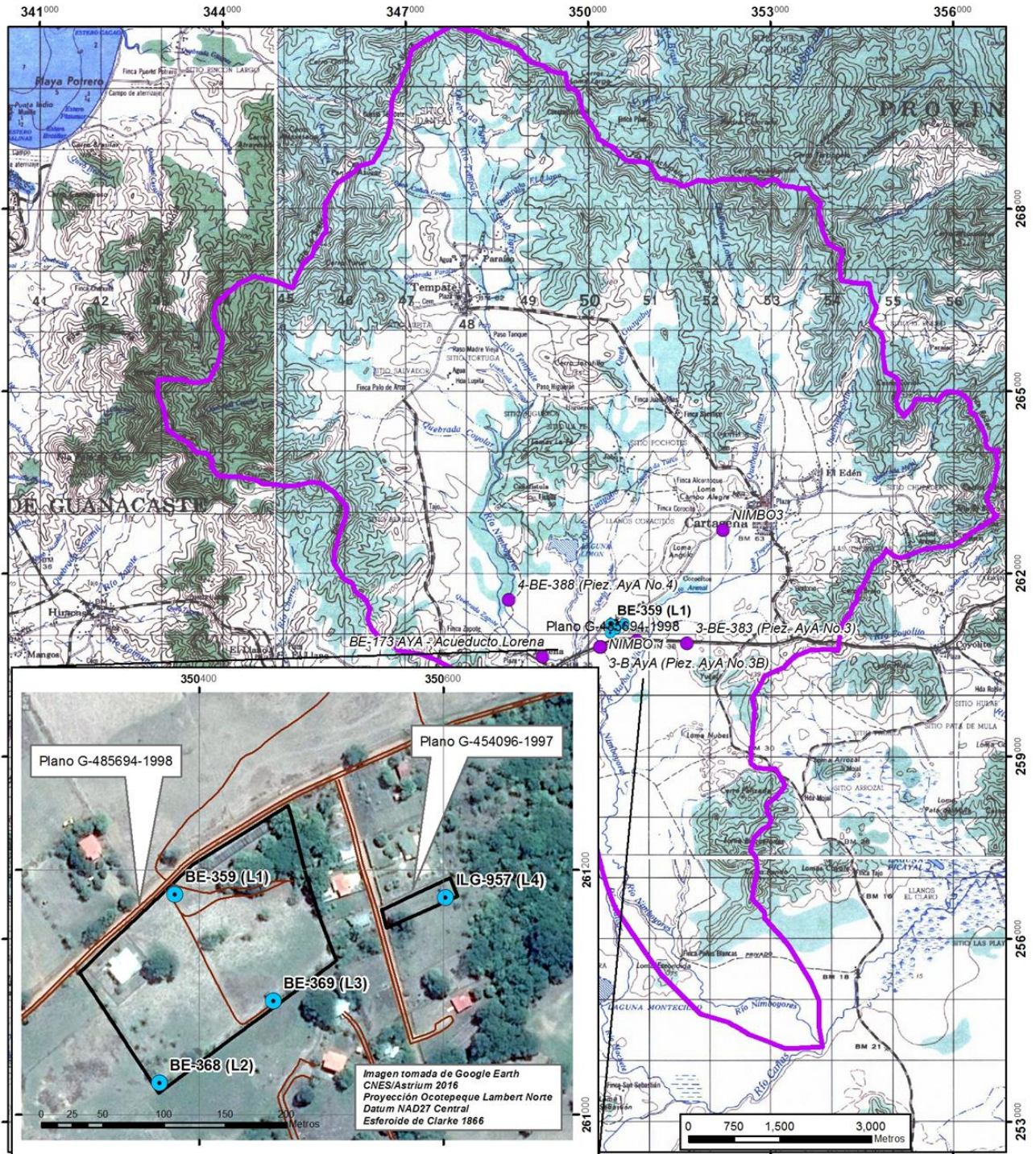
2. UBICACIÓN DE LOS POZOS

En el Cuadro 1, se presenta la ubicación de los 4 pozos (Fotografía 1 a la Fotografía 4)

Cuadro 1: Ubicación de los pozos en estudio.

Código AyA	Código SENARA	Código MINAE	Longitud*	Latitud*
Lorena 1 (L1)	BE - 359	9671P (4)	350381	261180
Lorena 2 (L2)	BE - 368	9671P (1)	350368	261026
Lorena 3 (L3)	BE - 369	9671P (2)	350461	261093
Lorena 4 (L4)	ILG - 957	9671P (3)	350602	261177

*Fuente: datos obtenidos con GPS Garmin en gira realizada el día 04-05 de julio de 2016.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología
FIG. 1 MAPA DE UBICACIÓN "DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS UBICADOS EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE"
 Elaboración: Geól. Christian Corrales D., Héctor Zúñiga C & Christian Delgado / Julio 2016

Hojas Matapalo, Belén, Villarreal & Diria I.G.N.C.R.
 Proyección Ocotepaque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866

Legenda

- Piezómetros utilizados
- Pozos en estudio
- Cuenca del río Nimboyores (Área: 104.87 km²)
- Planos (Topografía-UEN Programación y Control)**
- Plano G-454096-1997
- Plano G-485694-1998

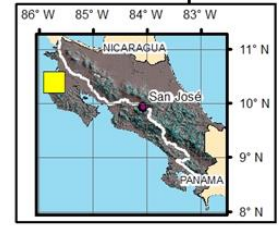


Figura 1: Mapa de ubicación de pozos en estudio.



Fotografía 1: Pozo BE – 359 (L1),
coordenadas 261180 N y 350381 E.



Fotografía 2: Pozo BE-368 (L2),
coordenadas 261026 N y 350368 E.



Fotografía 3: Pozo BE-369 (L3),
coordenadas 261093 N y 350461 N.



Fotografía 4: Pozo ILG-957 (L4),
coordenadas 261117 N y 350602 E.

3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En la Figura 2, se presenta el Mapa Geológico para la cuenca del río Nimboyores, en el cual se muestra la geología superficial y las estructuras tectónicas de los alrededores para esta cuenca.

La geología de esta cuenca se encuentra compuesta principalmente por las siguientes formaciones:

- Complejo de Nicoya, constituido por una secuencia de rocas con afinidad oceánica las cuales conforman el basamento regional, comprende desde rocas ígneas, volcánicas e intrusivas hasta radiolaritas.
- Formación Descartes establecida como depósitos carbonatados y tubidíticos volcanoclásticos, dividida en un miembro llamado Zapotal.
- Depósitos del Cuaternario, dentro de esta unidad se agrupan otras subunidades tales como los depósitos aluviales, los depósitos coluviales y los depósitos de arcilla y limo (humedales).

Sin embargo cercano al sitio donde se ubica el lote en estudio (Figura 2) se presentan solamente las formaciones geológicas de Complejo de Nicoya (Unidades de Basaltos y Radiolaritas) y los Depósitos del Cuaternario, todos estos se detallan a continuación:

3.1.1 Complejo de Nicoya

Conformado por rocas asociadas al fondo oceánico, el Complejo de Nicoya está compuesto por rocas ígneas tanto volcánicas como intrusivas, así como también por radiolaritas que conforman el basamento regional, y son parte de una secuencia ígnea que constituyen el CLIP (*Caribbean Large Igneous Province*) (Denyer *et al.*, 2014).

Dengo (1962) menciona que el complejo está formado por grauwacas macizas y sedimentos silíceos que se alternan con rocas ígneas, principalmente coladas de basalto, aglomerados de basalto e intrusiones de gabro, diabasa y diorita cuyo emplazamiento posiblemente fue contemporáneo con las extrusiones de basalto.

Los estudios más recientes hecho por Denyer & Gazel (2009) indican una edad del complejo más antiguo que el Santoniano-Campaniano Inferior (□83 Ma.). En cuanto al espesor total del complejo Denyer & Arias (1991) mencionan que afloran 1500 m de espesor, sin embargo Denyer *et al.* (2014) consideran que no es posible saber con certeza el espesor que corresponde con el Complejo de Nicoya *sensu stricto*, ya que es posible que por debajo de este existan basaltos de otro origen geotectónico.

3.1.1.1. Basaltos

Kuijpers (1979a) describe a los basaltos del complejo como rocas masivas y en menor cantidad almohadillas, hialoclastitas y aglomerados, que frecuentemente contiene minerales secundarios

principalmente zeolita y en menor grado calcita y clorita lo cual señala que se originaron por un metamorfismo de tipo hidrotermal.

Denyer *et al.* (2014) los describen como basaltos toleíticos masivos, los cuales están cruzados por varias generaciones de vetillas y fracturas en su mayoría de ceolita y algunas silíceas. También se encuentran estructuras de almohadilla y en ocasiones microalmohadilla, estas muestran una corteza de hialoclastita fracturada producto del enfriamiento. Estos basaltos son de grano fino en general afíricos, compuestos por plagioclasa, augita, clorita y óxidos de hierro y titanio, todo esto en una matriz afanítica. En esta secuencia se encuentran radiolaritas asociadas, que fueron depositadas en el fondo oceánico, pedernales, producto de acción hidrotermal y recirculación de sílice.

La génesis de estos basaltos según diferentes autores como Denyer & Gazel (2009), Denyer *et al.* (2014), basados en datos geoquímicos, presentan firmas de *plateau* lo que implica que tienen una afinidad con el punto caliente de los Galápagos, por lo tanto se puede considerar al Complejo de Nicoya como parte del CLIP.

3.1.1.2. Radiolaritas

Son mencionadas en primera instancia por Sapper (1905) y Romanes (1912). Luego, Dengo (1962) al nombrar el Complejo de Nicoya, incluye las radiolaritas dentro del mismo. Posteriormente, Galli-Olivier (1977) considera que las rocas aflorantes al NW de la península de Nicoya pueden considerarse como un *melange*.

Gursky & Gursky (1988) establece la presencia de pedernales por termometamorfismo, los cuales se han formado debido a la recristalización que ha afectado a los radiolarios y a su matriz, volviéndose más claros al perder su estructura principal.

