



**Tecnoambiente
Centroamericano**

INFORME DE LA CONTRATACIÓN DIRECTA

N° 2015 CDS-00021-PRI, AYA

PARA LA DEFINICIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE

TRES NACIENTES EN AGUA ZARCAS

Hidrogeól. Sandra Arredondo Li

Contraparte técnica y administrativa de la contratación:

MSc. Viviana Ramos Sánchez

Área Funcional de Hidrogeología-AYA

Octubre, 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
-05'00'

Firma: _____

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	OBJETIVO	6
1.1.1	<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>6</i>
1.1.2	<i>METODOLOGÍA APLICADA.....</i>	<i>6</i>
2	GEOLOGÍA	8
2.1	GEOLOGÍA REGIONAL	8
2.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	10
2.2.1	<i>PIROCLASTOS Y BRECHAS DEL PLEISTOCENO MEDIO.....</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>EPICLASTOS DEL PLEISTOCENO MEDIO</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>LAVAS BASÁLTICAS DEL PLEISTOCENO SUPERIOR.....</i>	<i>12</i>
3	HIDROGEOLOGÍA	14
3.1	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	14
3.2	NACIENTES EN EL TUCÁN, AGUA ZARCAS	17
3.3	MANANTIALES EN EL TUCÁN, AGUA ZARCAS.....	26
4	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS.....	31
4.1	NACIENTES EL TUCÁN	31
5	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	37
6	ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES	39
6.1	NACIENTES EL TUCÁN, AGUA ZARCAS.....	39
6.1.1	<i>MÉTODO DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE DEGRADACIÓN DE BACTERIAS.....</i>	<i>39</i>
6.1.2	<i>MÉTODO DEL RADIO FIJO.....</i>	<i>41</i>
6.1.3	<i>MÉTODO DE GRUBB.....</i>	<i>42</i>
7	CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES.....	47
8	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD CON EL MÉTODO GOD	48
8.1	ACUÍFERO VOLCÁNICO FISURADO EN LAVAS Y BRECHAS NACIENTES TUCÁN 4, TUCÁN 5 Y TUCÁN 6.	48
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
10	REFERENCIAS	51

1 INTRODUCCIÓN

El estudio hidrogeológico realizado comprende la definición de las zonas de protección de tres nacientes ubicadas en el sector de Agua Zarcas, entre la comunidad de La Marina y San Rafaelito, conocidas como: Tucán 4, Tucán 5 y Tucán 6.

Las fuentes son manantiales que descargan acuíferos lávicos en todos los casos. En la zona de Agua Zarcas las fuentes se encuentran captadas.

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

Cuadro N° 1. Manantiales analizados en el estudio.

Nombre de la fuente	Tipo de fuente	Este (m)	Norte (m)	Altura de cada fuente en (msnm)	Caudal (l/s) *3 Setiembre 2015
Tucán 4	Manantial	494963	260410	554,00	20.00
Tucán 5	Manantial	494906	260521	539,96	11.02
Tucán 6	Manantial	494885	260525	539,97	39.55

* Los aforos fueron realizados por personal del AyA el 3 de Setiembre del 2015, comunicación personal por el jefe de cuadrilla Carlos Hernández (Anexo N° 1).

El acceso a los manantiales ubicados en Agua Zarcas se realiza por caminos vecinales de tierra y al sitio se llega a pie.

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

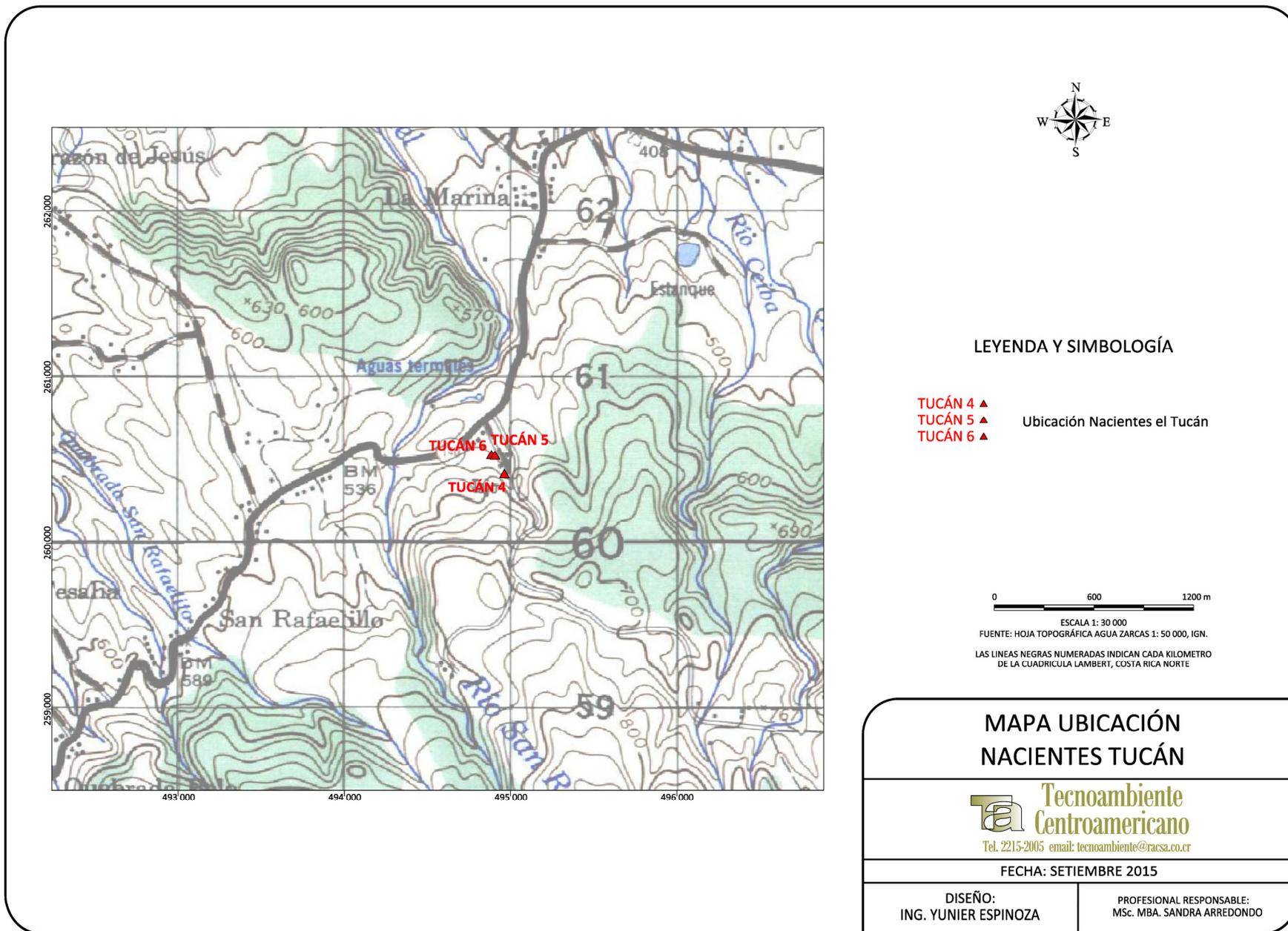


Figura 1. Mapa ubicación de las tres nacientes el Tucán, Agua Zarcas.

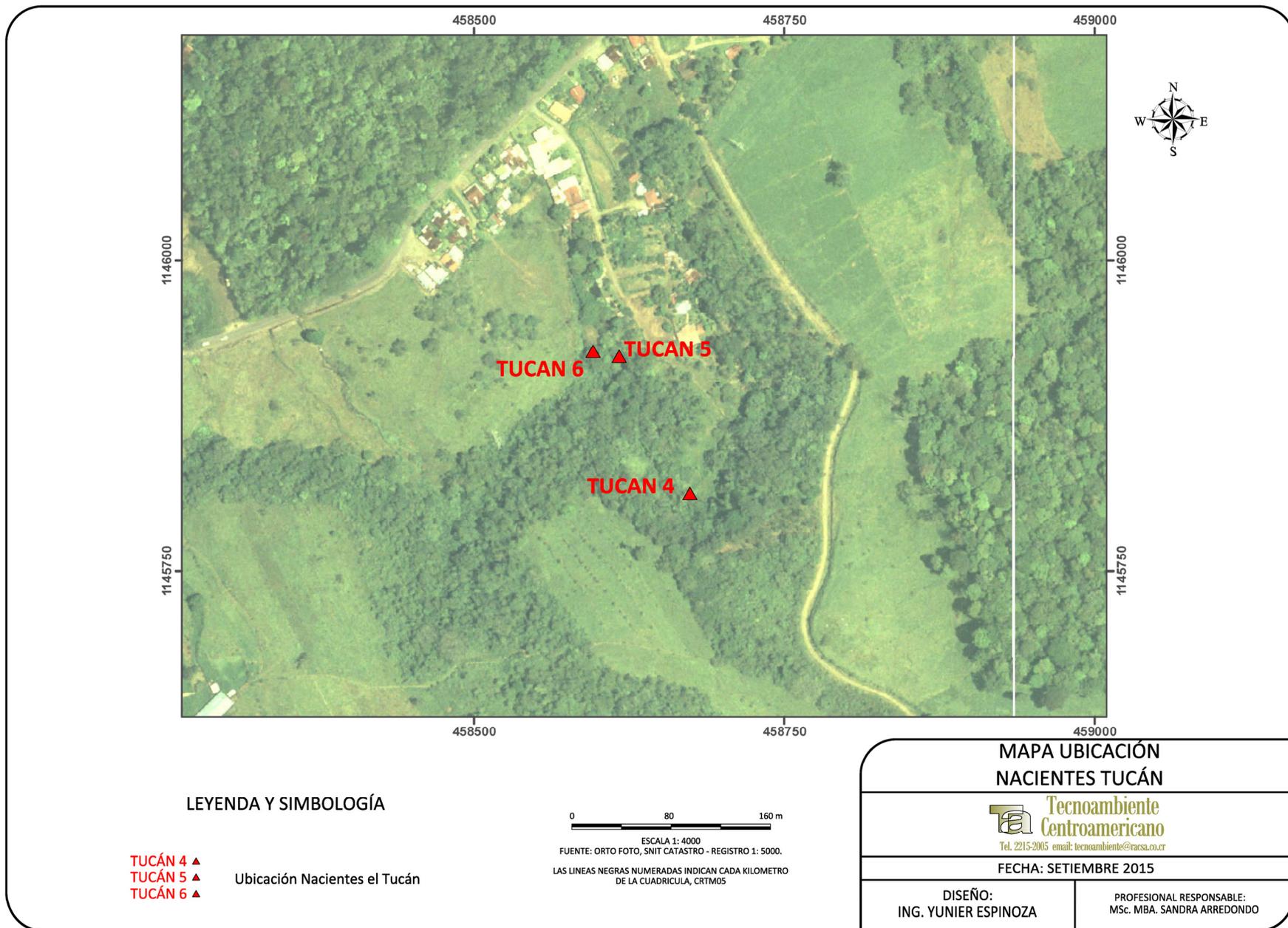


Figura 2. Mapa ubicación de las tres nacientes el Tucán, Agua Zarcas con ortofoto.

1.1 OBJETIVO

El objetivo de la contratación es el de desarrollar un estudio hidrogeológico que contemple la definición de las zonas de protección de las fuentes de agua seleccionadas por el AyA, con el fin de establecer la zona de protección absoluta o inmediata que se requiere para protección ante la amenaza a contaminación, como medida preventiva.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos se han establecido:

- 1) Obtener un mapeo geológico de campo en los alrededores de cada fuente de agua.
- 2) Identificar si existen otras fuentes de agua cercanas que permitan analizar la situación circundante, como pozos u otras nacientes.
- 3) Obtener el caudal de cada fuente de agua.
- 4) Ejecutar una campaña de pruebas de permeabilidad en los alrededores de cada naciente.
- 5) Obtener los datos de porosidad del suelo en la zona de influencia de cada naciente.
- 6) Definir el modelo hidrogeológico de cada zona evaluada.
- 7) Calcular las zonas de protección de cada fuente de agua utilizando métodos aplicados internacionalmente para obtener la zona de protección absoluta inmediata.
- 8) Reportar la calidad del agua de cada fuente captada o a captar.

1.1.2 METODOLOGÍA APLICADA

Para elaborar el estudio se realizó un mapeo geológico en 1 km² a escala 1:25 000 que incluye tres perfiles hidrogeológicos por cada manantial, los espesores calculados para las unidades geológicas se basan en el trabajo de campo realizado.

Adicionalmente se verificó la existencia de información de pozos y nacientes en los alrededores de cada fuente de agua con el fin de establecer el modelo geológico e hidrogeológico para cada caso, en caso de existencia la información ha sido recopilada.

En caso de que sea posible, se trató de medir niveles freáticos en pozos cercanos para verificar las condiciones actuales de los niveles de agua subterránea con el fin de elaborar el mapa de isofreáticas para cada sector.

Los datos de caudales se tomaron de los registros reportados por el AyA. En algunos casos los parámetros hidráulicos se han tomado de estudio previos de literatura internacional ya que no se cuenta con pruebas de bombeo específicas, dichos parámetros hidráulicos son válidos para acuíferos con similares condiciones geológicas. Las porosidades en la zona no saturada se obtuvieron de muestreos de suelos “in situ” que fueron analizados en el Laboratorio de Suelos INTA, del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

Para desarrollar el cálculo de las zonas de protección se utilizaron metodologías usadas internacionalmente, estas son: Grubb, método analítico y radio fijo; para ello se ejecutaron cinco pruebas de permeabilidad cercanas a las fuentes evaluadas usando el método Porchet, y se obtuvieron tres muestras de suelo en cada una de las fuentes analizadas y posteriormente evaluadas en el laboratorio del INTA, con el fin de obtener el valor de porosidad para los cálculos hidráulicos.

Adicionalmente se realizó un análisis de la vulnerabilidad a la contaminación en la zona de protección inmediata de la fuente utilizando el método GOD, el resultado se presenta en un mapa escala 1:25 000.

2 GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Esta zona había sido estudiada por Malavassi & madrigal (1970). En los alrededores del sitio afloran rocas volcánicas de diferentes edades, que van desde los 29 millones de años de antigüedad (Oligoceno) hasta el presente. En las inmediaciones del sitio, sin embargo, afloran rocas relacionadas con el desarrollo de la Cordillera Volcánica Central, en particular el macizo del Platanar-Porvenir, eruptadas durante los últimos 600 000 años (Figura 3).

Las rocas volcánicas del Oligoceno-Pleistoceno Inferior afloran al norte del área, en las planicies del norte, y sobresalen sobre todo como relictos de serranías bajas. Estuvieron asociadas con el vulcanismo del antiguo arco volcánico de Sarapiquí (Gazel et al., 2005).

Al oeste de la Cordillera Volcánica Central se encuentran rocas de la Cordillera de Tilarán, reunidas en el Grupo Aguacate y la Formación Monteverde, que en conjunto son rocas volcánicas diversas, con edades de 5-7 Ma (Mioceno Superior; Alvarado & Gans, 2012).

La Cordillera Volcánica Central se ha desarrollado en el último millón de años, y particularmente en los últimos 600 ka, en su fase Paleo-Cordillera (600-200 ka) y la fase de Neo-Cordillera (<200 ka). En términos generales, las rocas de la Paleo-Cordillera afloran en las partes más distales de los edificios volcánicos del Platanar-Porvenir, del Poás y del Barva, como se ve en la Figura 3.

El cono doble del Platanar-Porvenir se ha desarrollado sobre todo en los últimos 200 ka (fase Neo) dentro de una caldera formada durante la etapa Paleo, y sus rocas, principalmente lavas y piroclastos, llegan de manera marginal hasta la periferia del área de las nacientes el Tucán, sobreyaciendo a rocas piroclásticas y epiclásticas (Campaña Geológica: Alfaro et al., 2013), también de la fase Paleo.

Hay una serie de estructuras volcano-tectónicas con orientaciones predominantes N-S, como los alineamientos de conos del Poás hacia el norte, que termina en los mares de Hule y Río Cuarto, que se han emplazado en los últimos 6 ka (Soto & Alvarado, 1989; Alvarado et al., 2011), o el alineamiento de conos piroclásticos basálticos alcalinos de Aguas Zarcas, con edad máxima aproximada de 300 ka (Poncía, 1993; Alvarado & Gans).

Parte del borde externo norte de la Cordillera Volcánica Central es cortado por una serie de fallas inversas, que probablemente han sido producidas por una combinación tectónica y quizás de expansión lateral de los voluminosos edificios volcánicos (cf. Montero et al., 2010).