Denyer *et al.* (2014) describe las radiolaritas del Complejo de Nicoya como capas rojas centimétricas, generalmente plegadas y replegadas, con pliegues isoclinales o de tipo *chevron*, también, agrega que en las cercanías de los cuerpos ígneos del Complejo de Nicoya se presentan colores verdosos y blancuzcos.

Galli-Olivier (1977) relaciona las rocas con una ofiolita y les asigna una edad de Tetoniano medio a Valanginiano, basado en datos bioestratigráficos de las radiolaritas. Además, en la zona con frecuencia se encuentran mineralizaciones de hierro y manganeso en forma de costras y nódulos, las cuales se asocian a radiolaritas del Jurásico Medio al Cretácico Inferior (Kuijpers & Denyer, 1979; Arias & Denyer, 1992). Además, Baumgartner (1984) señala edades para la zonación bioestratigráfica de los radiolarios de entre Calloviense (Jurásico Superior) hasta Valanginiense (Cretácico Inferior).

3.1.2. Depósitos del Cuaternario

Dentro de estos depósitos se ubican en la cuenca del río Nimboyores 3 unidades de depósitos: depósitos aluviales, los depósitos coluviales y los depósitos de arcilla y limo (humedales), sin embargo para la zona cercana al sitio de estudio, se presenta solamente la Unidad de Depósitos Aluviales (Figura 2), la cual se describe a continuación:

3.1.2.1. Unidad de Depósitos Aluviales

Según Denyer *et al.* (2014) los aluviones que presentan espesores mayores en esta zona son cortados por el sistema de drenaje de la zona, p. ej., Río Brasil ubicado en las hojas Carrillo Norte y Belén, caracterizado por tener un aluvión muy espeso dispuesto en terrazas con bancos de hasta cinco metros; en otras localidades como Los Planes presenta espesores de hasta 30 m donde la elevación de los mismos alcanza hasta los 150 m (Denyer *et al.*, 2014).

La fauna encontrada dentro de los aluviones a lo largo del tiempo es muy variada: restos de megafauna (Alvarado, 1986), tortugas, pez genero y bivalvo de agua dulce (Laurito *et al.*, 1993) y además restos de mastodontes (Lucas *et al.*, 1997).

3.2 MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL.

La Península de Nicoya es bien conocida por ser una de las zonas más antiguas, interesantes y diversas de Costa Rica, esto en un contexto geológico, que a su vez presenta gran complejidad estructural (Denyer *et al.*, 2014) pues además de su ubicación ha sufrido un intenso tectonismo en el pasado (Denyer & Arias, 1993).

A lo largo de la historia muchos autores han determinado los procesos tectónicos y estructurales más importantes o determinantes que han afectado y siguen afectando a la Península, tal y como lo evidencia el complejo sistema de fallamiento neotectónico como respuesta de un límite convergente de fallas, donde la placa Cocos se subduce por debajo de la Caribe a lo largo de la fosa Mesoamericana de forma paralela a la costa de la península (Denyer *et al.*, 2014), los estudios se han enfatizado principalmente en el análisis pre-Miocénico de la península (Arias & Denyer, 1993).

Los modelos más recientes apuntan a que la deformación tectónica se debe a la subducción de montes submarinos y levantamientos oceánicos bajo el margen continental (Denyer & Arias, 1993), ésta se evidenciada gracias a la presencia de profundos surcos y protuberancias cóncavas en el piso submarino (Ranero & von Huene, 2000), también que la parte Sur de la península presenta una rotación alrededor de un eje vertical debido a la decapitación u subducción de montes submarinos (Gardner *et al.*, 2001).

Según Montero & Denyer (2011) la deformación neotectónica de la zona se divide en dos dominios, donde el límite entre ambos va de difuso hasta transicional:

- Región central NW, es de tipo translacional hacia el N donde las fallas dextrales con un rumbo N-S predominan sobre las sinestrales (con rumbo ENE) y las oblicuas (inversas-sinestrales, inversas E-W a NW) delimitadas entre las fallas dextrales.
- Región Sur, fallas de desplazamiento dextral y sinistral, tanto como oblicuas (inversas sinestrales e inversas), inicia con la falla Cedro hasta el sur de la misma (Montero & Denyer, 2011).

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio predominan depósitos cuaternarios del tipo aluvial y coluvial, los cuales sobreyacen al basamento constituido por basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya.

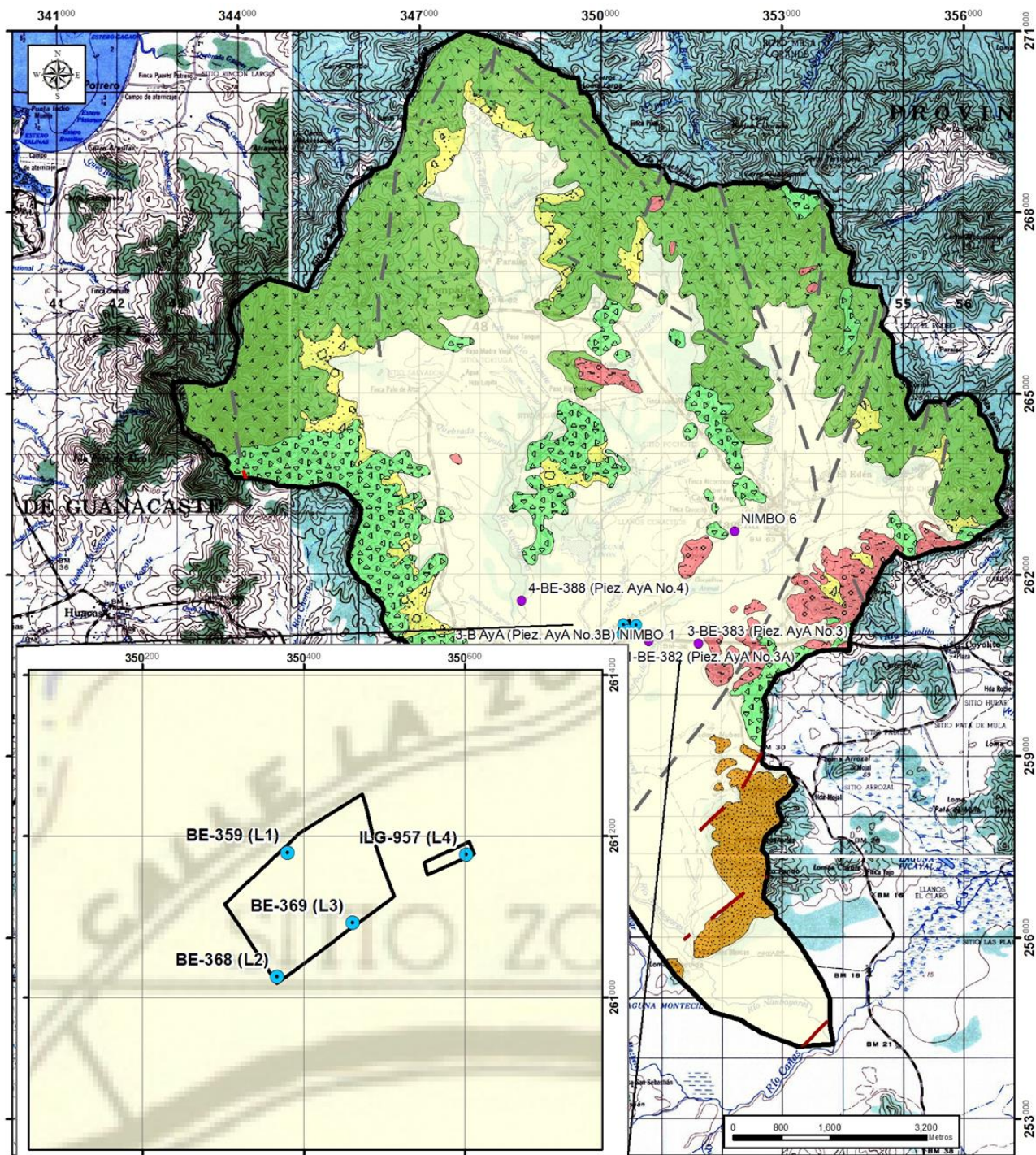
Morfológicamente es una planicie aluvial, con gradientes menores a los 5°, con ligeras depresiones que definen el cauce de los ríos de la zona, siendo el principal el río Nimboyores, al cual llegan los ríos Barba de Viejo, Limón y las quebradas Jobo y Zapote.

3.3.1 Basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya

Constituye el basamento geológico en la zona de estudio. Se encuentra aflorando en los cerros relictos de la planicie aluvial y en el cauce de las quebradas o ríos. En el Noreste del área de estudio predominan radiolaritas con alto grado de silificación (coordenadas 261555 N y 351253 E, Fotografía 5) y basaltos meteorizados (coordenadas 262045 N y 351656 E, Fotografía 6), ambas litologías asociadas regionalmente al Complejo de Nicoya, las cuales se observan en el camino y cortes de los taludes.



Fotografía 5: Radiolaritas silicificadas aflorando en el camino, sector de Corocitos. Coordenadas 261555 N y 351253 E



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología
 FIG. 2 MAPA GEOLÓGICO - ESTUDIO "DETERMINACIÓN
 DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS UBICADOS
 EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE"
 Base geológica: Modificado de Denyer et al., 2014

Hojas Matapalo, Belén, Villarreal
 & Diria I.G.N.C.R.
 Proyección Octapeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866



Leyenda

- Pozos en estudio
- Piezómetros utilizados
- Planos (Topografía-UEN Programación y Control)
 - Plano G-454096-1997
 - Plano G-485694-1998
- Falla inferida (Denyer et al. 2014)
- Falla comprobada
- Cuenca_Rio_Nimboyores
- Unidad Depositos Aluviales
- Unidad Depositos Coluviales
- Unidad Areniscas 1
- Unidad Intrusiva
- Unidad Basaltos
- Unidad Radiolaritas

Complejo de Nicoya

Figura 2: Mapa geológico del sector de Nimboyores, pozos en estudio.



Fotografía 6: Contacto litológico entre depósitos coluvio-aluviales y basaltos del Complejo de Nicoya, coordenadas 262045 N y 351656 E

En el sector de la comunidad de Lorena, los basaltos se encuentran aflorando a lo largo del camino, específicamente en el cerro Loma Larga. Los basaltos se encuentran con alta densidad de fracturas, en su mayoría abiertas e influenciadas por planos de falla de componente rumbo sinistral alineados N – S (Fotografía 7 y Fotografía 8).

En el registro de perforaciones de los pozos en estudio, los basaltos se encuentran a partir de los 30 metros de profundidad en promedio y presentan 3 metros de roca meteorizada en algunos casos.



Fotografía 7: Afloramiento de basaltos fracturados y cizallados, coordenadas 260393 N y 349459 E.



Fotografía 8: Afloramiento de basaltos fracturados sobre carretera, entre los puentes del río Nimboyores y Limón, coordenadas 260535 N y 349689 E.

3.3.2 Depósitos aluviales

Se encuentran en la parte superior de la columna estratigráfica local, cuya extensión se limita a la planicie aluvial. En la parte superior del depósito aluvial, predominan limos arcillosos de plasticidad

aparente media, de color negro y ocasionalmente clastos milimétricos meteorizados con tonos multicolores (café, negros y tonos claros) (Fotografía 9).



Fotografía 9: Depósitos aluviales en cortes de camino entre los pozos en estudio y Cartagena, coordenadas 261534 N y 351327 E.

Seguidamente, se presentan arenas de color café con líticos de color blaquesino a rojizo, de plasticidad aparente media. El espesor observado en cortes de caminos va de 0,5 m a 3 metros. De manera localizada al pie del talud, se encuentran depósitos coluvio-aluviales con clastos subangulares de hasta 2 cm de diámetro y de mala selección (Fotografía 10).

En el registro de perforaciones, se presenta una secuencia constituida por intercalaciones de paquetes lenticulares de extensión lateral variada, que van desde arenas medias a gruesas de buena selección (pocos limos y arcillas en la matriz) a paquetes limo arcillosos de baja permeabilidad que se comportan como barreras hidrogeológicas negativas o capas sello entre los niveles de agua subterránea.

El espesor promedio de dicha secuencia en el campo de pozos es de 30 metros hasta llegar al basamento constituido por radiolaritas y basaltos del Complejo de Nicoya.



Fotografía 10: Depósito coluvial aflorando en el talud de la plaza de deportes de la comunidad de Lorena, coordenadas 260602 N y 348906 E.

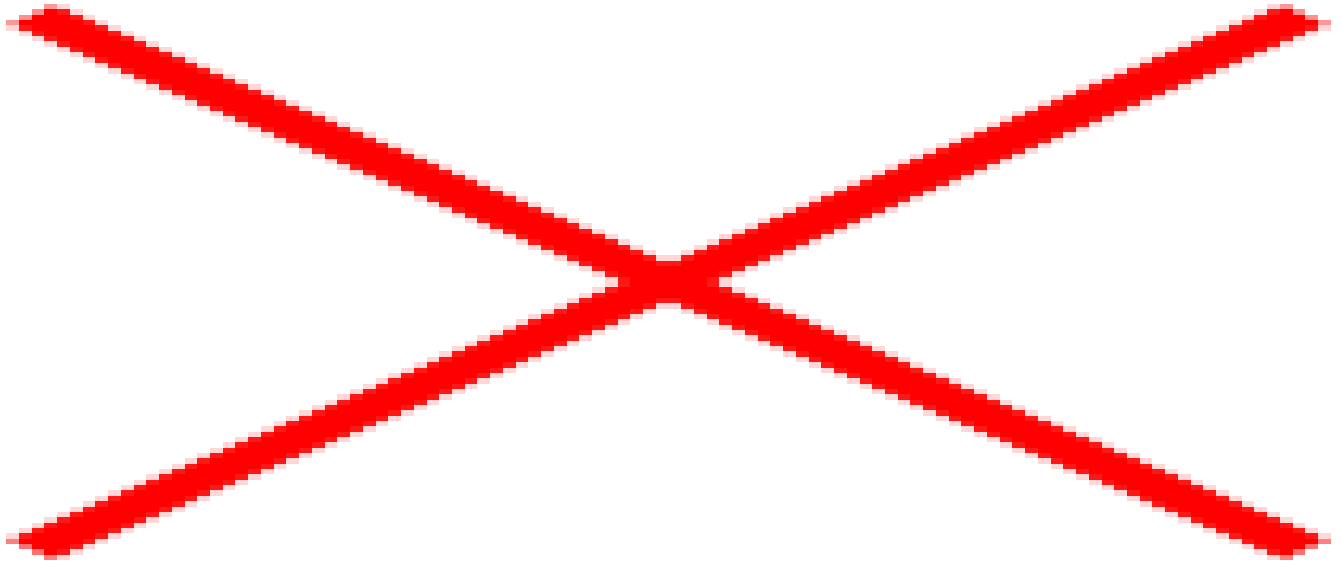
4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

4.1. Información Hidrogeológica.

En la base de datos de pozos de SENARA se encuentran registrados 14 pozos en una radio de 2 kilómetros de los pozos en estudio (Figura 3).

En el Cuadro 2 se presentan la información correspondiente a los pozos BE-359, BE-368, BE-369, ILG-957.

Cuadro 2: Información de los pozos en estudio.



4.2. Modelo Hidrogeológico.

A partir de la recopilación de información bibliográfica realizada en las bases de datos del SENARA, Dirección de Agua y AyA, así como la revisión de los estudios hidrogeológicos realizados en la subcuenca del río Nimboyores, en donde se ubican los 4 pozos de interés, se emplearon las isofreáticas elaboradas por el SENARA, 2005, en el estudio denominado “Diagnóstico del Potencial de Explotación y Rendimiento seguro del Acuífero de la parte Alta de la Subcuenca del Río Nimboyores”, las cuales se comprobaron a partir de los monitoreos de los niveles que realiza el Comité Técnico Interinstitucional y con los tomados en la gira del los días 4 y 5 de julio (Cuadro 2) para este informe y se define que el modelo hidrogeológico para el acuífero superior, es consistente como se puede observar en la (Figura 3 y Figura 4).

De acuerdo a los informes de perforación de cada pozo analizado para este estudio, el espesor total de la unidad aluvial presente en esta sección de subcuenca varía entre 24 y 30 m desarrollada entre paquetes lenticulares de aluvión, separadas entre sí por capas de arcilla y limos. La base del acuífero la constituye formación litológica asociada al Complejo de Nicoya.

Basado en las litologías reportadas y los tramos de rejilla para cada pozo, se determinó que cada uno de estos pozos se encuentran captando diferentes niveles de agua, asociados a varias capas de buena producción en la zona, cuyos espesores se observan en el Cuadro 2. En el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 4) se observa la geometría del acuífero y la relación entre los lentes productores de agua subterránea con las capas de arcillas intercaladas, así mismo la litología reportada por cada una de las perforaciones.

Del armado de los pozos (Anexo 2), se observa que el acuífero consta de 4 niveles de agua subterránea, siendo el más sómoro del tipo libre cubierto y los restantes presentan diferentes grados de confinamiento debido a los lentes arcillosos que los intercalan.

Para efectos del cálculo de tiempo tránsito de contaminantes bacterianos y la definición de zonas de protección se consideran los valores de profundidad del nivel estático del acuífero superior.

4.3. Parámetros hidráulicos del acuífero

Con el fin de determinar la transmisividad del acuífero, se procesó los datos de campos de pruebas de bombeo realizadas en los pozos en estudio. Estas corresponden a las pruebas realizadas en los pozos BE – 359 (L1), BE – 368 (L2) y ILG – 957 (L4), realizadas por el AyA en el mes de abril del año 2002. La prueba de bombeo en el pozo BE – 369 (L3), fue realizada por la empresa GeoTest (2013) (Anexo 2).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Cuadro 3: Parámetros hidráulicos del acuífero para los pozos en estudio.

Código	transmisividad (m²/día)	Espesor captado (m)	K (m/día)	Nivel captado	Tipo acuífero
L1 (BE – 359)	432*	9	48	Inferior	Confinado
L2 (BE – 368)	657*	18	36,50	Medio-Inferior	Confinado
L3 (BE – 369)	595**	11	54,09	Medio-Inferior	Confinado
L4 (ILG – 957)	559*	24	23,29	Superior-medio-Inferior	Libre cubierto

Nota: *AyA, 2002 /** Reinterpretado de Geotest, 2013.

El coeficiente de almacenamiento para el acuífero confinado inferior es de $4,77 \times 10^{-3}$, determinado por AyA (2002).

El acuífero superior es libre cubierto, el coeficiente de almacenamiento es de 0,1.

4.3. Curvas equipotenciales y gradiente hidráulico

Las curvas equipotenciales en el área de estudio, fueron construidas por SENARA (2005) y correlacionadas con los monitoreos y las mediciones durante la gira. En ellas se observa que el agua subterránea muestra un flujo en dirección noreste - suroeste, desde el sector de Cartagena hacia los pozos en estudio.