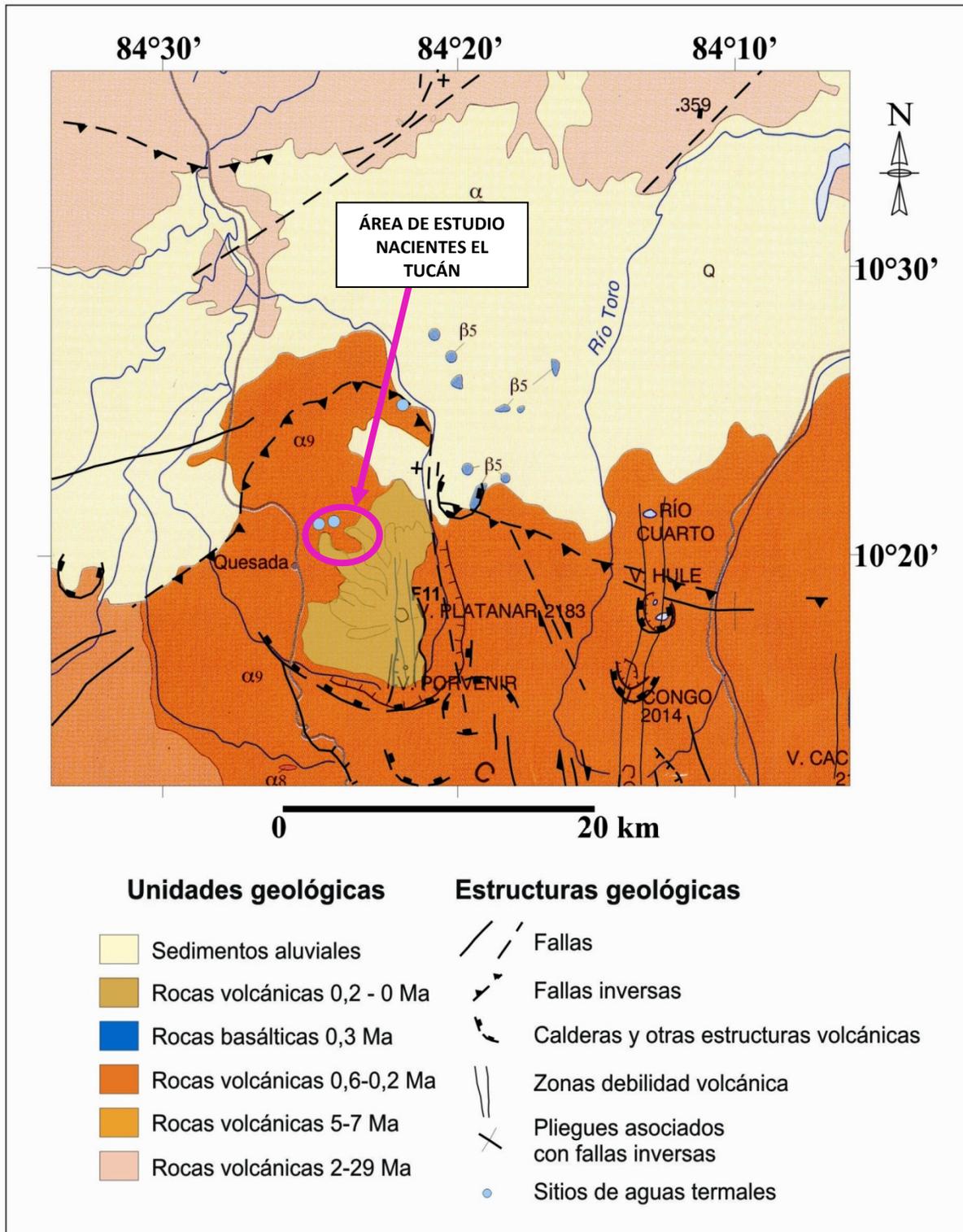


Figura 3. Mapa geológico regional, modificado a partir del mapa de Denyer & Alvarado (2007).

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

Los detalles de la geología local se muestran en el mapa geológico de la Figura 4.

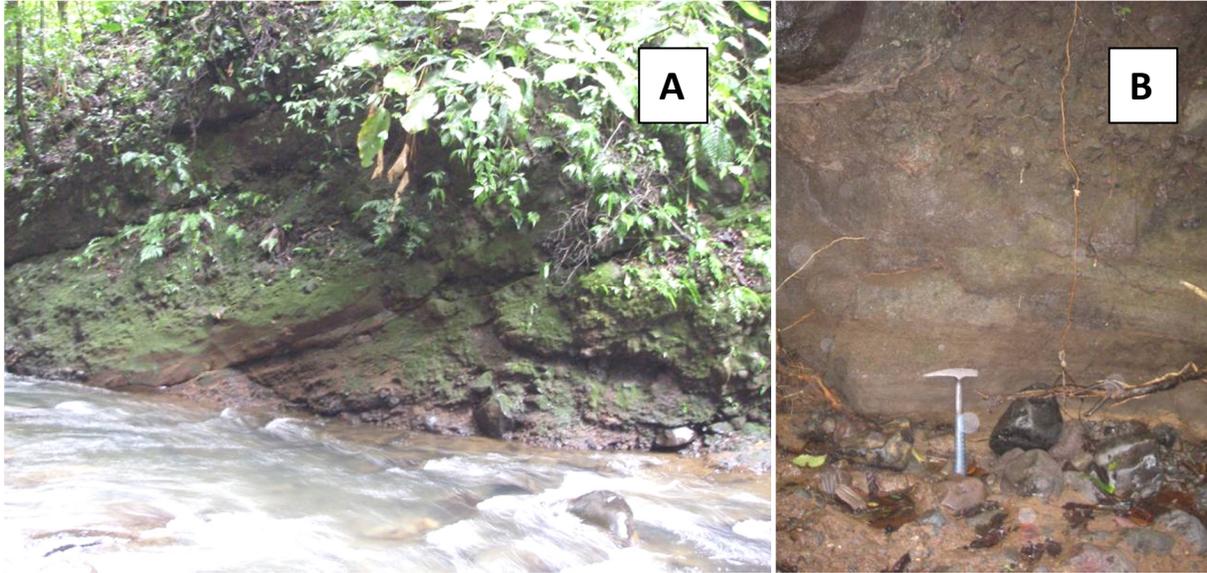
2.2.1 PIROCLASTOS Y BRECHAS DEL PLEISTOCENO MEDIO

En el río San Rafael, hacia el sector noroeste, afloran brechas volcánicas con bloques centimétricos a decimétricos, soportadas por matriz piroclástica (Fotografía 1), cuyo origen son posibles flujos de detritos, del Pleistoceno Medio de la unidad de rocas volcánicas de 0,6-0,2 Ma, fase volcánica Paleo-Cordillera, según el mapa de la Figura 3. Presentan fracturas abiertas, la mayoría de ellas oblicuas, entre 30° -50° de buzamiento, principalmente hacia el este (azimut $90^\circ \pm 25^\circ$).



Fotografía 1. Brechas de posibles lahares antiguos aflorantes en río San Rafael. Coordenadas 261000N y 494800E.

Aguas abajo en el río San Rafael, se observan otras rocas de índole volcánica y volcanoclástica, de la misma secuencia de la Paleo-Cordillera (Pleistoceno Medio: 0,6-0,2 Ma), que muestran secuencias fluviales, tobas y brechas intercaladas que buzcan 23° hacia el suroeste (Fotografía 2).



Fotografía 2. En las fotografías A y B, se muestran las rocas epiclásticas antiguas en el río San Rafael, buzando hacia el suroeste (494900 E – 261300 N), ambas fotografías se tomaron en el mismo sitio, la fotografía B es un acercamiento del afloramiento.

Una observación geomorfológica interesante es que la colina bordeada por el río San Rafael, entre La Marina y Corazón de Jesús (Fotografía 3), forma una colina contrapendiente de la que tiene la montaña que baja del volcán Platanar. Con el buzamiento observado y mencionado anteriormente, hacia el SW, se concluye que esta colina está bordeada por fallas que controlan la estructura y posiblemente el flujo de aguas termales en su cercanía.



Fotografía 3. Colina al noroeste de las nacientes, vista desde un camino que se interna subiendo al volcán. Forma una estructura contrapendiente.

2.2.2 EPICLASTOS DEL PLEISTOCENO MEDIO

En el camino hacia Aguas Zarcas, separados por una falla, afloran una serie de epiclastos, con lahares predominantes, fuertemente meteorizados a suelos lateríticos rojos-naranjas, que corresponden con una secuencia de epiclastos de la fase Paleo-Cordillera.

En el pozo AZ-21, ligeramente fuera del sector del mapa de la Figura 4, al norte, muestra una secuencia de epiclastos, arcillas y lavas, con lahares aflorantes con espesores de 10 m, subyacidos por lavas muy alteradas, de la secuencia Paleo-Cordillera.

2.2.3 LAVAS BASÁLTICAS DEL PLEISTOCENO SUPERIOR

Se observaron afloramientos en un corte de camino (coordenadas 495100E-260050N), donde afloran rocas lávicas fenobasálticas grises con fenocristales de plagioclasas y olivino, blocosas, fracturadas (las fracturas principales buzcan 60° al $284 \pm 10^\circ$). Las lavas se observan frescas, pero tienen una cobertura de meteorización a suelo pardo de cerca de 2 m de espesor (Fotografía 4). Estas lavas representan el frente de donde brotan las nacientes de Tucán 4, 5 y 6, en su intersección con fallas.



Fotografía 4. Lavas fenobasálticas, con la cobertura de 2m de suelos (izquierda) y un detalle de este sitio, con fracturas subverticales (derecha). Es un pequeño tajo en 494850E – 260400N. Estas lavas son de la unidad más reciente en el área, de menos de 0,2 Ma.

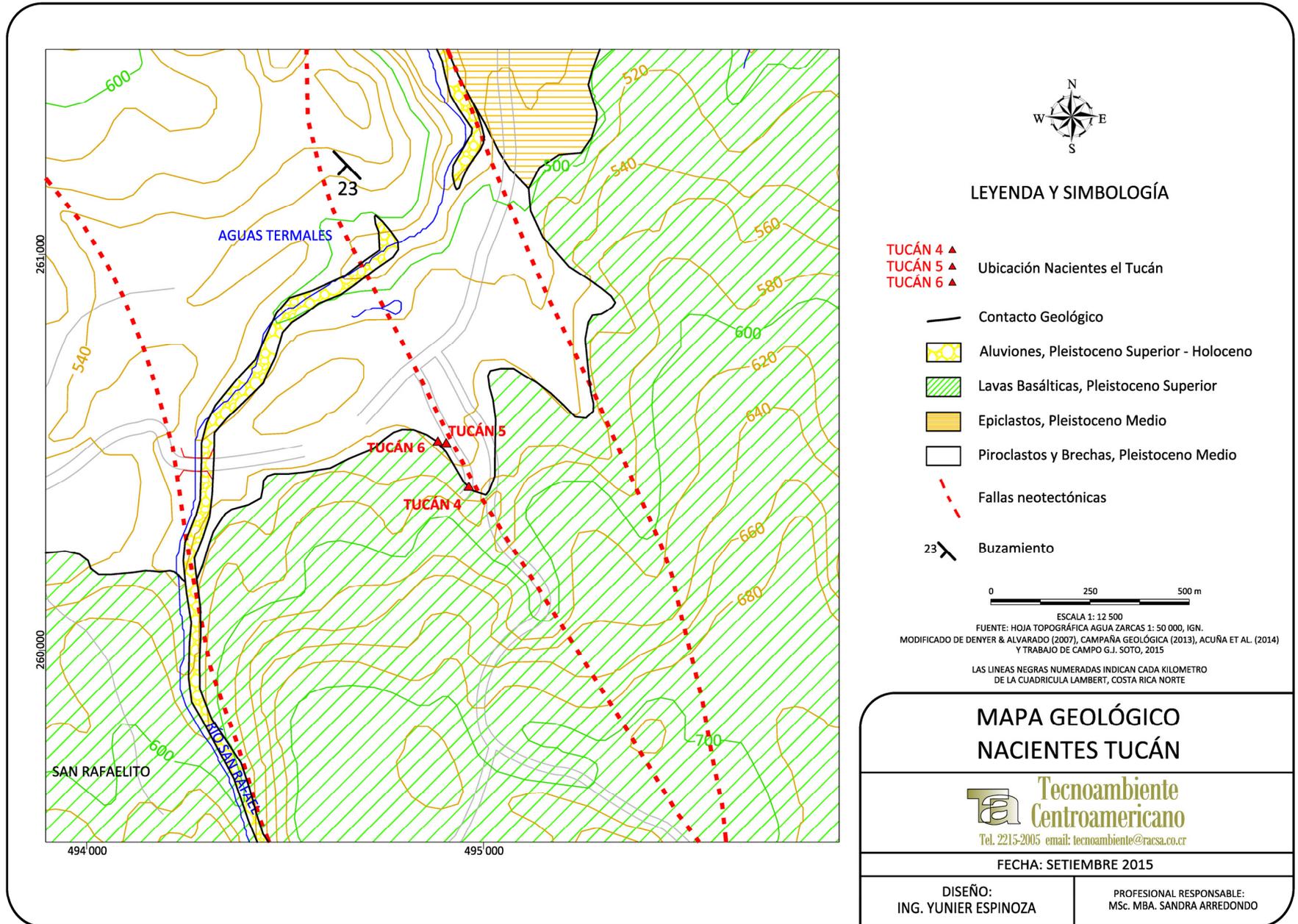


Figura 4. Mapa geológico local.

3 HIDROGEOLOGÍA

3.1 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Las fracturas del sector de margen izquierda del río San Rafael, en la Unidad de Piroclastos y brechas del Pleistoceno Medio (el sector oeste) muestran ojos de agua caliente (Fotografía 5), como el observado a 70 m al suroeste de la confluencia entre el río San Rafael y una quebrada innominada (coordenadas 494550E - 260950N). Esta quebrada sin nombre, aguas arriba no presenta ningún ojo de agua caliente.



Fotografía 5. Arriba: vista aguas arriba del río San Rafael (494550E - 260950N), con uno de los ojos de agua caliente en el sector derecho (color naranja encerrado en círculo amarillo) y otros no visibles desde donde se expele vapor, mismo punto donde se localiza la Unidad de Piroclastos. Unidad de Piroclastos y brechas del Pleistoceno Medio.

Del ojo de agua mencionado (Fotografía 5), hacia aguas arriba en el río San Rafael se encuentran numerosos ojos de agua caliente, los cuales son aprovechados en parte por los proyectos turísticos El Tucano, El Tucanito y Termales del Bosque. Los sitios son reconocibles además porque las fracturas promueven el crecimiento de algas ferrosas color pardo, muy visibles.

Unos 20 m aguas abajo de la intersección de la quebrada innominada y el río San Rafael, hay en margen izquierda, algunas fracturas abiertas y secas con pequeños burbujeos de gases y temperatura de cerca de 35° C, pero sin salida de agua.

Aparte de las fuentes termales mencionadas, hay otras fuentes termales, como las de El Tucano, El Tucanito y Termales del Bosque (Fotografía 5). Los análisis químicos hechos por Zimmer et al (2004) de las salidas de gases en El Tucano (llamado por ellos "La Marina") se muestran en el Cuadro N° 2. De acuerdo con sus conclusiones, los gases son típicos de sistemas hidrotermales, con razones $CO_2/St \gg 10$. El azufre se presenta usualmente como H_2S en las muestras hidrotermales.

Cuadro N° 2. Composición de gas de fuentes termales (mmol/mol) de La Marina (Zimmer et al., 2004)

Parámetro	La Marina
T (°C)	46,0
CO ₂	95,8
St (azufre total)	0,30
SO ₂	0,14
H ₂ S	0,16
HCl	2,55
HF	0,36
N ₂	15,743
H ₂ O	914

En la zona de estudio según el vulcanólogo Gerardo Soto, 2015 comunicación personal, existen cuatro nacientes de aguas frías que caen al cauce del río San Rafael, entre las coordenadas 261000N, 2614000N y 504827E, 504877E (ver Figura 5). Las fuentes son todas frías (temperaturas entre 23,5° C y 24,0° C) y neutras (pH=6,55-6,82), y nacen en lavas antiguas, pues los alrededores de las nacientes presentan numerosos bloques de lavas andesíticas de tamaño métrico.

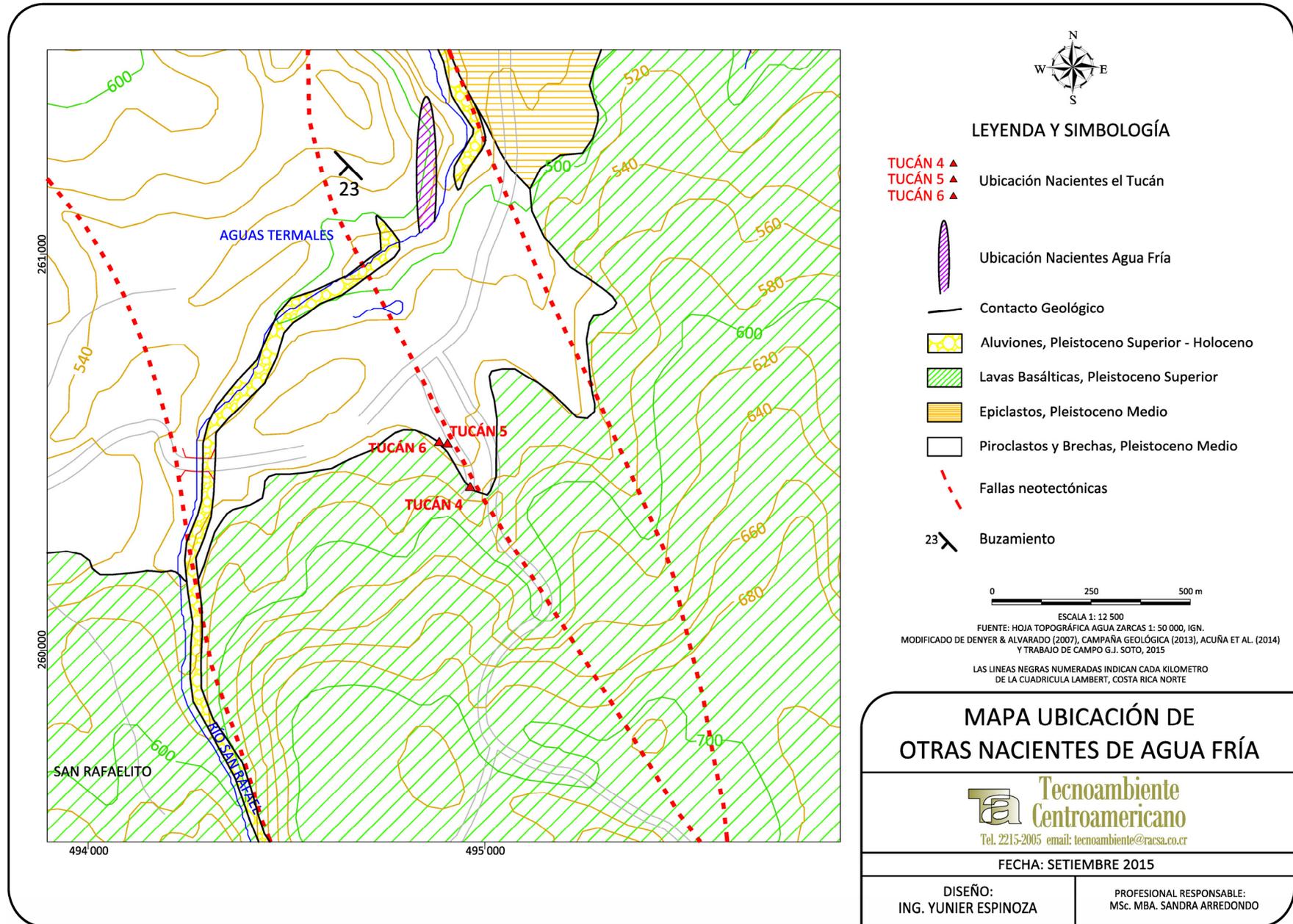


Figura 5. Ubicación Nacientes agua fría, al norte.