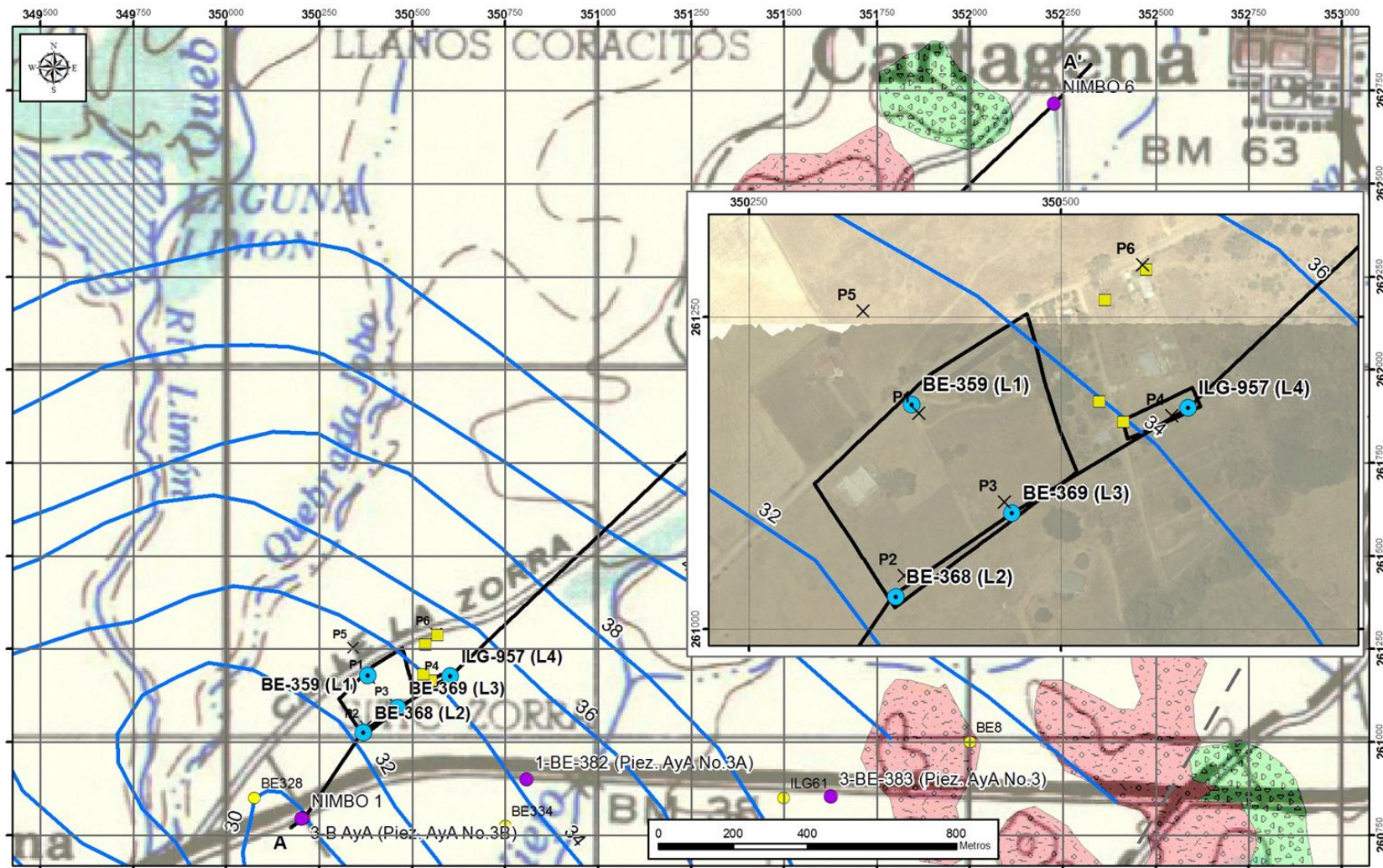
El nivel estático en los pozos en estudio, varía entre 1,4 y 1,86 m de profundidad.

El gradiente hidráulico del acuífero fue obtenido a partir de las curvas equipotenciales, midiendo la diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales y la distancia entre ambas. En la zona donde se encuentran ubicados los pozos de interés, el gradiente hidráulico se calculó en el tramo entre las equipotenciales 32 y 34 m.s.n.m. con una distancia entre ambas de 263,55 m (Fig. 3).

$$\Delta h = h_2 - h_1 = 34 - 32 = 2 \text{ m}$$

$$L = 264,55 \text{ m}$$

$$i = 0,00756$$



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología
 FIG. 3 MAPA DE ELEMENTOS HIDROGEOLÓGICOS
 "DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS
 UBICADOS EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE"
 Base geológica: Modificado de Denyer et al., 2014
 Base hidrogeológica: Modificado de SENARA, 2005

Hojas Matapalo, Belén, Villarreal
 & Diría I.G.N.C.R.
 Proyección Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866



Leyenda

- Pozos Base de datos SENARA
- Piezómetros utilizados
- Pozos artesanales
- Pozos en estudio
- x Permeabilidades AYA (2016)
- Planos (Topografía-UEN Programación y Control)
- Plano G-454096-1997
- Plano G-485694-1998
- Línea de Perfil-A-A'
- Curvas isofreáticas cada 2 m (SENARA 2005)
- Falla inferida (Denyer et al. 2014)
- Cuenca_Rio_Nimboyores
- Unidad Depositos Aluviales
- Unidad Basaltos
- Unidad Radiolaritas

Figura 322

Mapa de elementos hidrogeológicos del sector de los pozos en estudio.

FIGURA 4
PERFIL HIDROGEOLÓGICO A-A'

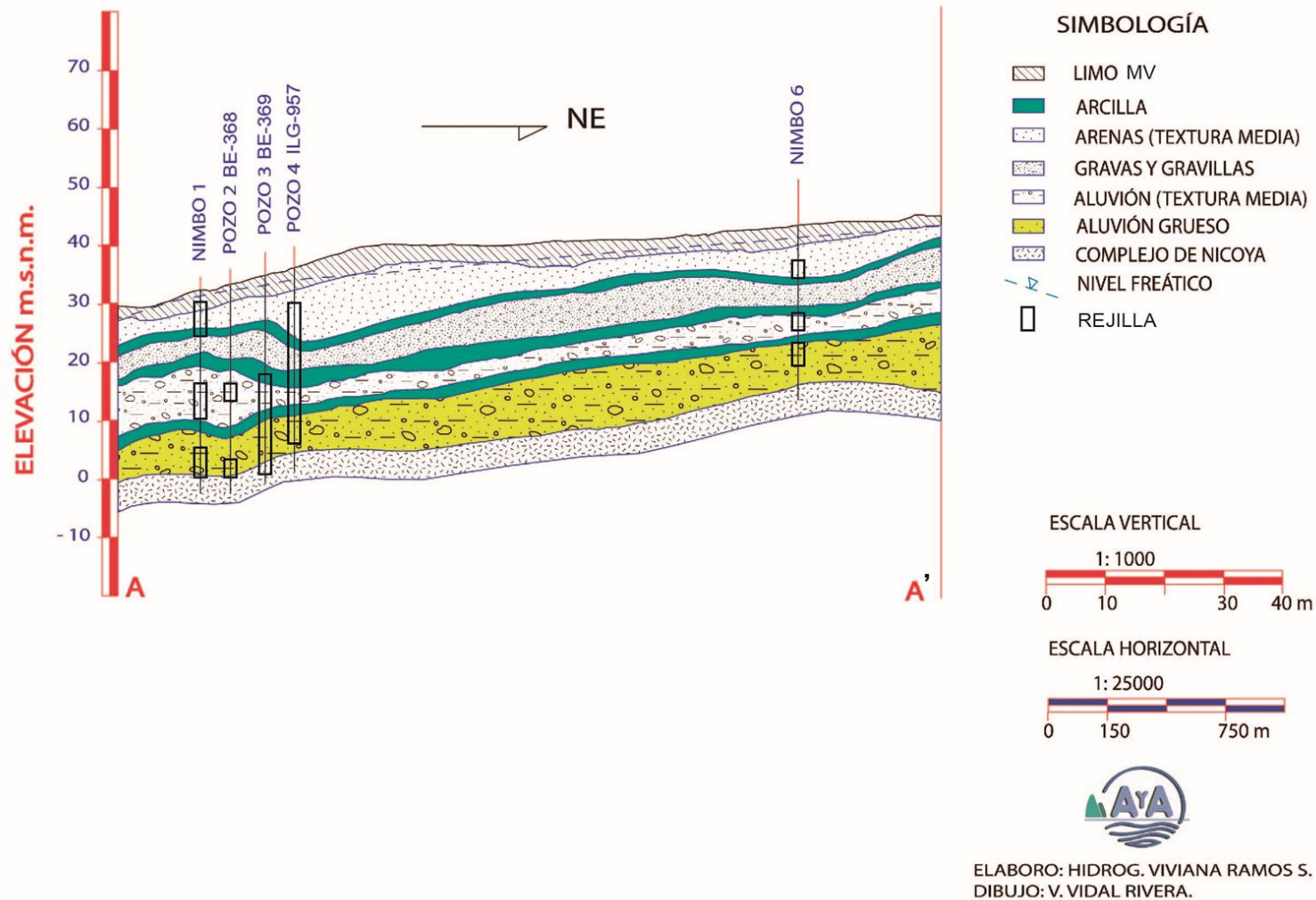


Figura 4: Perfil

hidrogeológico de los pozos en estudio.

4.4. Conductividad hidráulica de la zona no saturada

Para conocer las características de los materiales que cubren al acuífero, se hicieron 6 pruebas de infiltración directamente sobre el terreno, donde 4 de ellas se realizaron junto a cada pozo en estudio, y las restantes 2 pruebas se realizaron en sus alrededores (**Anexo 3**). En el Cuadro 4 se observan los resultados obtenidos con estos ensayos y su ubicación en la Figura 4.

Cuadro 4: Pruebas de infiltración realizadas en el sector de los pozos en estudio.

Prueba de Infiltrac.	Coordenadas		cm/min	cm/s	m/d	Textura del suelo
	X	Y				
<i>P1</i>	350378	261174	0,01219	2,00E-4	0,176	Limo
<i>P2</i>	350381	261036	0,07297	1,22E-3	1,051	Limo
<i>P3</i>	350460	261098	0,02071	3,50E-4	0,298	Limo
<i>P4</i>	350594	261160	0,00652	1,10E-4	0,094	Limo
<i>P5</i>	350361	261232	0,00476	8,00E-5	0,069	Limo
<i>P6</i>	350556	261292	0,01289	2,10E-4	0,186	Limo

La permeabilidad promedio para el suelo limoso en la zona es de 0,31208 m/d.

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

5.1. Zona no saturada

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

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

Donde:

t = tiempo de tránsito vertical.

b = espesor de la zona no saturada, obtenida a partir de datos de campo.

ne = Porosidad efectiva = 55 %, según AyA (2001)

K_v = Conductividad hidráulica vertical (obtenida a partir de las pruebas de infiltración)

i = Gradiente hidráulico = 1 (flujo vertical).

Sustituyendo estos parámetros por sus respectivos valores para cada fuente analizada, se tienen los resultados consignados en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Tiempo de tránsito de contaminantes para la fuente analizada en la zona no saturada.

Fuente	Infiltración (m/día)	Porosidad	Espesor	T (días)
L1 (BE – 359)	0,312	0,55*	1,86	3,28
L2 (BE – 368)	0,312	0,55*	1,4	2,47
L3 (BE – 369)	0,312	0,55*	1,8	3,17
L4 (ILG – 957)	0,312	0,55*	1,52	2,68

Nota: * tomado de AyA, 2001.