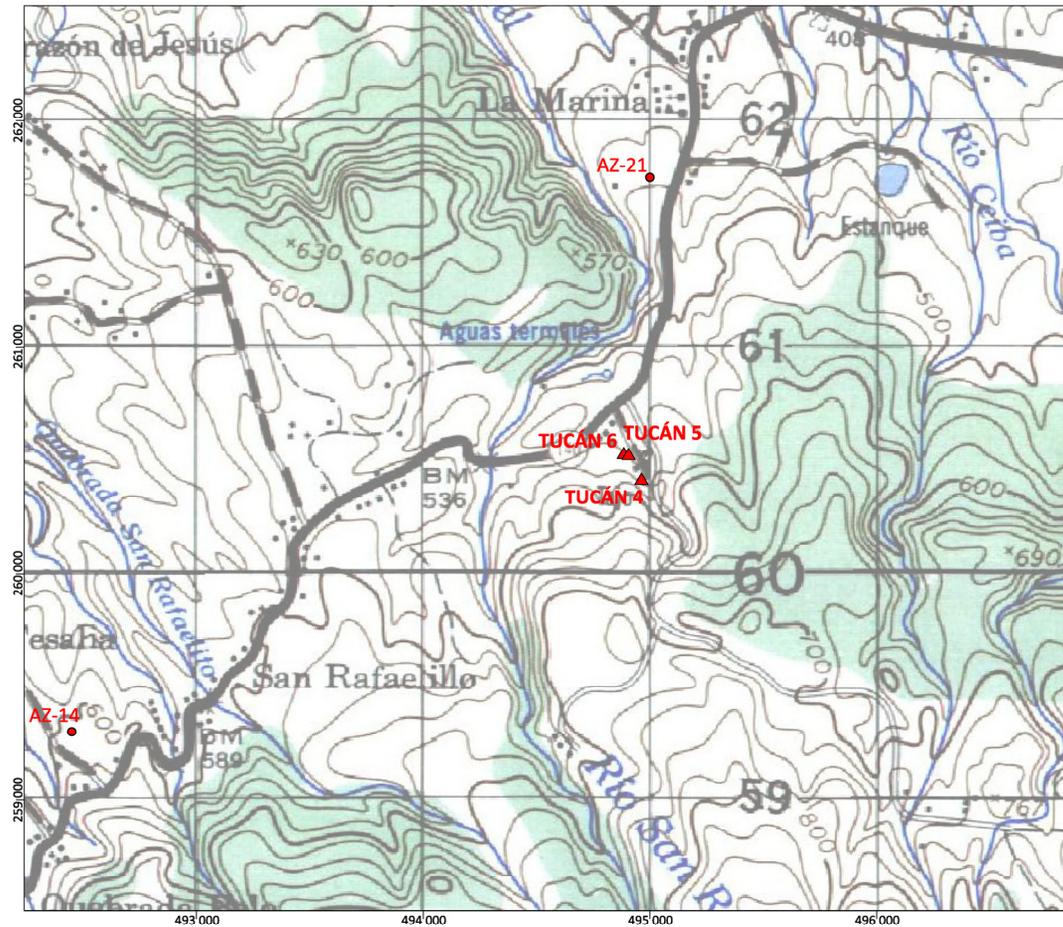
3.2 NACIENTES EN EL TUCÁN, AGUA ZARCAS

En el Cuadro N° 3 y Figura 6, se presenta una lista de los pozos registrados en el Archivo de pozos del SENARA y de la Dirección de Aguas del MINAE más cercanos a las nacientes el Tucán, los pozos se encuentran a un radio de 2700 m, además se localizan al norte y oeste de la zona de estudio.

Cuadro N° 3. Pozos ubicados en la zona de estudio, Agua Zarcas

POZO	Este (m)	Norte (m)	PROPIETARIO	PROF (m)	N.F. (m)	Q (l/s)	USO	LITOLÓGÍA
AZ-14	492450	259300	ASOC.EVANG. METODISTA	27	8	0.6	DOMESTICO	0,00-7,00 arcilla p.a. baja (cenizas meteor)/7,00-24,00 fm. Laharica p.a. baja (bloque lavicas en matriz arenosas) 9-27 rejilla/24,00-27,00 lava andesitica p.a. media a alta fracturada(acuíferossemicof)/ 27,00,
AZ-44	494521	260696	BALDI OPERADORA DE TURISMO S.A.	60	*N/D	1	DOMESTICO	*N/D
AZ-21	495000	261750	I.N.A.	80	10	1	DOMESTICO	0-10 SUELO ARCILLAS CAFÉ MUY plasticos con bloques lávicos centimétricos englobados en matriz arcilloso café / 10-48 lava alteradas, fracturadas a densa permeabilidad alta / 48-55 arcillas compactas café, permeabilidad baja / 55-61.5 lava andesítica densa permeabilidad media a baja / 61.5-80 secuencia de lavas y arcillas café a gris en paquetes métricas a decimetricos. Las lavas se presentan alteradas y arcillificada con una permeabilidad media a nula.

*N/D: No hay dato



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

- TUCÁN 4 ▲
 - TUCÁN 5 ▲
 - TUCÁN 6 ▲
- Ubicación Nacientes el Tucán
- AZ-21 ●
- Pozo Registrados

0 600 1200 m

ESCALA 1: 30 000

FUENTE: HOJA TOPOGRÁFICA AGUA ZARCAS 1: 50 000, IGN.
 BASE DE DATOS DE POZOS DEL SENARA, AGOSTO 2015.
 BASE DE DATOS CONCESIONES DE AGUA DEPARTAMENTO DE AGUAS, MINAE, AGOSTO 2015

LAS LINEAS NEGRAS NUMERADAS INDICAN CADA KILOMETRO
 DE LA CUADRICULA LAMBERT, COSTA RICA NORTE

MAPA UBICACIÓN POZOS
 NACIENTES TUCÁN

Ta Tecnoambiente
 Centroamericano
 Tel. 2215-2005 email: tecnoambiente@racsa.co.cr

FECHA: SETIEMBRE 2015

DISEÑO:
 ING. YUNIER ESPINOZA

PROFESIONAL RESPONSABLE:
 MSc. MBA. SANDRA ARREDONDO

Figura 6. Mapa ubicación de Pozos registrados en la zona de estudio, Agua Zarcas

En el Cuadro N° 4 se presenta la lista de todas Concesiones de Agua (Figura 7) y en el Cuadro N° 5 la lista de Concesiones de solo las nacientes registradas en la Dirección de Aguas del MINAE para la zona del Tucán, Agua Zarcas (Figura 8).

Cuadro N° 4. Lista de concesiones registradas en la Dirección de Aguas del MINAE para el sector de Agua Zarcas.

Exped.	Este (m)	Norte (m)	Estado	Nombre-Apellido	Fuente	Caudal (l/s)
14176-A	494552	258562	OTORGADO	FRALIMA S.A.-	1-NACIMIENTO SAN RAFAEL	2.52
14176-A	494632	258571	OTORGADO	FRALIMA S.A.-	2-NACIMIENTO SAN RAFAEL	4.16
413-R	493226	258788	INSCRITO	ASADA LINDA VISTA DE LA TESALIA CIUDAD QUESADA-	2-NACIMIENTO NAC LOS LEONES 1	7.74
7440-A	492500	258800	OTORGADO	ADILIA-JIMENEZ SOTO	1-QUEBRADA MIRANDA	0.21
16091-A	492394	258982	SOLICITUD NUEVA	SOCIEDAD DE USUARIOS DE AGUA AMIGOS UNIDOS DE LINDA VISTA DE LA -	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0
14177-A	493938	259013	OTORGADO	3-101-669898, S.A.-	1-NACIMIENTO SAN RAFAEL	1.55
413-R	493200	259100	INSCRITO	ASADA LINDA VISTA DE LA TESALIA CIUDAD QUESADA-	1-NACIMIENTO F1	18
15931-A	493221	259183	SOLICITUD NUEVA	CAÑERA LOS LEONES,SA-	1-NACIMIENTO #1	0
327-R	493200	259200	INSCRITO	ASADA DE SAN RAFAEL DE CIUDAD QUESADA-	1-NACIMIENTO F-1	1.6
5714-P	492450	259300	CANCELADO POR MOROSIDAD	ASOC. IGLESIA EVANGELICA METODISTA DE C.R.-	1-ACUIFERO	0.5
6994-A	494700	260300	CANCELADO POR MOROSIDAD	COMPAÑIA ALGA DE SAN CARLOS S.A -	2-QUEBRADA SIN NOMBRE	9.5
7222-A	494995	260300	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE 1	0
112-R	495000	260300	INSCRITO	ASADA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO DE LA PALMERA SAN CARLOS-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	26
7222-A	494995	260310	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	2-NACIMIENTO SIN NOMBRE 2	0
7222-A	494995	260311	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	3-NACIMIENTO SIN NOMBRE 3	1.91
7222-A	494995	260312	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	4-NACIMIENTO SIN NOMBRE 4	1.5
7222-A	494995	260313	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	5-NACIMIENTO SIN NOMBRE 5	2
882-R	494771	260344	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	3-NACIMIENTO N3	0
882-R	494783	260385	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	4-NACIMIENTO N4	0
8938-A	494430	260400	OTORGADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	2-NACIMIENTO SIN NOMBRE 2	4.7
4601-A	494500	260400	CANCELADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	1-NACIMIENTO NACIMIENTO SIN	0

6994-A	494600	260400	CANCELADO POR MOROSIDAD	COMPAÑIA ALGA DE SAN CARLOS S.A -	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	8
882-R	494962	260438	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	2-NACIMIENTO N2	0
882-R	494997	260438	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	1-NACIMIENTO N1	0
13587-A	494571	260458	OTORGADO	OSCAR-CHAVES ROJAS	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0.05
584-R	494650	260500	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	2-NACIMIENTO F3	5.12
8938-A	494350	260550	OTORGADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE 1	0.5
5017-A	493500	260600	CANCELADO	GANADERA ARROYO RAMIREZ S.A.-	1-DERIVACION O CANAL RIO SAN RAFAELITO	0
10258-A	496600	260800	ARCHIVAR SIN MAS TRAMITE	HIJOS DE CASTO LUNA S.A.-	1-QUEBRADA SIN NOMBRE	1.6
11354-A	496600	260800	CANCELADO POR VENCIMIENTO	ROSIBEL-LUNA HERNANDEZ	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0.23
436-R	495650	260860	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	6-NACIMIENTO F6	0
13771-A	494680	260942	OTORGADO	ARBOL AMARILLO S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0.87
2819-A	495700	261400	CANCELADO	CERDO CARIBE S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0
32-R	493273	261460	INSCRITO	AyA-SAN RAMON DE QUESADA	2-NACIMIENTO NAC TERMALES 1	2.42
32-R	493258	261483	INSCRITO	AyA-SAN RAMON DE QUESADA	3-NACIMIENTO NAC TERMALES 2	1.46
584-R	495703	261611	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	3-NACIMIENTO NAC 1 JUAN RAFAEL	2.18
584-R	495712	261624	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	4-NACIMIENTO NAC FRUIT 2Y3	1.1
436-R	493540	261650	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	1-NACIMIENTO F1	8
584-R	495700	261650	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	1-NACIMIENTO F1	0
584-R	495639	261692	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	5-NACIMIENTO NAC ROBERTO B	0
8581-A	494800	261700	CANCELADO POR VENCIMIENTO	TERMALES DEL BOSQUE T D B, S.A.-	1-NACIMIENTO TERMAL	0.2
436-R	493480	261710	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	2-NACIMIENTO F2	4
436-R	493460	261750	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	3-NACIMIENTO F3	1.5
11072-P	495000	261750	CANCELADO POR VENCIMIENTO	INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE-	1-ACUIFERO	0.35
436-R	493497	261756	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	9-NACIMIENTO NACIENTE N°3 FREDDY	8.26

Informe de la Contratación Directa N° 2015 CDS-00021-PRI, AYA

219-H	495200	261800	OTORGADO	LA REBECA DE LA MARINA S.A.-	1-QUEBRADA MAQUINA	0
602-R	493315	261825	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F3	0
602-R	493325	261825	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F1	0
602-R	493320	261830	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F2	0
602-R	493330	261835	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F4	0
436-R	493443	261847	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	7-NACIMIENTO NACIENTE N°1	5.06
436-R	493381	261861	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	8-NACIMIENTO NACIENTE N°2 FREDDY	1.82
9005-A	496365	262169	OTORGADO	INVERSIONES JACA S.A.-	1-QUEBRADA ZAPOTAL	3.44
14570-A	494224	262285	OTORGADO	ROJAS Y QUESADA DE LA MARINA DE SAN CARLOS S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE	0.02
831-H	495250	262300	CANCELADO POR VENCIMIENTO	LA REBECA DE LA MARINA S.A.-	1-QUEBRADA MAQUINA	0

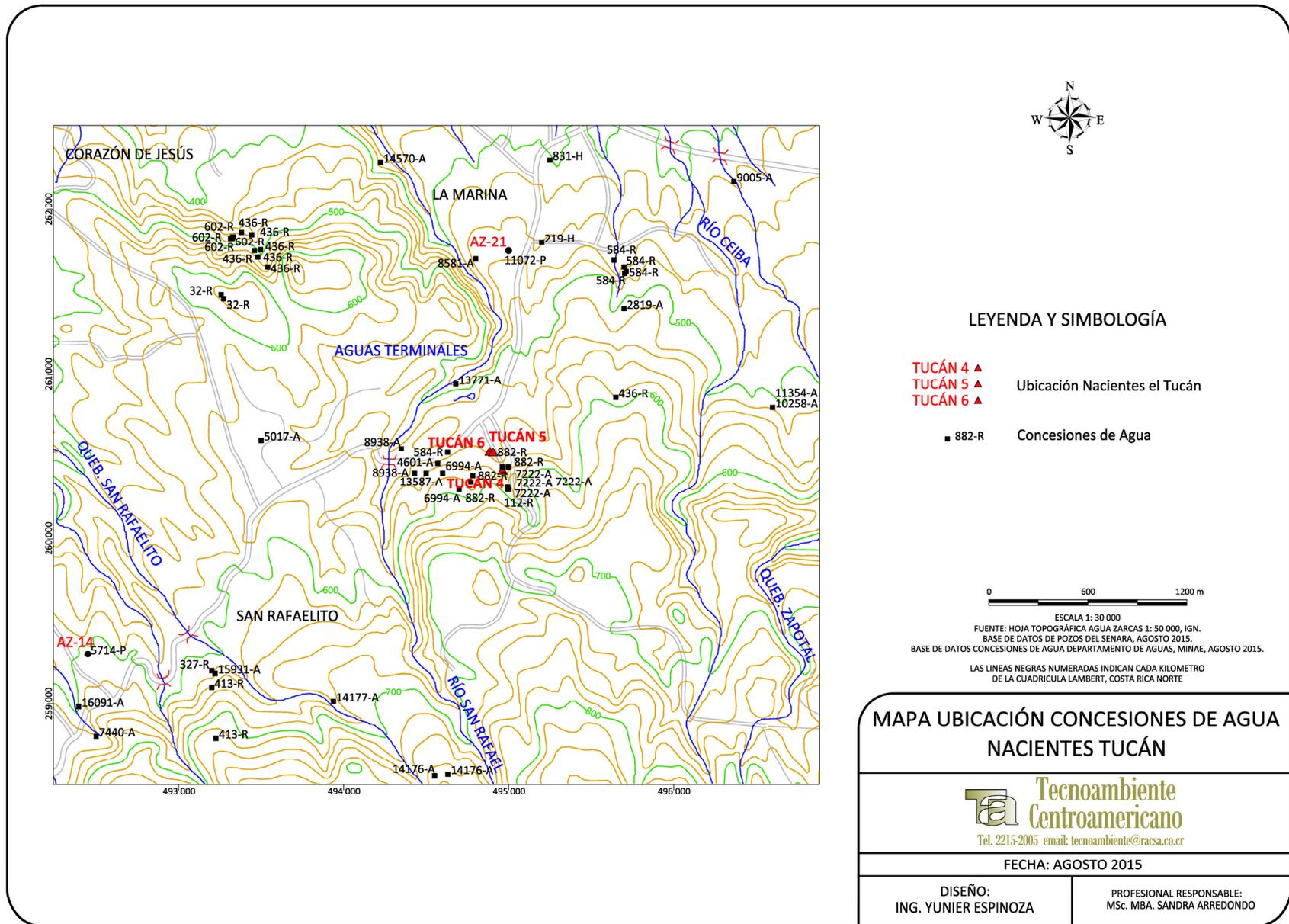


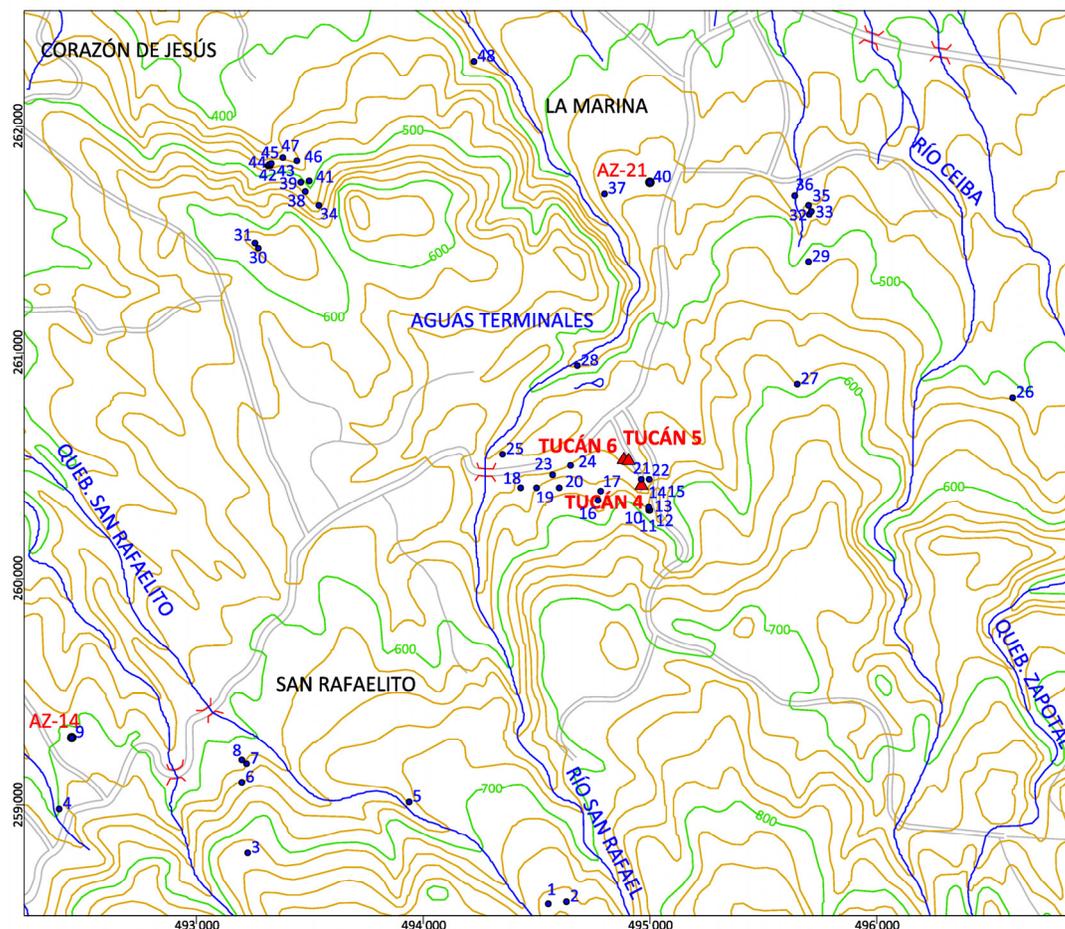
Figura 7. Mapa de Ubicación de concesiones de agua registrados en la Dirección de Aguas (Agua Zarcas).

Cuadro N° 5. Lista de concesiones registradas en la Dirección de Aguas del MINAE para el sector de Agua Zarcas, solo Nacientes.

N°	Exped.	Este (m)	Norte (m)	Altura (m)	Estado	Nombre-Apellido	Fuente
1	14176-A	494552	258562	768.5	OTORGADO	FRALIMA S.A.-	1-NACIMIENTO SAN RAFAEL
2	14176-A	494632	258571	770.0	OTORGADO	FRALIMA S.A.-	2-NACIMIENTO SAN RAFAEL
3	413-R	493226	258788	728.4	INSCRITO	ASADA LINDA VISTA DE LA TESALIA CIUDAD QUESADA-	2-NACIMIENTO NAC LOS LEONES 1
4	16091-A	492394	258982	601.7	SOLICITUD NUEVA	SOCIEDAD DE USUARIOS DE AGUA AMIGOS UNIDOS DE LINDA VISTA DE LA -	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
5	14177-A	493938	259013	665.0	OTORGADO	3-101-669898, S.A.-	1-NACIMIENTO SAN RAFAEL
6	413-R	493200	259100	641.5	INSCRITO	ASADA LINDA VISTA DE LA TESALIA CIUDAD QUESADA-	1-NACIMIENTO F1
7	15931-A	493221	259183	621.0	SOLICITUD NUEVA	CAÑERA LOS LEONES,SA-	1-NACIMIENTO #1
8	327-R	493200	259200	617.4	INSCRITO	ASADA DE SAN RAFAEL DE CIUDAD QUESADA-	1-NACIMIENTO F-1
9	5714-P	492450	259300	602.4	CANCELADO POR MOROSIDAD	ASOC. IGLESIA EVANGELICA METODISTA DE C.R.-	1-ACUIFERO
10	7222-A	494995	260300	583.5	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE 1
11	112-R	495000	260300	582.0	INSCRITO	ASADA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO DE LA PALMERA SAN CARLOS-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
12	7222-A	494995	260310	580.4	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	2-NACIMIENTO SIN NOMBRE 2
13	7222-A	494995	260311	580.3	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	3-NACIMIENTO SIN NOMBRE 3
14	7222-A	494995	260312	580.3	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	4-NACIMIENTO SIN NOMBRE 4
15	7222-A	494995	260313	580.3	OTORGADO	CONSULTORA DE BOSQUES TROPICALES S.A.-	5-NACIMIENTO SIN NOMBRE 5
16	882-R	494771	260344	577.0	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	3-NACIMIENTO N3
17	882-R	494783	260385	569.3	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	4-NACIMIENTO N4
18	8938-A	494430	260400	545.6	OTORGADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	2-NACIMIENTO SIN NOMBRE 2
19	4601-A	494500	260400	558.7	CANCELADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	1-NACIMIENTO NACIMIENTO SIN
20	6994-A	494600	260400	571.6	CANCELADO POR MOROSIDAD	COMPAÑIA ALGA DE SAN CARLOS S.A -	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
21	882-R	494962	260438	547.7	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	2-NACIMIENTO N2
22	882-R	494997	260438	554.2	INSCRITO	ASADA SAN FRANCISCO-	1-NACIMIENTO N1
23	13587-A	494571	260458	547.9	OTORGADO	OSCAR-CHAVES ROJAS	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
24	584-R	494650	260500	542.3	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	2-NACIMIENTO F3
25	8938-A	494350	260550	527.8	OTORGADO	VILLAS PLAYA DORADA S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE 1
26	11354-A	496600	260800	517.0	CANCELADO POR VENCIMIENTO	ROSIBEL-LUNA HERNANDEZ	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE

Informe de la Contratación Directa N° 2015 CDS-00021-PRI, AYA

27	436-R	495650	260860	580.3	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	6-NACIMIENTO F6
28	13771-A	494680	260942	480.0	OTORGADO	ARBOL AMARILLO S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
29	2819-A	495700	261400	506.6	CANCELADO	CERDO CARIBE S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE
30	32-R	493273	261460	620.0	INSCRITO	AyA-SAN RAMON DE QUESADA	2-NACIMIENTO NAC TERMALES 1
31	32-R	493258	261483	620.0	INSCRITO	AyA-SAN RAMON DE QUESADA	3-NACIMIENTO NAC TERMALES 2
32	584-R	495703	261611	468.8	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	3-NACIMIENTO NAC 1 JUAN RAFAEL
33	584-R	495712	261624	468.1	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	4-NACIMIENTO NAC FRUIT 2Y3
34	436-R	493540	261650	532.8	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	1-NACIMIENTO F1
35	584-R	495700	261650	460.8	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	1-NACIMIENTO F1
36	584-R	495639	261692	457.0	INSCRITO	ASADA DE LA MARINA -	5-NACIMIENTO NAC ROBERTO B
37	8581-A	494800	261700	444.1	CANCELADO POR VENCIMIENTO	TERMALES DEL BOSQUE T D B, S.A.-	1-NACIMIENTO TERMAL
38	436-R	493480	261710	514.3	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	2-NACIMIENTO F2
39	436-R	493460	261750	507.8	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	3-NACIMIENTO F3
40	11072-P	495000	261750	453.9	CANCELADO POR VENCIMIENTO	INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE-	1-ACUIFERO
41	436-R	493497	261756	497.9	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	9-NACIMIENTO NACIENTE N°3 FREDDY
42	602-R	493315	261825	473.0	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F3
43	602-R	493325	261825	474.3	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F1
44	602-R	493320	261830	471.3	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F2
45	602-R	493330	261835	470.4	OTORGADO	AyA-	163-NACIMIENTO F4
46	436-R	493443	261847	461.1	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	7-NACIMIENTO NACIENTE N°1
47	436-R	493381	261861	458.3	INSCRITO	AyA-LA PALMERA	8-NACIMIENTO NACIENTE N°2 FREDDY
48	14570-A	494224	262285	372.7	OTORGADO	ROJAS Y QUESADA DE LA MARINA DE SAN CARLOS S.A.-	1-NACIMIENTO SIN NOMBRE



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

- TUCÁN 4 ▲
 - TUCÁN 5 ▲
 - TUCÁN 6 ▲
- Ubicación Nacientes el Tucán
- 27
- Concesiones de Agua (Nacientes)

0 600 1200 m

ESCALA 1: 30 000

FUENTE: HOJA TOPOGRÁFICA AGUA ZARCAS 1: 50 000, IGN.
BASE DE DATOS DE POZOS DEL SENARA, AGOSTO 2015.

BASE DE DATOS CONCESIONES DE AGUA DEPARTAMENTO DE AGUAS, MINAE, AGOSTO 2015.

LAS LINEAS NEGRAS NUMERADAS INDICAN CADA KILOMETRO
DE LA CUADRICULA LAMBERT, COSTA RICA NORTE

MAPA UBICACIÓN CONCESIONES DE
AGUA (NACIENTES)
NACIENTES TUCÁN



Tel. 2215-2005 email: tecnoambiente@racsa.co.cr

FECHA: AGOSTO 2015

DISEÑO:
ING. YUNIER ESPINOZA

PROFESIONAL RESPONSABLE:
MSc. MBA. SANDRA ARREDONDO

Figura 8. Mapa de Ubicación de concesiones de agua registrados en la Dirección de Aguas, solo Nacientes (Agua Zarcas).

3.3 MANANTIALES EN EL TUCÁN, AGUA ZARCAS

La hidrogeología de la zona y las curvas isofreáticas que definen la dirección del flujo del sistema acuífero existente en la zona, se basó en la información recabada en campo, en los datos pozos y nacientes registradas en el Archivo de SENARA, así como en las concesiones reportadas en la Dirección de Aguas del MINAE.

El acuífero local se alberga en las lavas y brechas lávicas que a su vez presentan niveles de espesores variables de tobas (promedio 4 m) que permiten el afloramiento de nacientes en diferentes niveles de la columna volcánico estratigráfica de la zona.

El acuífero se encuentra cubierto por una capa de suelo que en promedio se estima en 3 m, por lo que el acuífero se cataloga como libre cubierto.

La dirección de la red de flujo muestra obtenida a través de la definición de las curvas isofreáticas es de sureste a noroeste, con una gradiente promedio de 0,1897, misma que fue calculada a partir de:

- Gradiente naciente Tucán 4, Isofreática 575 m.s.n.m y Altura Tucán 4, 554 m.s.n.m = 21 m, distancia horizontal 115,507 m, gradiente 0,1817 (ver Fotografía 6).
- Gradiente naciente Tucán 5, Isofreática 575 m.s.n.m y Altura Tucán 5, 539,96 m.s.n.m = 35,04 m, distancia horizontal 178,839 m, gradiente 0,1959 (ver Fotografía 7).
- Gradiente naciente Tucán 6, Isofreática 575 m.s.n.m y Altura Tucán 6, 539,97 m.s.n.m = 35,03 m, distancia horizontal 182,923 m, gradiente 0,1916 (ver Fotografía 8).



Fotografía 6. Naciente Tucán 4.



Fotografía 7. Naciente Tucán 5.



Fotografía 8. Naciente Tucán 6.

La delimitación de las isofreáticas en el acuífero consideró los siguientes criterios técnicos:

- a. Son acuíferos libres cubiertos por suelo que en promedio presentan un espesor de unos 3 m.
- b. Se albergan en coladas y brechas lávicas que modelan la topografía de la zona.
- c. Los acuíferos mantienen la dirección de flujo y la superficie freática con base en la topografía actual.
- d. Las Nacientes existentes que descargan el mismo acuífero son tomadas en cuenta como puntos de nivel de agua para la delimitación de las curvas equipotenciales.

A partir de estos criterios, las curvas isofreáticas fueron delimitadas para el acuífero tomando en cuenta todos los criterios técnicos indicados anteriormente y además las alturas de los niveles de cada naciente, con el fin de contar con la mayor cantidad de puntos de nivel de agua subterránea y considerando la topografía actual (Figura 9).

Con base en ello, se elaboraron los perfiles hidrogeológicos (Figura 10), tomando en cuenta la delimitación del contacto entre las coladas de lava y el acuitardo de tobas meteorizadas a partir del mapeo de campo.

Como parte de las observaciones de campo, se identificó que las lavas basálticas sobreyacen a los piroclastos y brechas manteniendo una comunicación hidráulica entre ellos que permite que el acuífero fluya con rumbo norte-sur hasta descargar en forma de nacientes debido a un manejo estructural por fallas que existen en la zona donde se ubican estos brotes de agua y por un contacto no conforme con una base de tobas meteorizadas que permite mantener el nivel freático en estos materiales volcánicos.

Por otro lado, la vulcano-estratigrafía que alberga al acuífero local está cubierta con una capa de suelo meteorizado que en promedio tiene unos 3 metros de espesor.

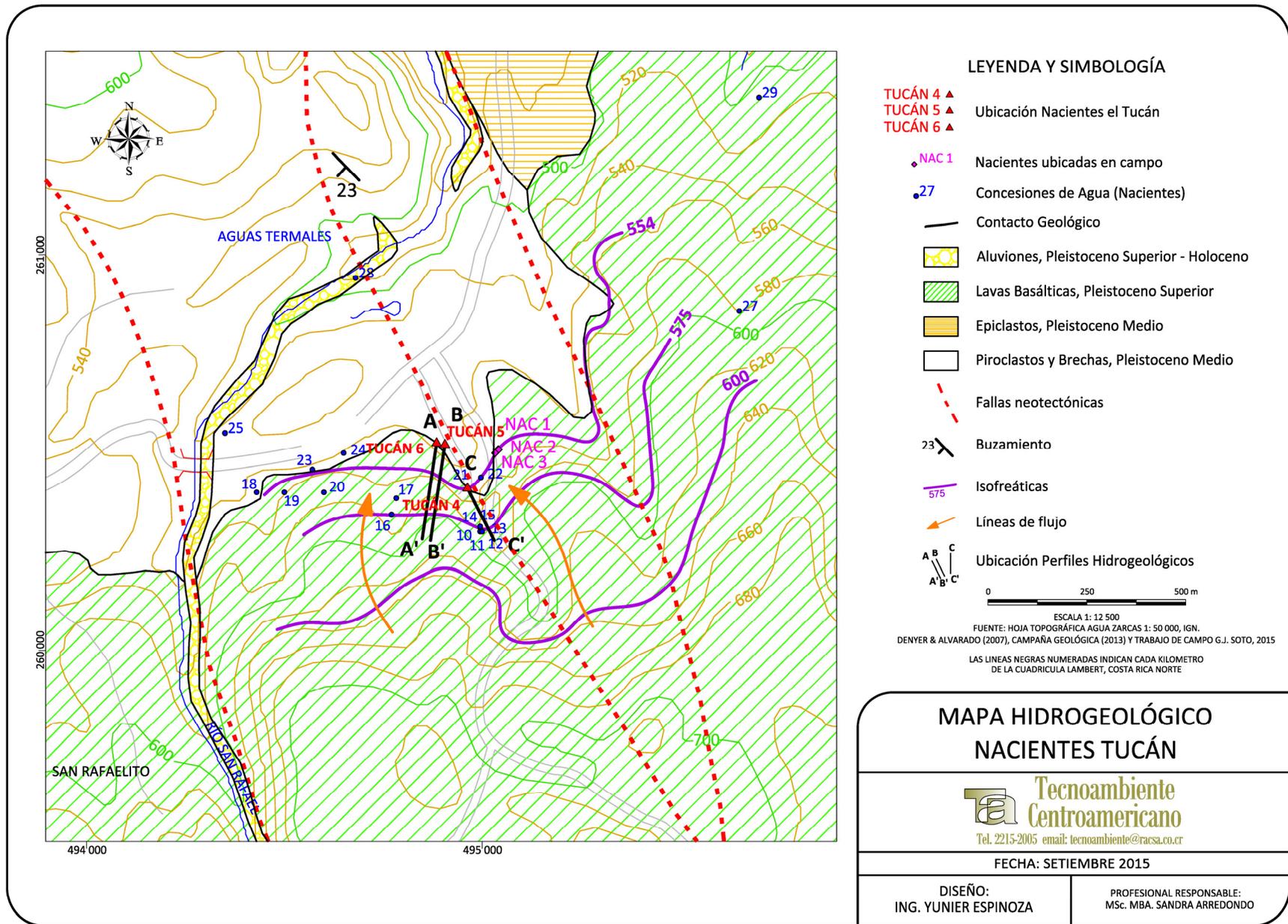


Figura 9. Mapa hidrogeológico y ubicación de los perfiles hidrogeológicos.