5.2. Zona saturada

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

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

Donde:

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

ne: porosidad del medio en la zona saturada = 40% (Sanders, 1998)

k: permeabilidad del acuífero más superficial en este caso la correspondiente al pozo L4 (ILG-957), obtenida a partir de los datos del Cuadro 3.

i: gradiente hidráulico tomado de las isofreáticas de 32 msnm y 34 msnm..

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 (Rodríguez, 1994).

La distancia mínima requerida para la protección bacteriana de cada fuente está dada en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Distancia horizontal mínima para la protección de la fuente.

Fuente	k (m/d)	i	t_2 (días)	Porosidad	d (m)
L1 (BE – 359)	23,29	0,00756	66,72	0,4	39
L2 (BE – 368)	23,29	0,00756	67,53	0,4	40
L3 (BE – 369)	23,29	0,00756	66,83	0,4	39

L4 (ILG – 957)	23,29	0,00756	67,32	0,4	40
----------------	-------	---------	-------	-----	----

6. CÁLCULO DE LAS ZONAS DE CAPTURA.

6.1. Radio fijo

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

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

Donde:

Q: caudal (m³/día) de la naciente.

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

n: porosidad del acuífero.

b: espesor del acuífero.

R: es el radio fijo en metros.

Se indica que se determinará únicamente el radio fijo para el pozo L4 (ILG – 957), el cual capta el acuífero más superficial, pero se aplicará a los otros pozos L1 (BE – 359), L2 (BE – 368) y L3 (BE – 369), aún siendo el acuífero confinado como escenario conservador.

En el Cuadro 7, se muestran los valores correspondiente, a este cálculo:

Cuadro 7: Radio fijo de protección para la fuente analizada.

Fuente	Q (m ³ /d)	T (días)	Porosidad	b (m)*	R (m)
L4 (ILG – 957)	1823,04	67,32	0,4	24,00	<u>63,79</u>

*: Espesor del acuífero, obtenido a partir del registro litológico del pozo en estudio.

6.2. Zona protección

6.2.1 Zona operacional-zona de protección absoluta de los pozos en estudio

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

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 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 del pozo, deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de sustancias químicas u otras (aceites, etc), que sean utilizadas en el mantenimiento. 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) (Figura 5), según corresponda.

6.2.2 Zona mediante radio fijo

Mediante la metodología de radio fijo se definió una zona de protección para el pozo L4 (ILG – 957), correspondiente a 63,79 m debido a que capta el acuífero superior, medio e inferior, la cual estará constituida por una zona de operacional-zona de protección absoluta la cual abarca el plano G-454096-1997 y una zona regulada en los alrededores (Figura 5).

En el caso de los pozos L1 (BE – 359, L2 (BE – 368) y L3 (BE – 369), se encuentran captando un acuífero confinado, sin embargo como escenario conservador se empleará el mismo radio fijo de 63,79 m, dividiendo la zona en zona de protección absoluta y zona regulada, esto correspondiente al plano G-485694-1998, donde se ubican los 3 pozos. Se muestra una zona regulada en los alrededores (Figura 5).

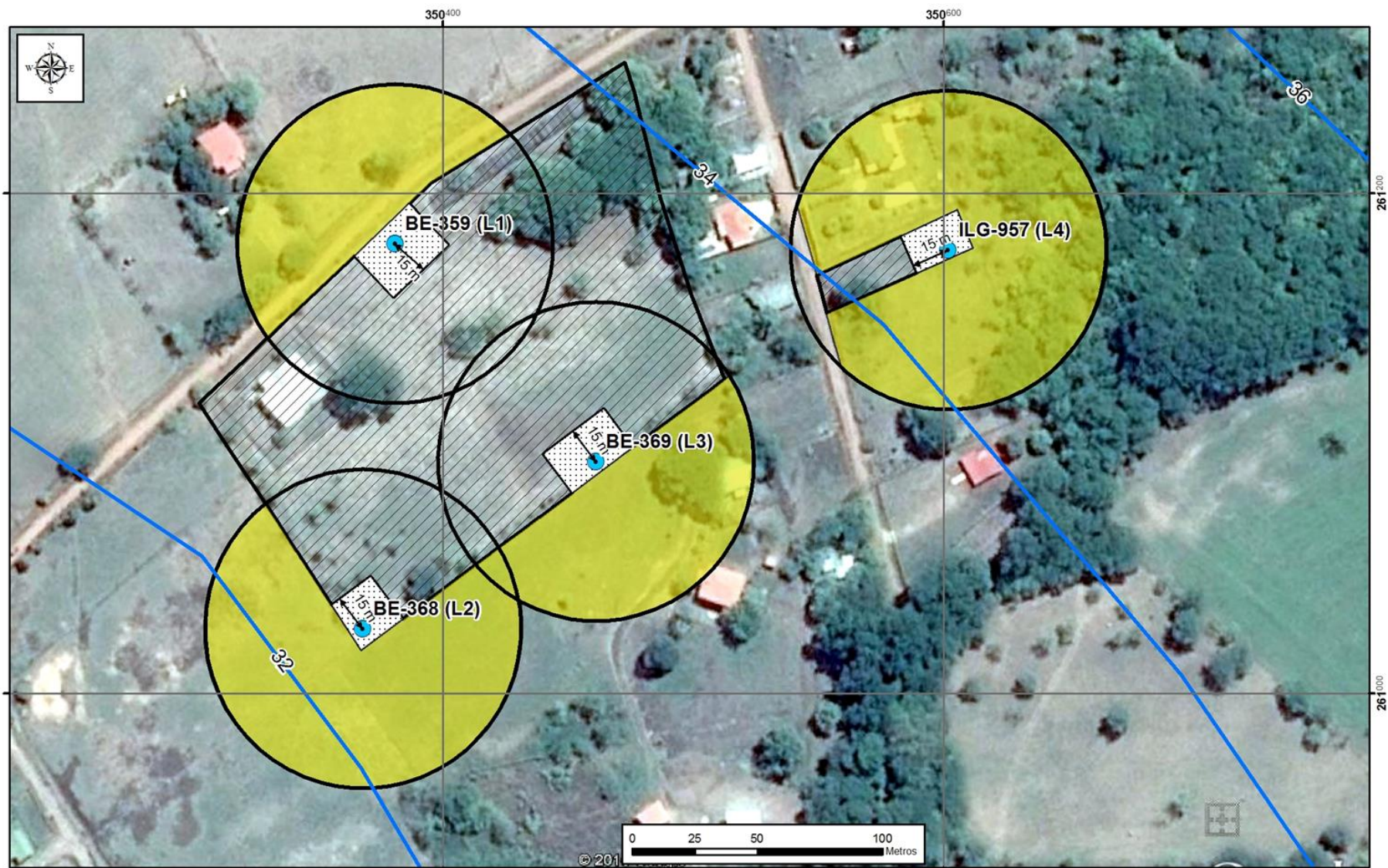
Esta zona regulada, consiste en no autorizar perforaciones cercanas o urbanizaciones sin un sistema de tratamiento adecuado.

7. VULNERABILIDAD EN LA ZONA DE PROTECCION INMEDIATA

A partir del mapa de vulnerabilidad elaborado por el SENARA (2003), mediante la metodología GOD propuesta por Foster (1987), la cual se basa en 3 variables denominadas según su acrónimo en inglés es:

- G: *Ground water occurrence*, es decir el tipo de acuífero existente.
- O: *Overall aquifer class*; el tipo de litología existente por encima del acuífero.
- D: *Depth*: Profundidad del nivel del agua.

Se procedió a sobreponer los linderos de los dos planos donde se localizan los 4 pozos en estudio mediante el SIG y se determinó que la vulnerabilidad para el acuífero más superficial en ambos planos es media, como se muestra en la Figura 6.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología
 FIG. 5 MAPA DE ZONAS DE PROTECCIÓN - "DETERMINACIÓN
 DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS UBICADOS EN LORENA,
 SANTA CRUZ, GUANACASTE"
 Elaboración: Geól. Christian Corrales D., Héctor Zúñiga C &
 Christian Delgado / Julio 2016

Imagen tomada de Google Earth
 CNES/Astrium 2016
 Proyección Ocotepoque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1866



Planos catastrales elaborados y aportados
 por el Área de Topografía de la UEN
 Programación y Control