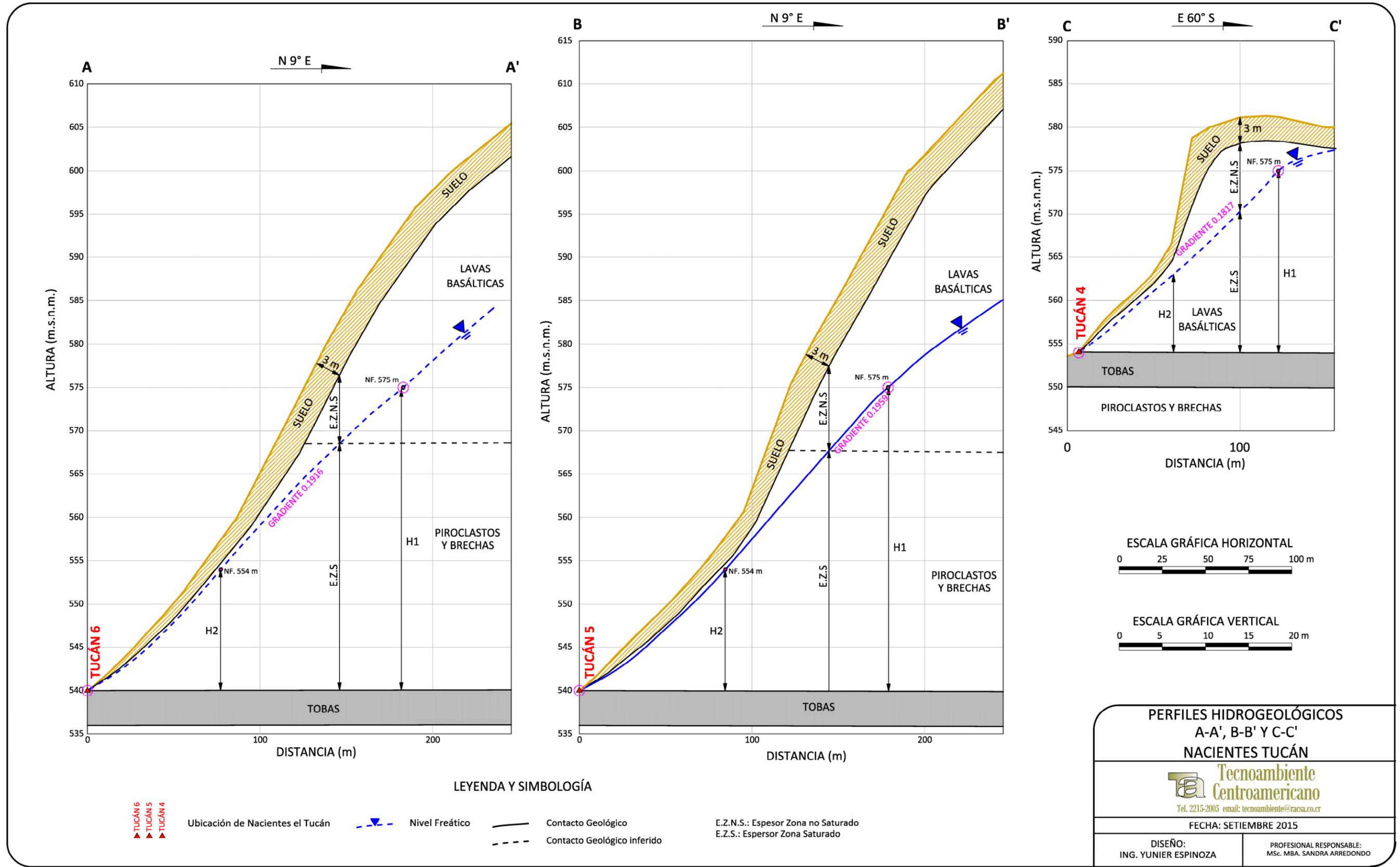


Figura 10. Perfiles hidrogeológicos A-A', B-B' y C-C'.

4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS

4.1 NACIENTES EL TUCÁN

Los resultados obtenidos de porosidad con el laboratorio del INTA y permeabilidad en el campo para las nacientes de la zona de Agua Zarcas, se presentan en el Cuadro N° 6 y Cuadro N° 7 (Anexo N° 2 y Anexo N° 3). Las ubicaciones de las pruebas de permeabilidad que coinciden con los puntos de muestreo se presentan en el mapa de la Figura 11.

Cuadro N° 6. Resultados de porosidad (Laboratorio INTA)

N° Muestra	Punto de muestreo para cada naciente	Porosidad (%)
Tucán 4	Tucán 4-P1	48,66
Tucán 5	Tucán 5-P1	47,45
Tucán 6	Tucán 6-P1	51,24
	Promedio	49,11

Cuadro N° 7. Resumen Pruebas de Permeabilidad para el sector de Agua Zarcas.

PUNTO	MUESTRA	PERMEABILIDAD (m/d)	ESTE (m)	NORTE (m)	FOTO
Tucán 4	Tucán 4-P1	0,0743	494974	260406	
Tucán 5	Tucán 5-P2	0,7101	494907	260516	

Tucán 6	Tucán 6-P3	0,0322	494879	260519	
Prueba P4	Tucán-Prueba P4	0,0407	494835	260463	
Prueba P5	Tucán – Prueba P5	0,8143	494913	260454	

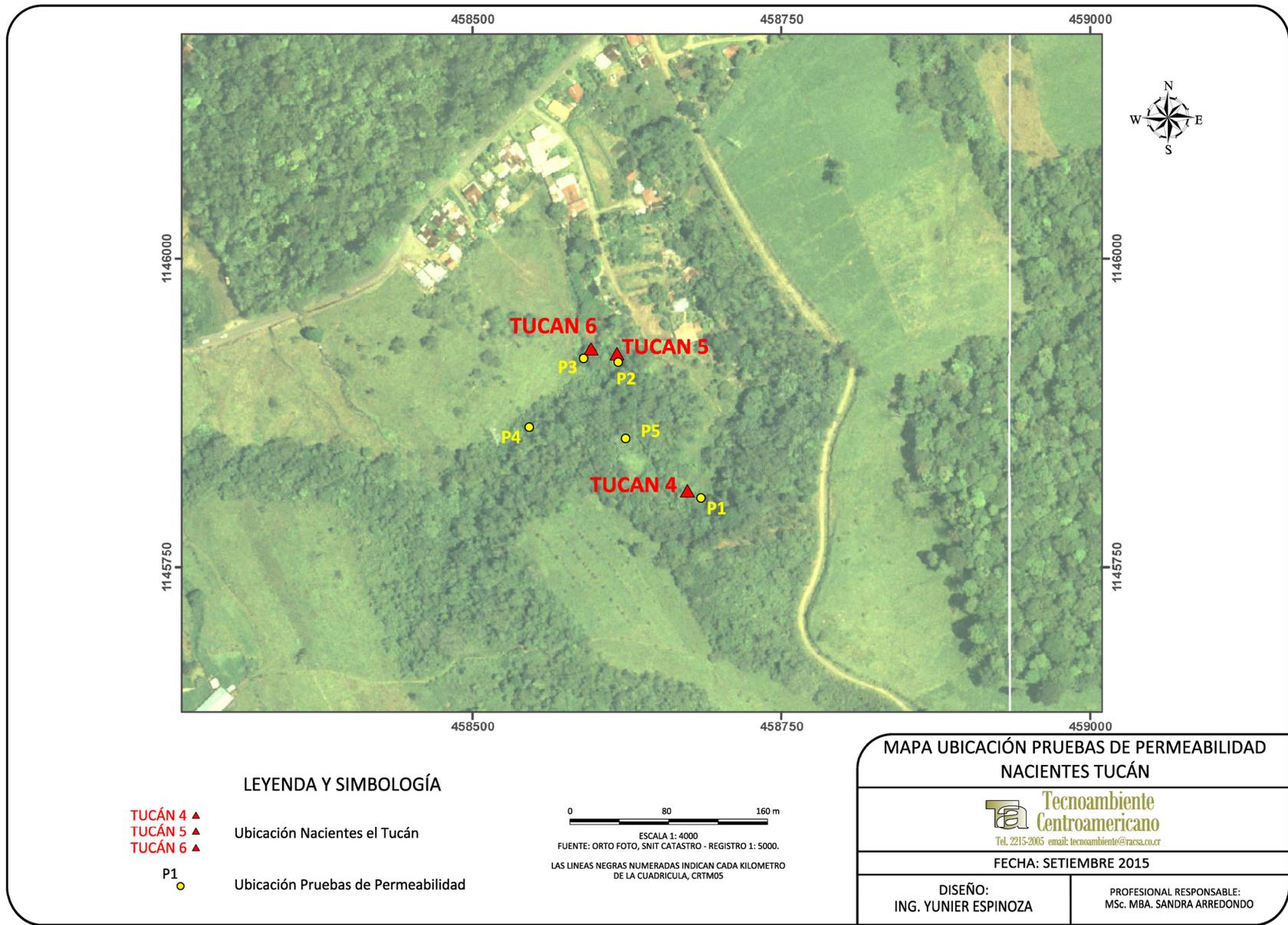


Figura 11. Ubicación Pruebas de Permeabilidad el Tucán - Agua Zarcas.

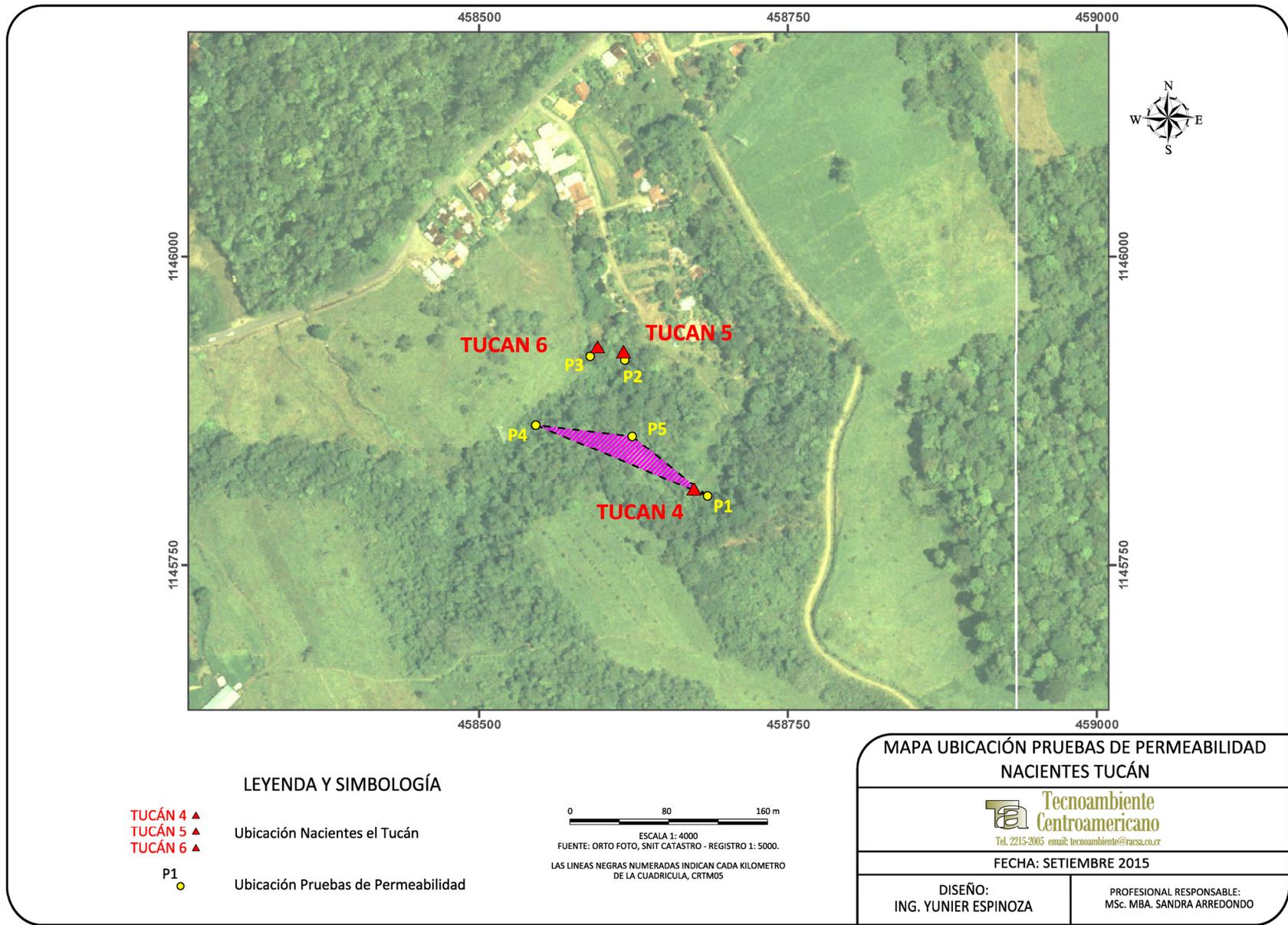


Figura 12. Ubicación Pruebas de Permeabilidad utilizadas para el Tucán 4- Agua Zarcas.

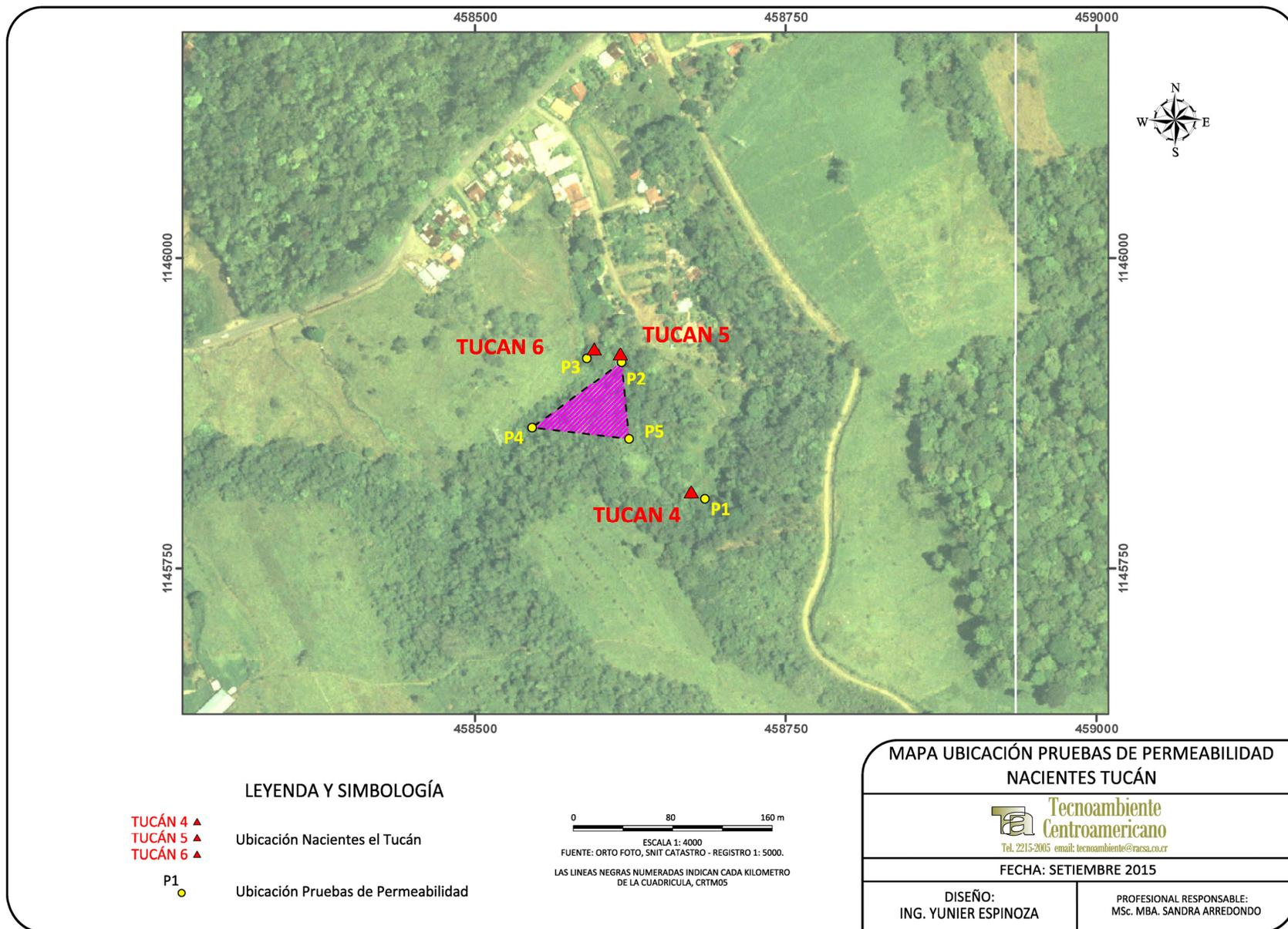


Figura 13. Ubicación Pruebas de Permeabilidad utilizadas para el Tucán 5- Agua Zarcas.

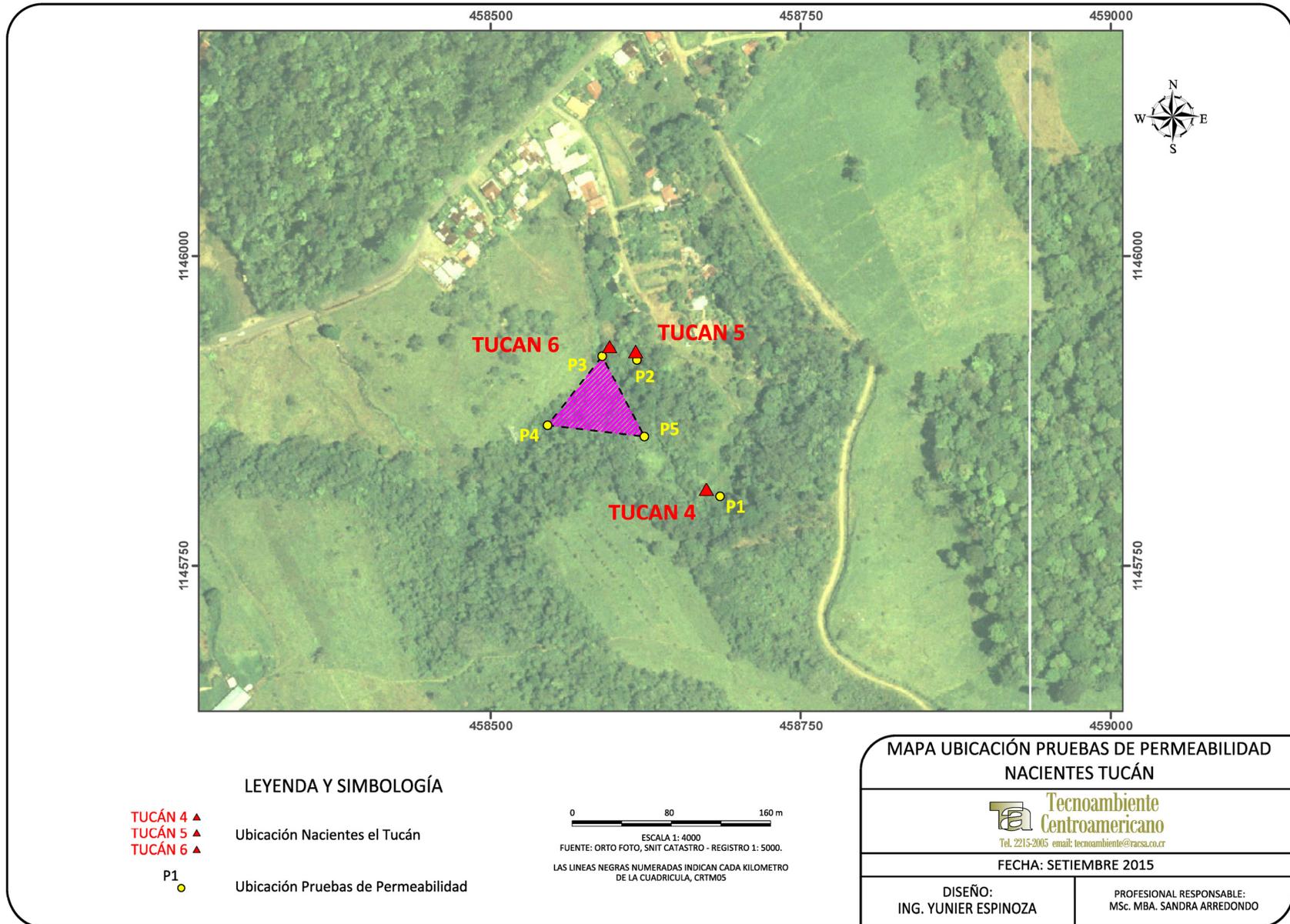


Figura 14. Ubicación Pruebas de Permeabilidad utilizadas para el Tucán 6- Agua Zarcas.