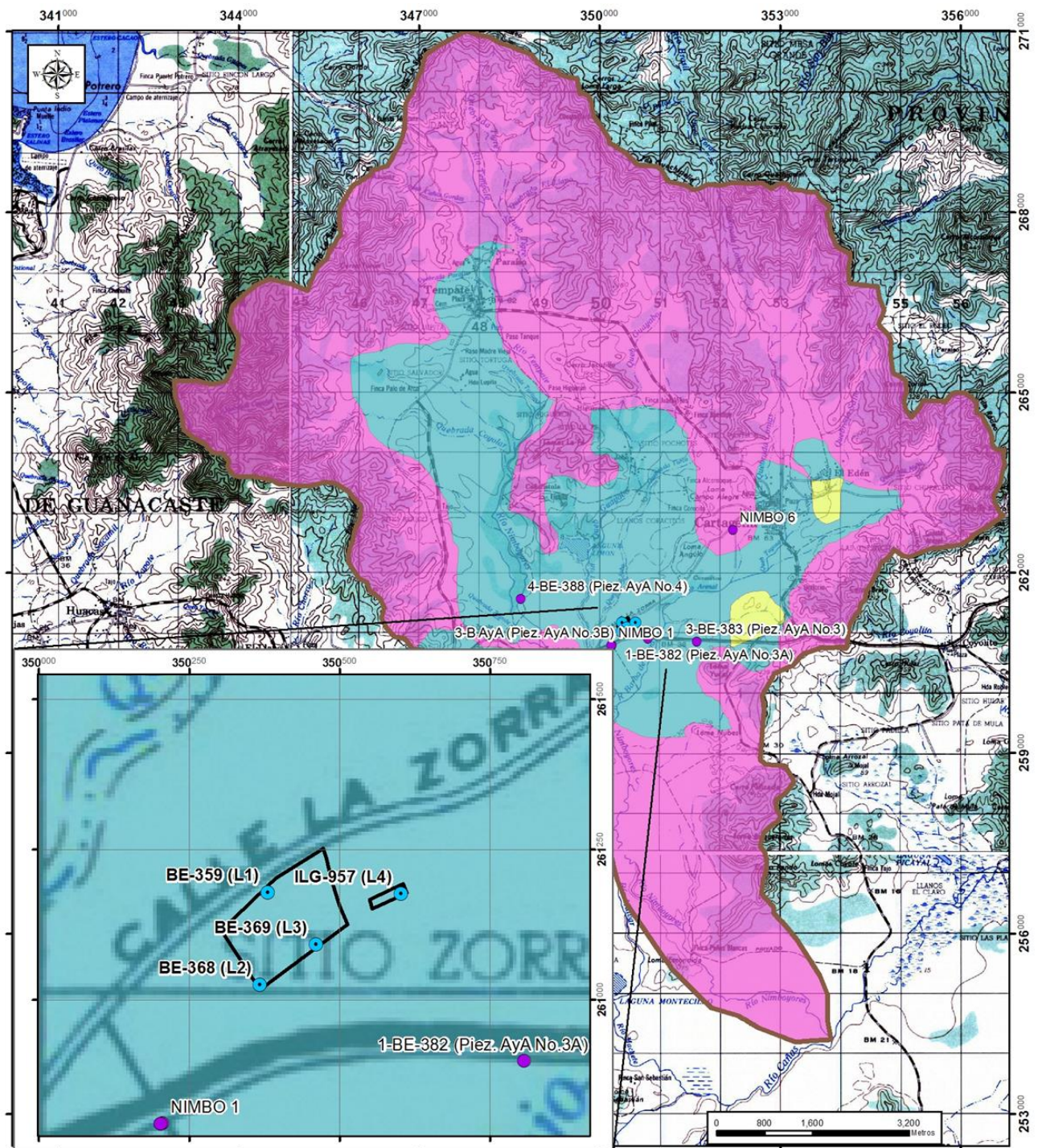
Legenda

- Pozos en estudio
- Curvas isofreáticas (SENARA 2005)
- Zonas de protección regulada
- Zona operacional - zona de protección absoluta

Zona de Protección Absoluta

- Plano G-454096-1997
- Plano G-485694-1998

Figura 5: Mapa de zonas de protección de los pozos en estudio.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
 UEN Gestión Ambiental - Área Funcional de Hidrogeología
FIG. 6 MAPA DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO MÁS SOMERO - ESTUDIO "DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE 4 POZOS UBICADOS EN LORENA, SANTA CRUZ, GUANACASTE"
 Base hidrogeológica: Modificado de SENARA, 2009

Hojas Matapalo, Belén, Villarreal
 & Diria I.G.N.C.R.
 Proyección Ocotepeque Lambert Norte
 Datum NAD27 Central
 Esferoide de Clarke 1886



Leyenda

- Piezómetros utilizados
- Pozos en estudio
- Plano G-454096-1997
- Plano G-485694-1998

Intervalos de Vulnerabilidad (GOD)

- Alta
- Media
- Baja

Figura 6: Mapa de Vulnerabilidad acuífero Nimboyores (SENARA, 2009)

8. CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

1. En ambos planos G-454096-1997 y G-485694-1998, donde se localizan los pozos en estudio, en un radio de 200 m, no existen a la fecha de emisión de este informe pozos privados en la Base de Pozos del SENARA.
2. Los 4 pozos en estudio, se encuentran depósitos aluviales sobreyaciendo a los basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya.
3. El acuífero de Nimboyores, donde se encuentran ubicados los 4 pozos, se desarrolla en el depósito aluvial y el espesor captado por cada uno de estos pozos varía entre 9 m y 24 m, constituido por paquetes de arenas y gravas (acuíferos) intercalados con arcillas y limos de baja permeabilidad.
4. El caudal total máximo de extracción para los pozos en estudio es de 66,05 L/s, distribuidos de la siguiente manera:
 - Pozo BE – 359 (L1): 17 L/s, obtenido de pruebas de bombeo realizadas por el AyA (2001).
 - Pozo BE – 369 (L3): 9,05 L/s, obtenido de pruebas de bombeo realizadas por GEOTEST S.A. (2013)
 - Pozo BE – 368 (L2): 17 L/s, obtenido de pruebas de bombeo realizadas por el AyA (2001).
 - Pozo ILG – 957 (L4): 23 L/s, pruebas de bombeo realizadas por el AyA (2001).
5. El análisis de tránsito de contaminantes bacteriológicos indica que las bacterias se degradarían en una distancia horizontal recorrida de 39 m para el pozo BE – 359; de 40 m para el pozo BE – 368; de 39 m para el pozo BE – 369 y de 40 m para el pozo ILG – 957.
6. Mediante la metodología de radio fijo se definió una zona de protección para el pozo L4 (ILG – 957), correspondiente a 63,79 m debido a que capta el acuífero superior, medio e inferior, la cual estará constituida por una zona de operacional-zona de protección absoluta la cual abarca el plano G-454096-1997 y una zona regulada en los alrededores, esto debido a que la vulnerabilidad es media, según metodología GOD (Figura 5 y Figura 6).
7. En el caso de los pozos L1 (BE – 359), L2 (BE – 368) y L3 (BE – 369), se encuentran captando un acuífero confinado, sin embargo como escenario conservador se empleará el mismo radio del pozo L4 (ILG – 957), dividiendo la zona en zona de protección absoluta y zona regulada, esto correspondiente al plano G-485694-1998, donde se ubican los 3 pozos. Se muestra una zona regulada en los alrededores, esto debido a que la vulnerabilidad es media, según metodología GOD (Figura 5 y Figura 6).

8. Esta zona regulada se indica debido a que no deberán autorizarse perforaciones cercanas o urbanizaciones sin un sistema de tratamiento adecuado.
9. La zona operacional-zona de protección absoluta definida por Foster et al (2002) para cada pozo es de 15 m (Figura 5), según corresponda.
10. En la zona operacional-zona de protección absoluta, en este caso los lotes G-454096-1997 y G-485694-1998, 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 con una malla perimetral para evitar que la fuente se contamine por residuos de animales o personas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, G.E., 1986: Hallazgos de megamamíferos fosiles en Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central. 4: 1-46.
- 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.
- AyA, 2001: Estudio Hidrogeológico de la Subcuenca del río Nimboyores. - Inf. Téc. San José, Costa Rica. 61 pp.
- AYA, 2002: Anexo Estudio Hidrogeológico de la Subcuenca del río Nimboyores. - Inf. Téc. San José, Costa Rica. 32 pp.
- BAUMGARTNER, P. O., 1984: El Complejo Ofiolítico de Nicoya (Costa Rica): Modelos estructurales analizados en función de las edades de los radiolarios (Colloviense a Santoniense) En: SPRECHMAN, P. (Ed): Manual de Geología de Costa Rica.- San José: Editorial UCR I: 115-123.
- CUSTODIO & LLAMAS, 1983: "Hidrología Subterránea". Ediciones Omega, S.A. Barcelona. Tomo I. Universidad Politécnica de Barcelona.
- DENGO, G., 1962: Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.- Informe Semestral IGN, 1962: 112 págs.
- DENYER, P., MONTERO, W, & ALVARADO G., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. 1 de. Edit. Universidad de Costa Rica. 79 pp.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1993: Geología del Norte de la Península de Nicoya, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 16:69-84.
- DENYER, P. & GAZEL, E., 2009: The Costa Rican Jurassic to Miocene oceanic complexes: Origin, tectonics and relations.- Jour. South Amer. Earth sci., 28: 429-442.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografía geológica de la Península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica- 1 ed.- [San José], C.R.: Edit. UCR, 2014.- 202 págs.
- ECHANDI, E., 2000: "Evaluación hidrogeológica preliminar de la cuenca del río Nimboyores, cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste". - 60 págs. Echandi & Asociados. San José, Costa Rica. [Informe de consultoría para la empresa Desarrollos Hoteleros de Guanacaste]

- FOSTER S, HIRATA R, GOMES D, D'ELIA M, París M. 2002. "Protección de la calidad del agua subterránea". Banco Mundial. Washington.
- GARDNER, T., MARSHALL, J., MERRITTS, D., BEE, B., BURTON, E., COOKE, J., KEHRWALD, N., PROTTI, M, FISCHER, D. & SAK, P., 2001: Holocene forearc block rotation in response to seamount subduction, southeastern Península de Nicoya, C. R.- *Geology*, 29 (2): 151-154.
- GALLI-OLIVIER, C., 1977: Edad de un emplazamiento y período de acumulación de la ofiolita de Costa Rica.- *Ciencia y Tecnología*, 1 (1): 81-86.
- GALLI-OLIVIER, C., 1979: Ophiolite and island arc vulcanism in Costa Rica.- *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 90 (1): 444-452.
- GEOTEST S.A., 2013: Evaluación de productividad del Campo de Pozos "Lorena". Cartagena, Santa Cruz, Guanacaste. Inf. Técn.23 pp.
- GURSKY, H.J. & GURSKY, M., 1988: Thermal alteration of chert in the ophiolite basement of South Central America.- En: HEIN, J. R. & OBRADOVIC, J. (Eds.): *Siliceous Deposits of the Pacific and Tethys Regions*.- Springer-Verlag, New York: 217-233.
- KUIJPERS, E. P., 1979: La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica.- Informe Semestral IGN, 1979 (2): 15-75.
- KUIJPER, E. P. & DENYER, P., 1979: Volcanic exhalative manganese deposits of the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica.- *Econ. Geol.*, 74: 672-678.
- LAURITO, C., WILSON, V. & VEGA, E., 1993: Nuevos hallazgos Paleovertebradológicos en la Península de Nicoya: Implicaciones paleoambientales y culturales de fauna de Nacome.-*Rev. Geol. Amér. Central*, 16: 113-115.
- LUCAS, S. G., ALVARADO, G.E. & VEGA, E., 1997: The Pleistocene Mammals of Costa Rica.- *Jour. Vert. Paleontol.*, 17 (2): 413-427.
- MONTERO, W. & DENYER, P., 2001: Fallamiento neotectónico de la Península de Nicoya y su relación con el escarpe tectónico del antearco Centroamericano.- *Rev. Geol. Amér. Central.*, 45: 9-52.
- RANERO, C.R. & VON HUENE, R., 2000: Subduction erosion along the Middle America convergent margin.- *Nature*, 13(6779): 748-52.

ROMANES, 1912: Geology of part of Costa Rica.- The Quaterly J. Geol. Soc. London, 68:103-139.

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

SAPPER, K., 1905: Gebirgsbau und Boden des südlichen Mittelamerika.-Justus Perthes Gotha, 151: 1-82.

SENARA, 2003: Mapa de Vulnerabilidad del acuífero de la parte alta de la subcuenca del río Nimboyores. Santa Cruz, Guanacaste

SENARA, 2005: "Diagnóstico del potencial de explotación y rendimiento seguro del acuífero de la parte alta de la subcuenca del río Nimboyores, Santa Cruz, Guanacaste". - 50 págs. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. San José. [Informe Interno]

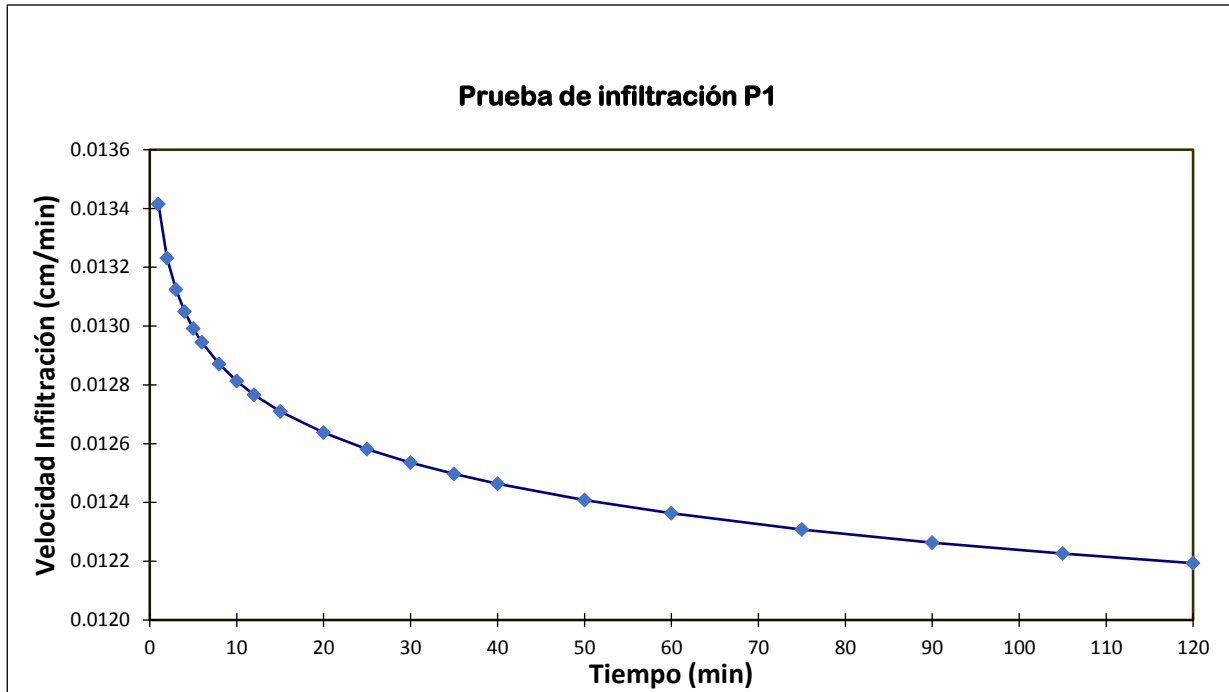
SENARA, 2016: Base de datos de perforación.

11. ANEXOS

Anexo 1: Minuta de reunión Comité Técnico Interinstitucional: AyA, SENARA, Dirección de Aguas- MINAE.

Anexo 2: Registro de perforaciones

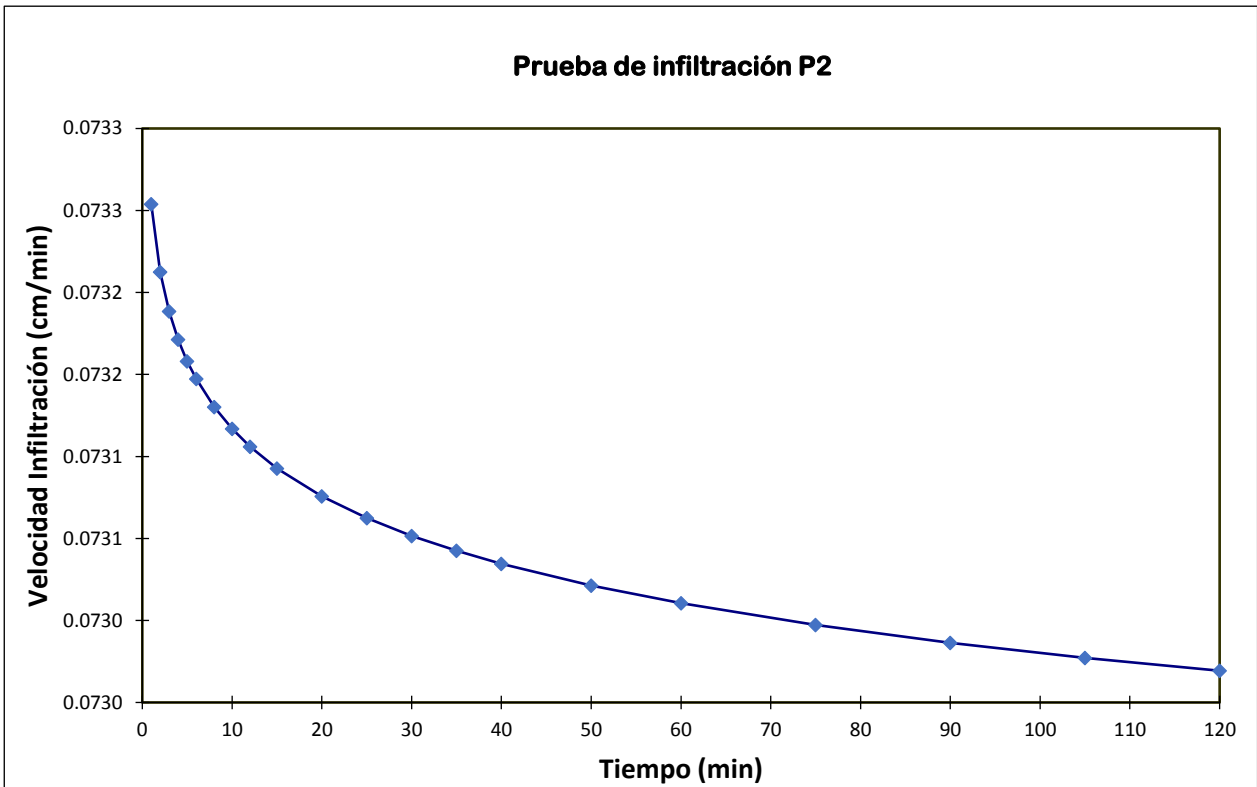
Anexo 3: Pruebas de infiltración.



Gráfica 1: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P1



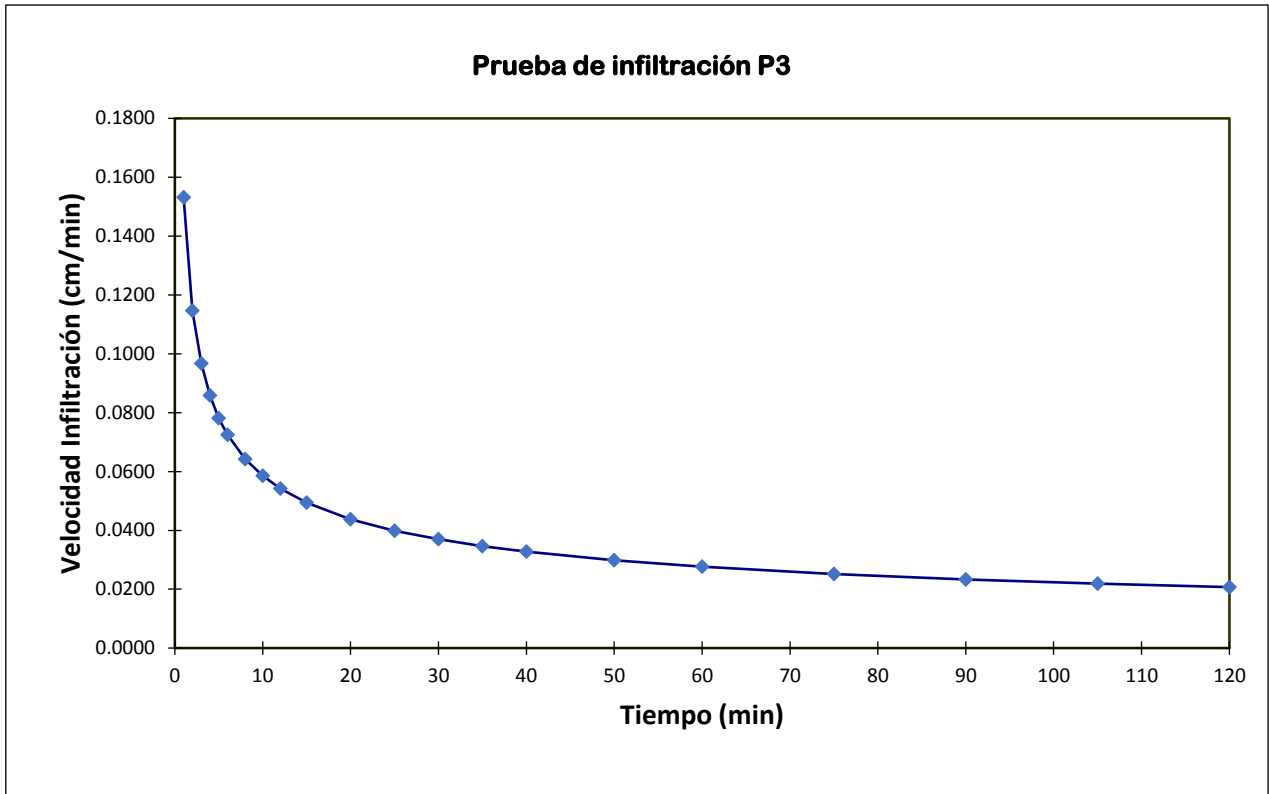
Fotografía 11: Prueba de infiltración P1, coordenadas 261169 N y 350377 E.