5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

En la zona donde se ubican las nacientes El Tucán 4,5 y 6, se identificó un acuífero albergado en las lavas y brechas lávicas que permiten el brote de varias nacientes por contacto geológico con niveles tobáceos meteorizados de espesor variable.

El acuífero presenta una dirección de flujo con un rumbo de sureste a noroeste con una gradiente promedio de 0,189.

El acuífero local se alberga en las lavas basálticas y los piroclastos y brechas, debido a que presentan comunicación hidráulica entre ellos, situación que se verificó con base en el trabajo de campo realizado, por otro lado, las nacientes brotan debido a una situación estructural, ya que las fallas neotectónicas existentes permiten su afloramiento porque queda expuesto el contacto basal que mantiene este nivel de agua debido a una capa de tobas meteorizadas.

Este acuífero es de carácter libre cubierto ya que presenta una cobertura de suelo de espesor promedio de 3 m que cubre a las lavas basálticas y a las brechas y piroclastos en los sectores donde brotan las nacientes. Las brechas y lavas se pueden encontrar bien expuestas en los cauces de los ríos.

Algunas nacientes en la zona presentan características de fuentes termales, que son captadas para fines recreacionales.

Los parámetros hidráulicos son tomados de la literatura internacional y de análisis en acuíferos similares realizados en investigaciones hidrogeológicas previas, con base en ello, la porosidad de los acuíferos lávicos es tomada de los valores obtenidos de pruebas realizadas en acuíferos similares (Ellos, A, 1983), en 10% y la permeabilidad promedio de los acuíferos lávicos de buen rendimiento tomado de la literatura internacional (Custodio & Llamas, 1984, figura 8.16B, pg. 473) y concordantemente conocido en el país para acuíferos lávicos similares (Gómez, A, 1987) es de 10 m/día.

Para la zona no saturada se tomaron muestras de suelos que se analizaron en el INTA, obteniéndose un una porosidad promedio de 49,11 % y la permeabilidad se obtuvo aplicando el método de Porchet, para obtener un valor promedio de 0,3343 m/día.

Los caudales se tomaron a partir de información aportada por el jefe de Cuadrilla Carlos Hernández del AyA y se presentan en el Cuadro N° 8 (Anexo N° 1).

Cuadro N° 8. Caudales registrados por AyA

Naciente	Caudal (l/s) *3 Setiembre 2015	Caudal (m³/d) *3 Setiembre 2015
Tucán 4	20.00	1728
Tucán 5	11.02	952
Tucán 6	39.55	3417

* Los aforos fueron realizados por personal del AyA el 3 de Setiembre del 2015, comunicación personal por el jefe de cuadrilla Carlos Hernández (Anexo N° 1).

Cuadro N° 9. Parámetros hidráulicos de los acuíferos del sector de Agua Zarcas (Zona Saturada), obtenidos a partir de literatura internacional y valores en acuíferos lávicos similares en investigaciones hidrogeológicas del país.

Naciente N°	Porosidad (%)	Permeabilidad (m/día)	Espesor saturado promedio(m) tomado de los perfiles hidrogeológicos de la Figura 10	Transmisividad (m²/d)
Tucán 4	10	10	16,32	163,2
Tucán 5	10	10	27,73	277,3
Tucán 6	10	10	28,43	284,3

6 ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES

6.1 NACIENTES EL TUCÁN, AGUA ZARCAS

6.1.1 MÉTODO DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE DEGRADACIÓN DE BACTERIAS

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

$$Q = TIL$$

$$L = Q/Ti$$

En el Cuadro N° 10, se resumen los datos hidráulicos para el cálculo de L para cada una de las nacientes:

Cuadro N° 10. Resumen de los datos hidráulicos para el cálculo de L por el método de Darcy

Naciente N°	Transmisividad (m ² /d)	Gradiente (adimensional)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /día)	L (ancho del tubo de flujo) (m)
Tucán 4	163,2	0,1817	20.00	1728	58
Tucán 5	277,3	0,1959	11.02	952	18
Tucán 6	284,3	0,1916	39.55	3417	63

Considerando que el tiempo de residencia máxima de bacterias patógenas para flujos fisurados es de 100 días, se calcula el tiempo de tránsito para la zona no saturada de la siguiente forma:

$$t = (b * \theta) / k$$

Donde

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

Entonces se tiene que:

Cuadro N° 11. Resultados Tiempos de Tránsito vertical para la ZNS del suelo residual

Naciente N°	Espesor ZNS (b) del suelo residual (m) (Indicado en el perfil)	Θ INTA (Fracción de %)	K Pruebas de Porchet en el suelo meteorizado (m/d)	t (tiempo de tránsito vertical) días
Tucán 4	3	48,66	0,0743*	19,64
Tucán 5	3	47,45	0,7101**	2,00
Tucán 6	3	51,24	0,2957***	5,98

Nota:

Con base en las ubicaciones de las nacientes y las pruebas de permeabilidad, se promediaron las que son representativas para cada naciente con el fin de utilizarlas en los cálculos:

* Valor promedio de permeabilidad utilizando las Pruebas P1, P4 y P5 (Figura 12).

** Valor promedio de permeabilidad utilizando las Pruebas P2, P4 y P5 (Figura 13).

*** Valor promedio de permeabilidad utilizando las Pruebas P3, P4 y P5 (Figura 14).

Cuadro N° 12. Resultados Tiempos de Tránsito vertical para la ZNS en lavas y brechas

Naciente N°	Espesor ZNS (b) de lavas y brechas (m) (Indicado en el perfil)	Θ INTA (Fracción de %)	K Promedios para lavas y brechas (m/d)	t (tiempo de tránsito vertical) días
Tucán 4	7,84	10	10	0,078
Tucán 5	9,77	10	10	0,097
Tucán 6	7,94	10	10	0,079

Como el tiempo tránsito para medios fisurados se ha estimado en 100 días (Lewis, Foster y Drassar, 1992 en Rodríguez, H, 1994), se observa que al hacer el cálculo para la zona no saturada (ZNS) y el tiempo de tránsito vertical el valor en días NO supera los 100 día para la degradación de las bacterias patógenas, por ese motivo, se calculará el tiempo de tránsito en la zona saturada (ZS) para eliminar las bacterias y conocer la zona de protección absoluta de cada naciente, tomando en cuenta la diferencia entre 100 menos los días obtenidos en la zona no saturada para cada una, que se presenta en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13. Diferencia entre los 100 días menos los obtenidos del cálculo de la ZNS.

Naciente N°	Tiempo de transito obtenido de la ZNS (días)	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)
Tucán 4	19,720	80,280
Tucán 5	2,097	97,903
Tucán 6	6,059	93,941

La fórmula de Darcy establecida para este cálculo en la Zona Saturada (ZS) es:

$$t = (d * \Theta) / (k * i)$$

de la fórmula se despeja "d" :

$$d = (t * k * i) / \Theta$$

donde:

Naciente No.	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)	Θ Acuífero (Ann Ellis, 1983) (Fracción de %)	K Permeabilidad de los acuíferos lávicos (m/d)	Gradiente del acuífero para cada naciente (adimensional)	Distancia de la zona de protección inmediata Método Bacterias (m)
Tucán 4	80,280	0,10	10	0,1817	1458,7
Tucán 5	97,903	0,10	10	0,1959	1917,9
Tucán 6	93,941	0,10	10	0,1916	1799,9

Las zonas de protección obtenidas con base en el método de las bacterias presenta áreas muy amplias obtenidas a partir de datos que brindan sobredimensionamiento de la condición real, por tal motivo se continuará con el análisis de las zonas de protección utilizando otros métodos de evaluación que considera otros parámetros hidráulicos.

6.1.2 MÉTODO DEL RADIO FIJO

Para calcular el radio fijo de la naciente analizada, se utiliza la fórmula (F-1) que fueron publicadas en el diario oficial La Gaceta N° 147 del 31 de julio del 2012. En estas metodologías en el artículo 11, tomando en cuenta la zona de captura con base en la ecuación analítica de Darcy, con base en el siguiente planteamiento:

$$r = (Qt / \pi * n * b)^{0,5} \text{(fórmula F-1)}$$

Dado que:

- Q= caudal de cada naciente en m³/d.
- t= días remanentes luego del cálculo de la zona no saturada (ZNS).
- n= porosidad de las rocas que albergan al acuífero (con base en Ellis, A, 1983, se obtuvo un valor de porosidad para las lavas de 10%.)
- b= espesor saturado promedio del acuífero para cada naciente, tomado a partir de los perfiles hidrogeológicos elaborados

$$r = (Qt/\pi*n*b)^{0,5} \text{(fórmula F-1)}$$

Cuadro N° 14. Resumen de datos y resultados Método Radio Fijo

Naciente N°	Caudal (m ³ /d)	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)	N Porosidad del acuífero (%)	b Espesor saturado del acuífero para cada naciente (m)	Distancia de la zona de protección inmediata Método Radio Fijo (m)
Tucán 4	1728	80,280	10	16,32	164,4
Tucán 5	952	97,903	10	27,73	103,4
Tucán 6	3417	93,941	10	28,43	189,5

6.1.3 MÉTODO DE GRUBB

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

$$Y_{\max} = Q L / (k(h_1^2 - h_2^2))$$

Para cada naciente se presenta el resumen del valor obtenido:

Cuadro N° 15. Resultados por medio del Método Grubb.

Naciente N°	Caudal Promedio de cada naciente (m ³ /d)	L Longitud entre dos puntos de observación del NF (m)	K Conductividad hidráulica del acuífero (m/d)	h1	h2	h1 ² -h2 ²	Y (max) m
Tucán 4	1728	60,823	10	21,051	8,995	362,23	29,02
Tucán 5	952	94,670	10	35,132	14,004	1037,89	8,68
Tucán 6	3417	104,695	10	34,761	13,943	1013,92	35,28

En el Cuadro N° 16, Figura 15 y Figura 16, se presenta el resumen de las zonas de protección obtenidos por diferentes métodos:

Cuadro N° 16. Zonas de protección absoluta por diferentes métodos para las nacientes.

MÉTODO	Tucán 4	Tucán 5	Tucán 6
Tiempo de tránsito de degradación de bacterias	1458,4	1917,9	1799,9
Radio fijo	164,4	103,4	189,5

Valor obtenido con el método Grubb:

Naciente N°	L (ancho del tubo de flujo) (m)
Tucán 4	29,02
Tucán 5	8,68
Tucán 6	35,28

El ancho de la zona de captura definido por el método de Darcy, para cada naciente es de:

Cuadro N° 17. Ancho de Captura Método de Darcy

Naciente N°	L (ancho del tubo de flujo) (m)
Tucán 4	58
Tucán 5	18
Tucán 6	63

Con base en el análisis realizado a partir de los valores hidráulicos y trabajo de campo realizado, se considera que la zona de protección recomendada para las nacientes es aplicando el método del radio fijo y el ancho por medio del método de Darcy, de la siguiente forma:

La naciente Tucán 4, tiene un ancho de Zona de Captura de 58 m y una Zona de Protección inmediata de 164,4 m.

La naciente Tucán 5, tiene un ancho de Zona de Captura de 18 m y una Zona de Protección inmediata de 103,4 m.

La naciente Tucán 6, tiene un ancho de Zona de Captura de 63 m y una Zona de Protección inmediata de 189,5 m.

Con base en la geología de campo realizada se recomienda mantener un área bajo el brote de 5 m como medida de prevención, aunque las nacientes por su características no incluyen un punto de no retorno, sin embargo esta zona aguas abajo del brote es para protección operativa.

Además se ha definido una zona operacional de 15 m aguas arriba y a los lados de cada fuente con base a Foster et al, 2003.

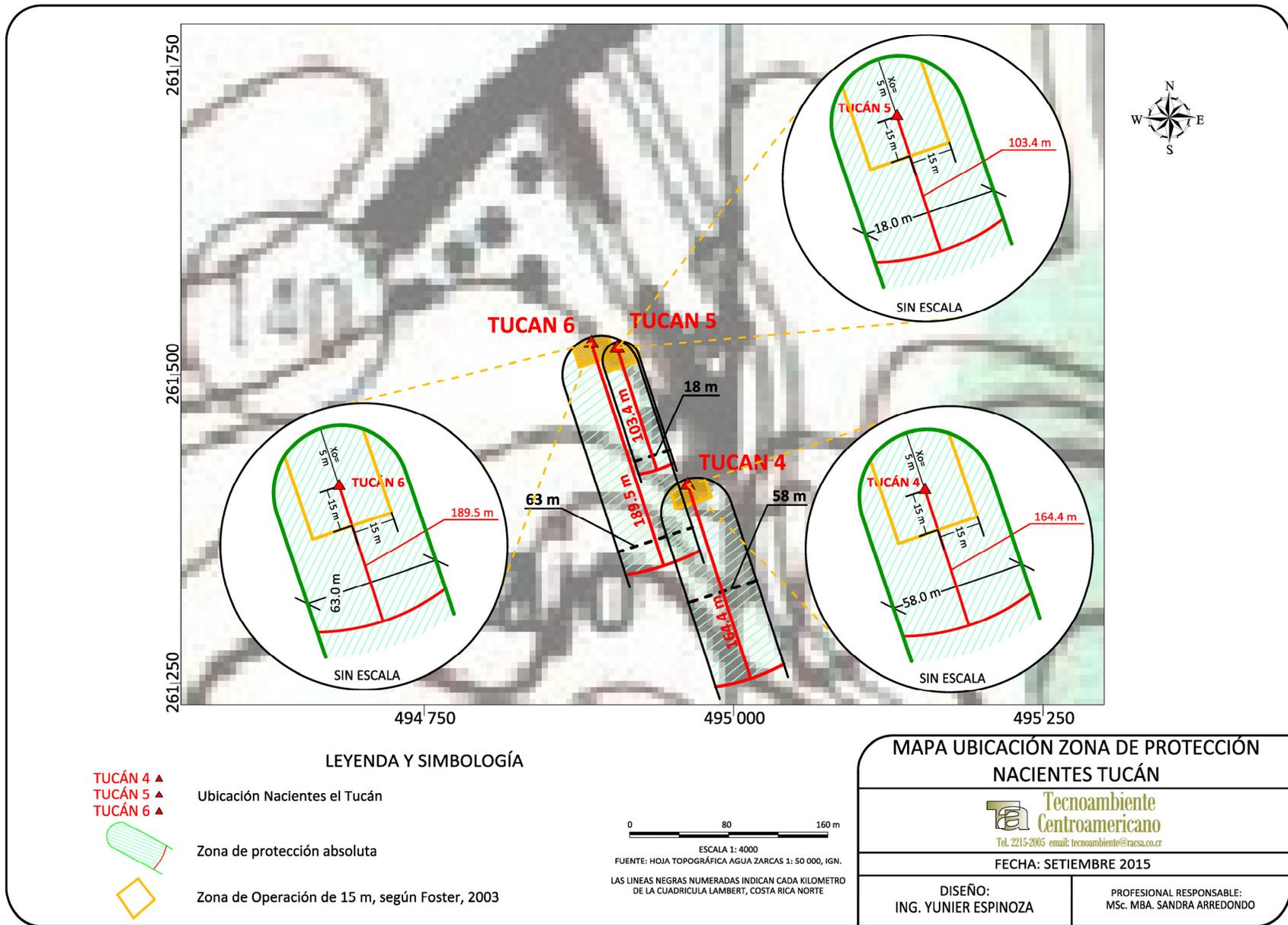


Figura 15. Ubicación Zona de protección de las Nacientes.

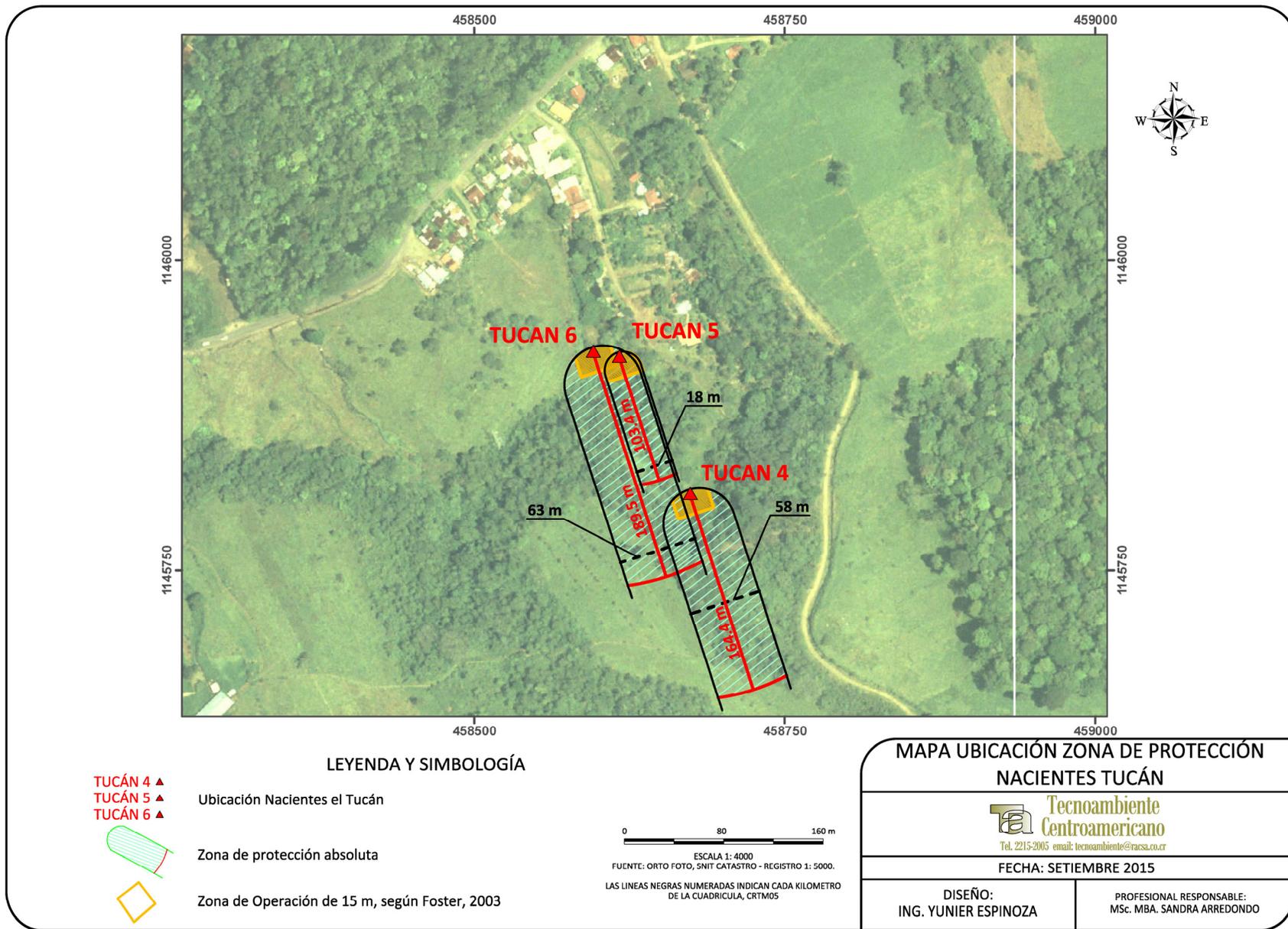


Figura 16. Ubicación Zona de protección de las Nacientes (Orto Foto).

7 CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES

En el Anexo N° 4 se adjuntan los resultados físico químicos y bacteriológicos que hay disponibles en el Laboratorio Nacional de Aguas del AYA, con base en la información existente en el momento del desarrollo del estudio, con los últimos reportes presentados que se muestrearon el 3 y el 9 de septiembre del 2015, se observa que físico-químicamente, en las tres nacientes se registra concentraciones por debajo de la norma de Arsénico, no hay reportes de otros metales pesados ni valores por encima de la norma en otros elementos ni compuestos químicos.

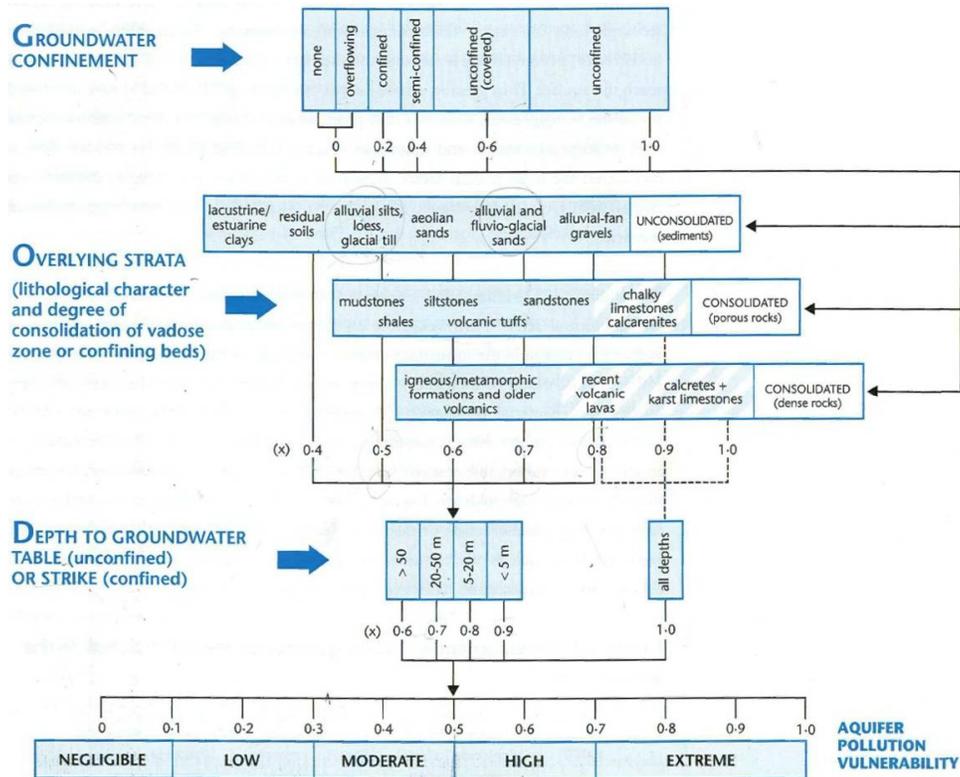
La naciente que reporta la mayor concentración de arsénico, sin pasar por encima del valor máximo permisible es la Tucán 4, con un promedio de 1,25 µg/l o ppb, el valor registrado promedio para la naciente Tucán 5 es de 0,8 µg/l y el valor promedio para la naciente Tucán 6 es de 0,85 µg/l.

El único valor reportado para bacteriológico es el de la naciente Tucán 4 ya que es la única captada las otras dos nacientes no están captadas.

Se puede concluir que la condición de calidad del agua en la actualidad es aceptable en todas las fuentes al momento de la elaboración del presente estudio, no obstante es recomendable realizar muestreos para análisis por lo menos bimensuales, tanto físico-químicos como bacteriológicos para mantener un control de variaciones de parámetros, elementos y compuestos para verificar la potabilidad en el tiempo, esto por cuanto la zona se ubica en un sector con alteración y actividad hidrotermal que a futuro podría modificar las condiciones actuales en cuanto a la concentración de elementos y compuestos naturales en el agua, por lo que se desconoce el comportamiento de la concentración de arsénico a futuro, por la misma actividad hidrotermal existente.

8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD CON EL MÉTODO GOD

A continuación se presenta el análisis, para determinar su condición de vulnerabilidad siguiendo el método GOD (Figura 17).



Fuente: Foster, et al, 2002.

Figura 17. Diagrama determinación de vulnerabilidad acuífera

8.1 ACUÍFERO VOLCÁNICO FISURADO EN LAVAS Y BRECHAS NACIENTES TUCÁN 4, TUCÁN 5 Y TUCÁN 6.

Las condiciones para el análisis de vulnerabilidad son similares en las tres nacientes por eso el cuadro de evaluación GOD aplica para las tres nacientes)

Clasificación GOD	Descripción del factor	Valor asignado	Tipo de vulnerabilidad
Grado de confinamiento	No confinado cubierto	0.8	Moderado
Tipo de característica litológica de la zona no saturada	Tobas que generaron un suelo residual	0.6	
Profundidad del nivel freático (promedio cerca de la naciente)	<5 m	0.9	
Evaluación de vulnerabilidad	0,432		

En la Figura 18, se presenta el mapa de vulnerabilidad acuífera para la zona de estudio.

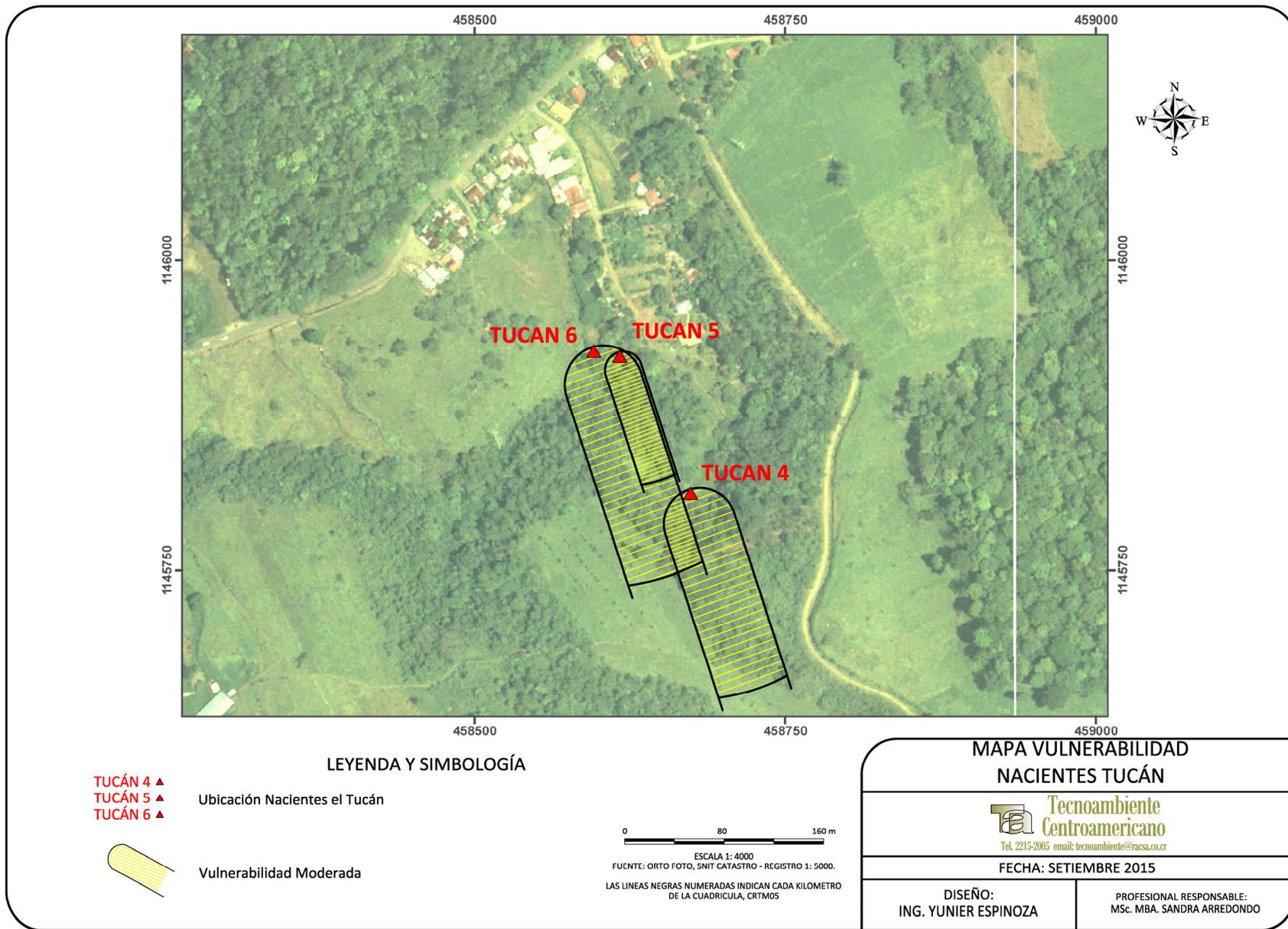


Figura 18. Vulnerabilidad de la zona de protección de las nacientes.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la zona donde se ubican las nacientes Tucán 4, Tucán 5 y Tucán 6, se ha definido un acuífero fisurado que se alberga en lavas y brechas lávicas y que descargan en forma de nacientes o manantiales y en los cuales se distribuyen las fuentes analizadas.

El acuífero brota por contacto geológico entre las lavas fracturadas y brechas con capas de tobas meteorizadas de espesores pequeños (aprox. 4 m) que se localizan entre eventos de coladas de brechas y coladas de una misma Unidad, por formación de paleosuelos generados entre los diferentes emplazamientos de los grupos de coladas en diferentes tiempos geológicos.

Las zonas de protección para cada naciente varían con base en las diferencias entre sus caudales y parámetros hidráulicos. Las dimensiones de las zonas de protección para cada naciente analizada son: naciente Tucán 4, ancho zona de captura 58 m, zona de protección inmediata 164,4 m; naciente Tucán 5, ancho zona de captura 18 m, zona de protección inmediata 103,4 m; naciente Tucán 6, ancho zona de captura 63 m, zona de protección inmediata, 189,5 m.

Para todos los casos se ha identificado una zona operacional como un radio de 15 m alrededor de cada naciente, a partir de normativa internacional asumida para este análisis y una zona de prevención de 5 m aguas abajo de cada una. La vulnerabilidad analizada a partir del método GOD para cada naciente, demuestra que la zona de protección inmediata presenta una categoría de vulnerabilidad media.

Se recomienda realizar análisis de calidad de aguas y mediciones de caudales por lo menos bimensuales para monitorear el comportamiento de los manantiales a lo largo del año hidrológico y verificar si se mantiene su calidad en el tiempo debido a que al momento de realizar el estudio, los reportes de calidad físico-químico registran presencia de arsénico, aunque por debajo del límite máximo permisible, pero porque las nacientes se ubican en un ambiente volcánico con actividad hidrotermal en los alrededores, puede haber variación en el tiempo de algunos parámetros, elementos o compuestos químicos.

En la zona de protección absoluta no se recomienda realizar actividades tipo agrícolas, pecuarias, ubicación de tanques sépticos, actividad industrial y extracción de rocas y suelos ya que pueden afectar la calidad de las aguas de la naciente por rápida infiltración y por escorrentía superficial.

10 REFERENCIAS

- Acuña, A.L., Aguilar, I., Araya, C.D., Barrantes, G., Campos, F., Caravaca, J.D., Castro, J., Chamorro, C., Chavarría, N., Escobedo, D., Fallas, M., García, A., Miller, R., Salas, L.A., Sedó, A., Sequeira, J., Solís, J., Suárez, C., Vargas, J.D. & Villalobos, G., 2014: Informe geológico integral de la parte suroeste de la hoja topográfica Aguas Zarcas y noroeste de la hoja Quesada, escala 1: 50 000. – Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica 2014, vii + 47 págs. + anexos.
- Alfaro, A., Araya, M., Cambronero, L., Carmona, T., Cascante, A., Fernández, D., Gómez, C., Martínez, A., Montero, A., Murillo, F., Oviedo, J., Rodríguez, J.M., Santamaría, R., Sojo, D., Ureña, G. & Vargas, L., 2013: Informe geológico integral de una parte de la hoja topográfica Aguas Zarcas, escala 1:50 000. – Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, Campaña Geológica 2013. 85 + x págs. + apéndices.
- Alvarado, G.E. & Gans, P.B., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. – Revista Geológica de América Central, 46: 7-122.
- Alvarado, G.E., Soto, G.J., Salani, F.M., Ruiz, P. & Hurtado de Mendoza, L., 2011: The formation and evolution of Hule and Río Cuarto maars, Costa Rica.- Journal of Volcanology and Geothermal Research, 201: 342-356.
- Denyer, P. & Alvarado, G.E., 2007: Mapa geológico de Costa Rica. – Escala 1:400 000. Librería Francesa S.A., San José.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. – Editorial de la Universidad de Costa Rica, 81 págs.
- Departamento de Aguas del MINAE, Agosto 2015, Base de datos de Concesiones y Pozos Registrados.
- Gazel, E., Alvarado, G.E., Obando, J. & Alfaro, A., 2005: Evolución magmática del arco de Sarapiquí, Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 32: 13-31.
- Malavassi, E. & Madrigal, R., 1970: Reconocimiento geológico de la Zona Norte de Costa Rica. – Dirección de Geología, Minas y Petróleo, Informes Técnicos y Notas Geológicas, Año IX, N° 38, 18 págs.
- Montero, W., Soto, G.J., Alvarado, G.E. & Rojas, W., 2010: División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica. – Revista Geológica de América Central, 43: 13-36.
- Poncia, C., 1993: Il complesso alcalino-subalcalino Platanar-Aguas Zarcas (Costa Rica): genesi e relazioni tettoniche e vulcanismo. – 79 págs. Università degli Studi di Milano [Tesis de Laurea].
- SENARA, Agosto 2015, Base de datos de pozo.
- Soto, G.J. & Alvarado, G.E., 1989: Procesos volcánicos asociados con el agua subterránea. El caso de los volcanes Arenal y Poás, Costa Rica. – Memoria del III Congreso Nacional de Recursos Hídricos, nov. 1989, San José, 249-261.
- Zimmer, M.M., Fischer, T.P., Milton, D.R., Alvarado, G.E., Sharp, Z.D. & Walter, J.A., 2004: Nitrogen systematics and gas fluxes of subduction zones: Insights from Costa Rica arc volcanites. – Geochemistry Geophysics Geosystems, 5, Q05J11, doi:10.1029/2003GC000651.