Gráfica 2: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P2



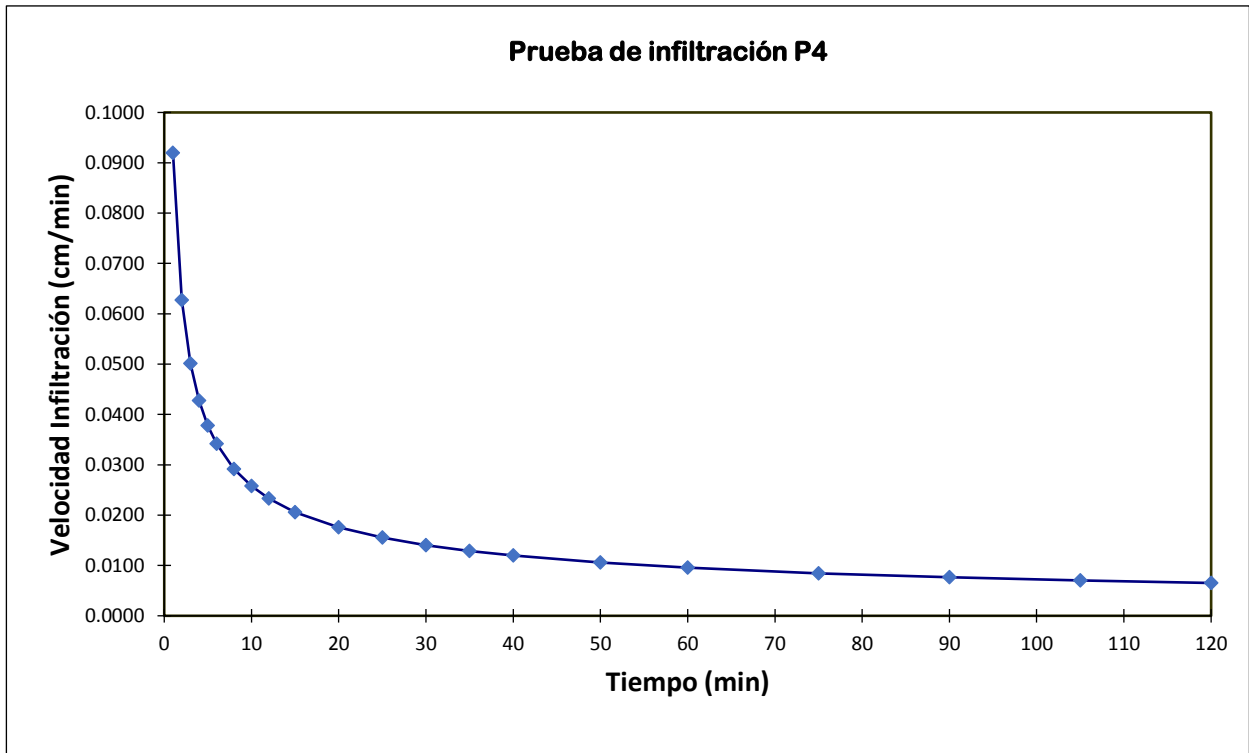
Fotografía 12: Prueba de infiltración P2, coordenadas 261039 N y 350362 E



Gráfica 3: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P3



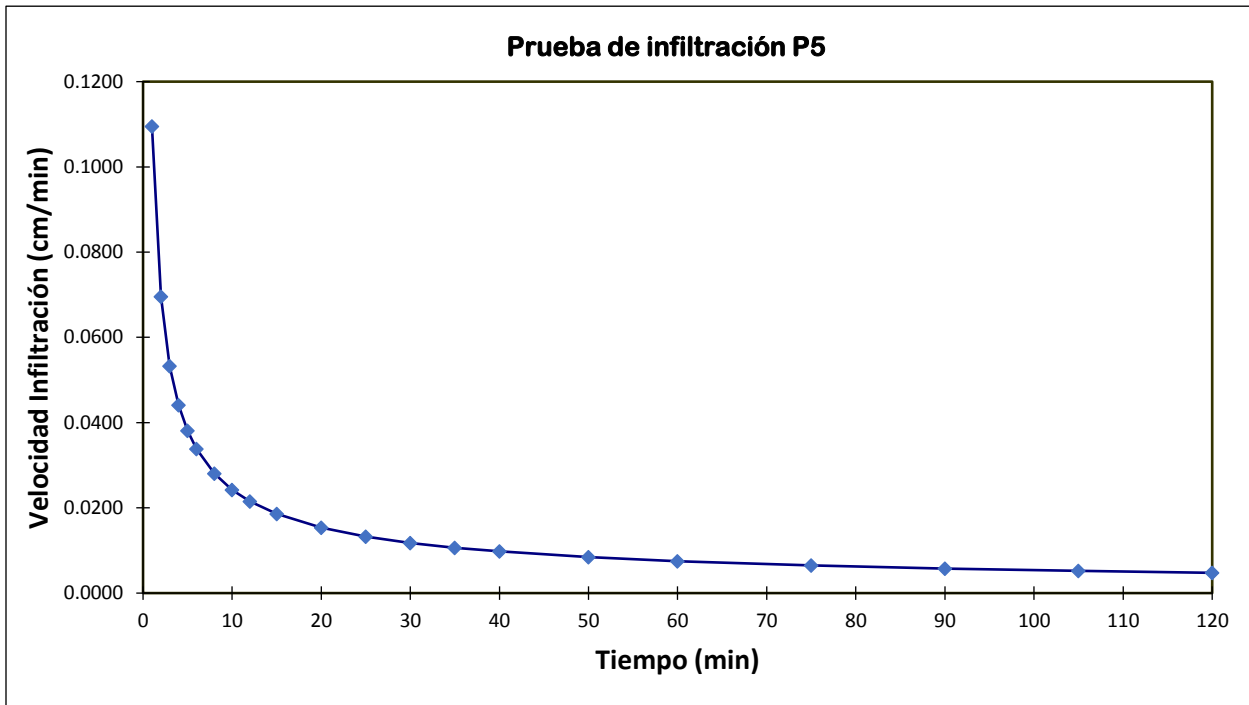
Fotografía 13: Prueba de infiltración P3, coordenadas 261098 N y 350443 E.



Gráfica 4: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P4



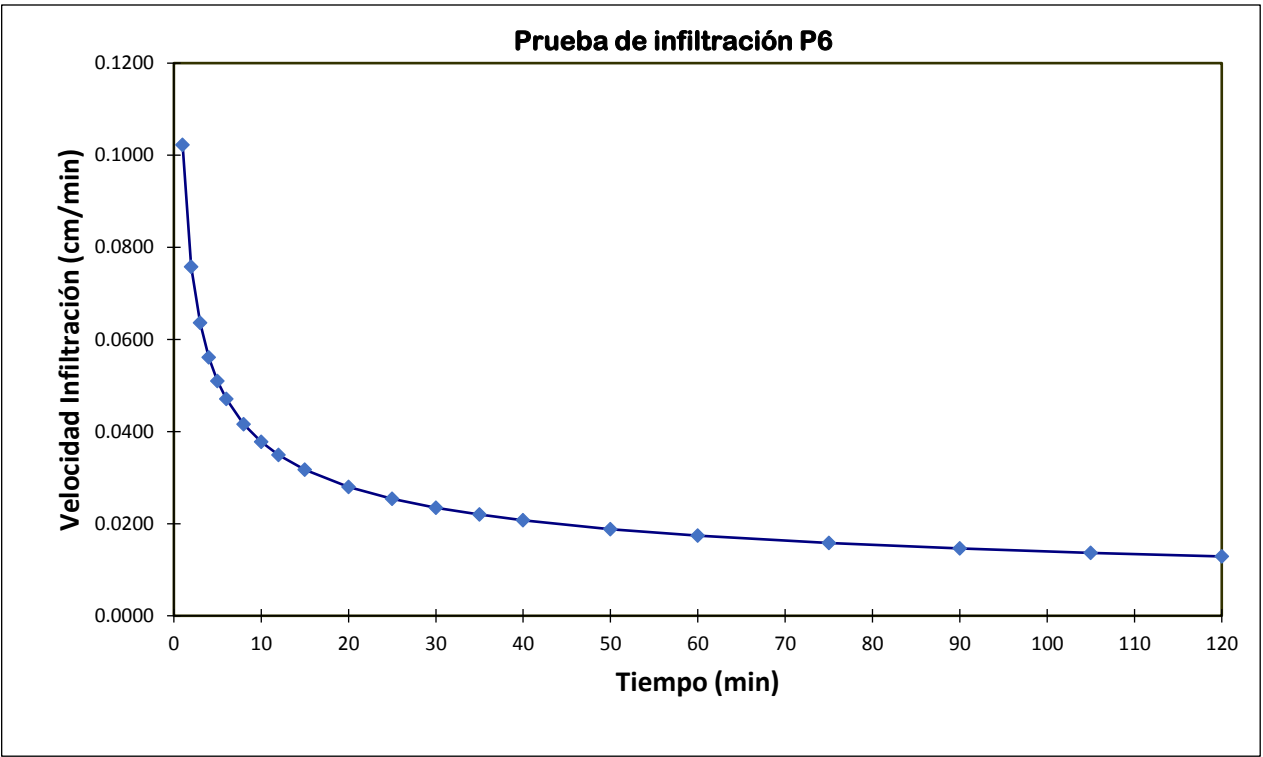
Fotografía 14: Prueba de infiltración P4,
coordenadas 261167 N y 350579 E.



Gráfica 5: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P5



Fotografía 15: Prueba de infiltración P5, coordenadas 261251 N y 350328 E.



Gráfica 6: Velocidad de infiltración en función del tiempo, Prueba de infiltración P6



Fotografía 16: Prueba de infiltración P6,
coordenadas 261289 N y 350555 E.