ANEXO N° 1

DATOS DE CAUDAL APORTADOS POR EL AyA

ANEXO N° 2
RESULTADOS LABORATORIO DEL
INTA, MAG

 <p style="font-size: small;">Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</p>	<p>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS</p> <p>Laboratorio de Suelos</p> <p>Tel-Fax: 2278-0514; e-mail: labsuelos@inta.go.cr</p>	<p>LDS F 17</p>  <p>sector AGRO ALIMENTARIO</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

NOMBRE TECNOAMBIENTE CENTROAMERICANO S.A.
 Fax 2215-2003
 ALAJUELA-AGUAS ZARCAS

FECHA: 22/09/2015

FAX:

INFORME #:

IDENT.		D.aparente	D.Real	Porosidad	
# LAB.	#CAMPO	(gr/cc)	(gr/cc)	(%)	
4134		0,9 3	1.92	51,5 6	TUCAN4-P1
4135		0,9 8	1.89	18,1 5	TUCAN5-P1
4136		1,2 9	2.31	44,1 6	TUCAN6-P1



[Handwritten signature]

Ing. Alexis Vargas Villagra

INTA-CUIPILAPA - EL TUCÁN, AGUA ZARCAS

ANEXO N° 3 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

PROYECTO: AyA BOCA ARENAL TUCAN 4 - P1

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 1 TUCAN 4	Este (m)	494974.0	Norte (m)	260406.0
	Fecha:	03/09/2015	Hora:	09:30 a.m.
	t1 (min)	0.0	t1 (s)	0.0
	t2 (min)	35.0	t2 (s)	2100.0
	H1 (cm)	20.0	H1 (mm)	200.0
	H2 (cm)	9.8	H2 (mm)	98.0
	r (cm)	4.3	r (mm)	43.0
	k (cm/min)	0.0379080	k (mm/s)	0.0063180

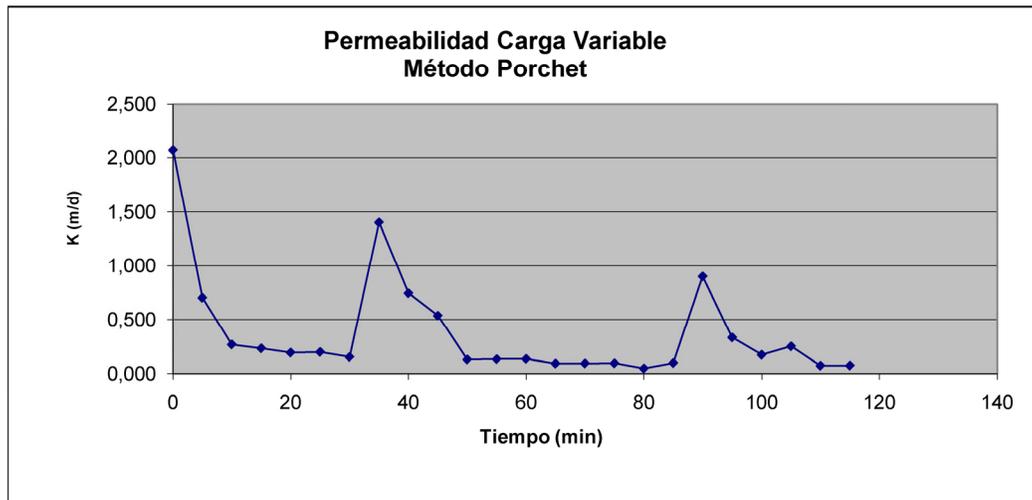
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0243	t2 (seg)	2100.00
H1 (m)	0.2000	H1 (cm)	20.00
H2 (m)	0.0980	H2 (cm)	9.80
r (m)	0.0430	r (cm)	4.30

FORMULA APLICADA

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \times \ln \left(\frac{(2h_1 + r)}{(2h_2 + r)} \right)$$

k (m/d)	0.5458745	k (cm/seg)	0.0006318
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	20.0	13.70	4.3	0.1439072	0.0239845	2.0722642	0.0023985
5	10	13.7	12.00	4.3	0.0487856	0.0081309	0.7025126	0.0008131
10	15	12.0	11.40	4.3	0.0186311	0.0031052	0.2682875	0.0003105
15	20	11.4	10.90	4.3	0.0161673	0.0026946	0.2328094	0.0002695
20	25	10.9	10.50	4.3	0.0133863	0.0022310	0.1927626	0.0002231
25	30	10.5	10.10	4.3	0.0138164	0.0023027	0.1989569	0.0002303
30	35	10.1	9.80	4.3	0.0106617	0.0017770	0.1535285	0.0001777
35	40	20.0	15.50	4.3	0.0976537	0.0162756	1.4062138	0.0016276
40	45	15.5	13.50	4.3	0.0517139	0.0086190	0.7446801	0.0008619
45	50	13.5	12.20	4.3	0.0372900	0.0062150	0.5369763	0.0006215
50	55	12.2	11.90	4.3	0.0090848	0.0015141	0.1308218	0.0001514
55	60	11.9	11.60	4.3	0.0092809	0.0015468	0.1336455	0.0001547
60	65	11.6	11.30	4.3	0.0094857	0.0015809	0.1365938	0.0001581
65	70	11.3	11.10	4.3	0.0064421	0.0010737	0.0927658	0.0001074
70	75	11.1	10.90	4.3	0.0065401	0.0010900	0.0941767	0.0001090
75	80	10.9	10.70	4.3	0.0066411	0.0011068	0.0956312	0.0001107
80	85	10.7	10.60	4.3	0.0033594	0.0005599	0.0483752	0.0000560
85	90	10.6	10.40	4.3	0.0067986	0.0011331	0.0978993	0.0001133
90	95	20.0	17.00	4.3	0.0625800	0.0104300	0.9011514	0.0010430
95	100	17.0	16.00	4.3	0.0230618	0.0038436	0.3320903	0.0003844
100	105	16.0	15.50	4.3	0.0120120	0.0020020	0.1729721	0.0002002
105	110	15.5	14.80	4.3	0.0174012	0.0029002	0.2505775	0.0002900
110	115	14.8	14.60	4.3	0.0051039	0.0008507	0.0734964	0.0000851
115	120	14.6	14.40	4.3	0.0051652	0.0008609	0.0743793	0.0000861
					0.0264571	0.0044095	0.3809820	0.0004410



PROYECTO: AyA BOCA ARENAL TUCAN 5 - P2

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 2 TUCAN 5

Este (m)	494907.0
Fecha:	03/09/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	5.0
H1 (cm)	20.0
H2 (cm)	6.2
r (cm)	4.3
k (cm/min)	0.4194977

Norte (m)	260516.0
Hora:	01:35 p.m.
t1 (s)	0.0
t2 (s)	300.0
H1 (mm)	200.0
H2 (mm)	62.0
r (mm)	43.0
k (mm/s)	0.0699163

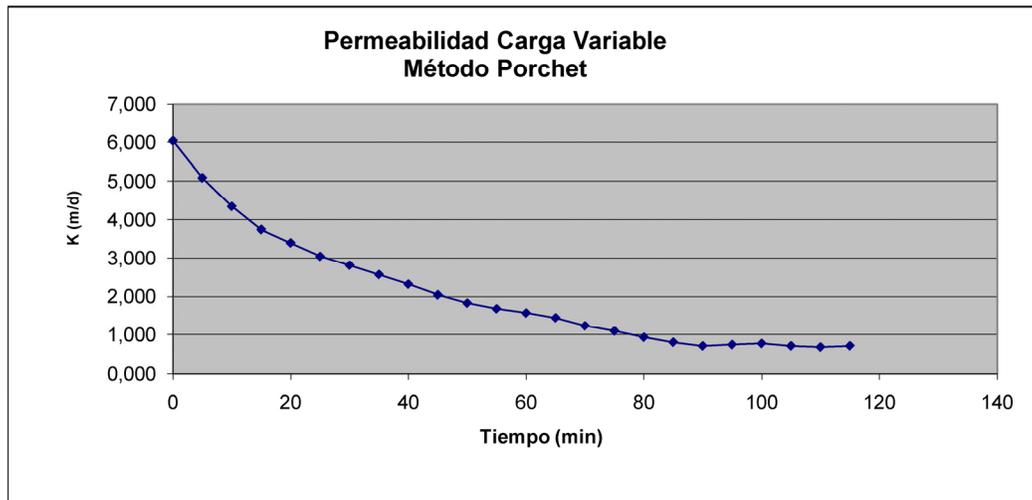
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0035	t2 (seg)	300.00
H1 (m)	0.2000	H1 (cm)	20.00
H2 (m)	0.0620	H2 (cm)	6.20
r (m)	0.0430	r (cm)	4.30

FORMULA APLICADA

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \times \ln \left(\frac{(2h_1 + r)}{(2h_2 + r)} \right)$$

k (m/d)	6.0407663	k (cm/seg)	0.0069916
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	20.0	6.20	4.3	0.4194977	0.0699163	6.0407663	0.0069916
5	10	20.0	7.58	4.3	0.3537281	0.0589547	5.0936853	0.0058955
10	15	20.0	8.82	4.3	0.3021495	0.0503582	4.3509526	0.0050358
15	20	20.0	9.94	4.3	0.2603473	0.0433912	3.7490011	0.0043391
20	25	20.0	10.64	4.3	0.2361448	0.0393575	3.4004847	0.0039357
25	30	20.0	11.39	4.3	0.2116414	0.0352736	3.0476357	0.0035274
30	35	20.0	11.91	4.3	0.1954366	0.0325728	2.8142864	0.0032573
35	40	20.0	12.48	4.3	0.1783482	0.0297247	2.5682142	0.0029725
40	45	20.0	13.08	4.3	0.1610652	0.0268442	2.3193395	0.0026844
45	50	20.0	13.77	4.3	0.1420124	0.0236687	2.0449781	0.0023669
50	55	20.0	14.33	4.3	0.1271467	0.0211911	1.8309123	0.0021191
55	60	20.0	14.73	4.3	0.1168344	0.0194724	1.6824160	0.0019472
60	65	20.0	15.04	4.3	0.1090092	0.0181682	1.5697319	0.0018168
65	70	20.0	15.39	4.3	0.1003420	0.0167237	1.4449249	0.0016724
70	75	20.0	16.00	4.3	0.0856418	0.0142736	1.2332417	0.0014274
75	80	20.0	16.40	4.3	0.0762681	0.0127114	1.0982608	0.0012711
80	85	20.0	16.90	4.3	0.0648313	0.0108052	0.9335703	0.0010805
85	90	20.0	17.30	4.3	0.0558959	0.0093160	0.8049007	0.0009316
90	95	20.0	17.60	4.3	0.0493141	0.0082190	0.7101234	0.0008219
95	100	20.0	17.50	4.3	0.0514969	0.0085828	0.7415549	0.0008583
100	105	20.0	17.40	4.3	0.0536908	0.0089485	0.7731468	0.0008948
105	110	20.0	17.60	4.3	0.0493141	0.0082190	0.7101234	0.0008219
110	115	20.0	17.70	4.3	0.0471424	0.0078571	0.6788506	0.0007857
115	120	20.0	17.60	4.3	0.0493141	0.0082190	0.7101234	0.0008219
					0.1456922	0.0242820	2.0979677	0.0024282



PROYECTO: Aya BOCA ARENAL TUCAN 6 - P3

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 3 TUCAN 6

Este (m)	494879.0
Fecha:	03/09/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	120.0
H1 (cm)	18.0
H2 (cm)	17.0
r (cm)	4.3
k (cm/min)	0.0009120

Norte (m)	260519.0
Hora:	11:45 a.m.
t1 (s)	0.0
t2 (s)	7200.0
H1 (mm)	180.0
H2 (mm)	170.0
r (mm)	43.0
k (mm/s)	0.0001520

t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0833	t2 (seg)	7200.00
H1 (m)	0.1800	H1 (cm)	18.00
H2 (m)	0.1700	H2 (cm)	17.00
r (m)	0.0430	r (cm)	4.30

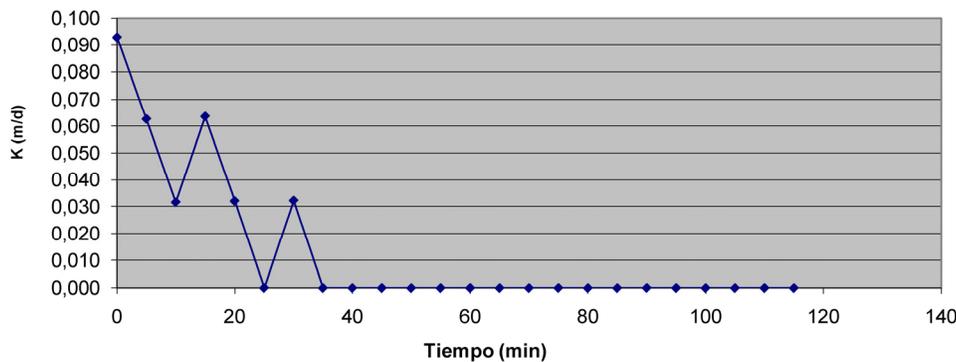
k (m/d)	0.0131326	k (cm/seg)	0.0000152
---------	-----------	------------	-----------

FORMULA APLICADA

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \times \ln \left(\frac{(2h_1 + r)}{(2h_2 + r)} \right)$$

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	18.0	17.70	4.3	0.0064501	0.0010750	0.0928817	0.0001075
5	10	17.7	17.50	4.3	0.0043545	0.0007257	0.0627043	0.0000726
10	15	17.5	17.40	4.3	0.0021939	0.0003656	0.0315919	0.0000366
15	20	17.4	17.20	4.3	0.0044216	0.0007369	0.0636715	0.0000737
20	25	17.2	17.10	4.3	0.0022280	0.0003713	0.0320830	0.0000371
25	30	17.1	17.10	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
30	35	17.1	17.00	4.3	0.0022396	0.0003733	0.0322501	0.0000373
35	40	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
40	45	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
45	50	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50	55	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
55	60	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
60	65	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
65	70	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
70	75	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
75	80	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
80	85	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
85	90	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
90	95	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
95	100	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
100	105	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
105	110	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
110	115	17.0	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
115	120	17.00	17.00	4.3	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
					0.0009120	0.0001520	0.0131326	0.0000152

**Permeabilidad Carga Variable
Método Porchet**



PROYECTO: AyA BOCA ARENAL P4

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 4

Este (m)	494835.0
Fecha:	03/09/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	120.0
H1 (cm)	21.0
H2 (cm)	13.0
r (cm)	4.3
k (cm/min)	0.0075966

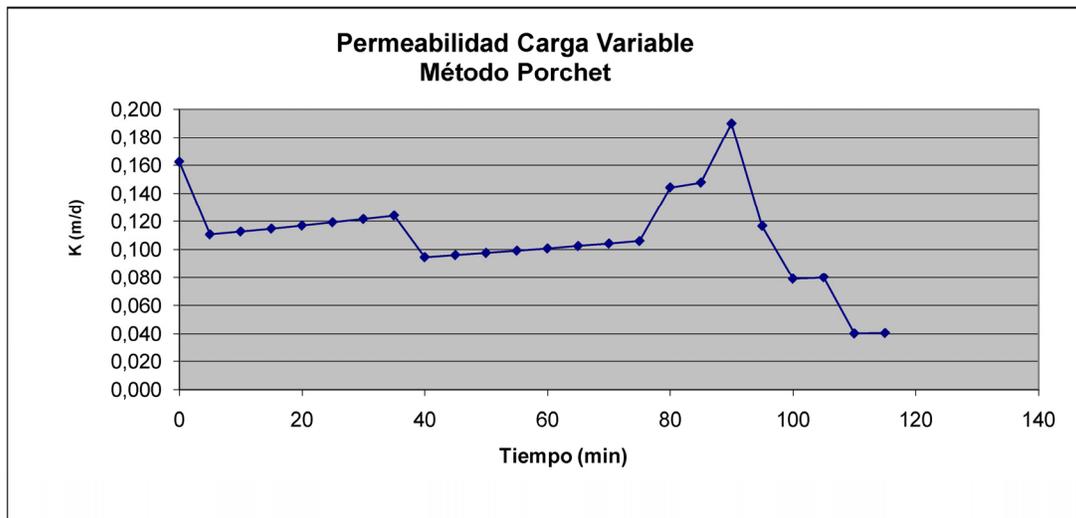
Norte (m)	260463.0
Hora:	03:30 p.m.
t1 (s)	0.0
t2 (s)	7200.0
H1 (mm)	210.0
H2 (mm)	130.0
r (mm)	43.0
k (mm/s)	0.0012661

t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0833	t2 (seg)	7200.00
H1 (m)	0.2100	H1 (cm)	21.00
H2 (m)	0.1300	H2 (cm)	13.00
r (m)	0.0430	r (cm)	4.30
k (m/d)	0.1093905	k (cm/seg)	0.0001266

FORMULA APLICADA

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \times \ln \left(\frac{(2h_1 + r)}{(2h_2 + r)} \right)$$

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	21.0	20.40	4.3	0.0112917	0.0018819	0.1626002	0.0001882
5	10	20.4	20.00	4.3	0.0076960	0.0012827	0.1108218	0.0001283
10	15	20.0	19.60	4.3	0.0078362	0.0013060	0.1128414	0.0001306
15	20	19.6	19.20	4.3	0.0079817	0.0013303	0.1149360	0.0001330
20	25	19.2	18.80	4.3	0.0081326	0.0013554	0.1171099	0.0001355
25	30	18.8	18.40	4.3	0.0082894	0.0013816	0.1193676	0.0001382
30	35	18.4	18.00	4.3	0.0084524	0.0014087	0.1217140	0.0001409
35	40	18.0	17.60	4.3	0.0086218	0.0014370	0.1241545	0.0001437
40	45	17.6	17.30	4.3	0.0065818	0.0010970	0.0947774	0.0001097
45	50	17.3	17.00	4.3	0.0066841	0.0011140	0.0962506	0.0001114
50	55	17.0	16.70	4.3	0.0067896	0.0011316	0.0977705	0.0001132
55	60	16.7	16.40	4.3	0.0068985	0.0011498	0.0993390	0.0001150
60	65	16.4	16.10	4.3	0.0070110	0.0011685	0.1009588	0.0001169
65	70	16.1	15.80	4.3	0.0071272	0.0011879	0.1026322	0.0001188
70	75	15.8	15.50	4.3	0.0072474	0.0012079	0.1043620	0.0001208
75	80	15.5	15.20	4.3	0.0073716	0.0012286	0.1061512	0.0001229
80	85	15.2	14.80	4.3	0.0100296	0.0016716	0.1444264	0.0001672
85	90	14.8	14.40	4.3	0.0102691	0.0017115	0.1478757	0.0001712
90	95	14.4	13.90	4.3	0.0131912	0.0021985	0.1899535	0.0002199
95	100	13.9	13.60	4.3	0.0081134	0.0013522	0.1168337	0.0001352
100	105	13.6	13.40	4.3	0.0054953	0.0009159	0.0791321	0.0000916
105	110	13.4	13.20	4.3	0.0055664	0.0009277	0.0801565	0.0000928
110	115	13.2	13.10	4.3	0.0028105	0.0004684	0.0404707	0.0000468
115	120	13.1	13.00	4.3	0.0028290	0.0004715	0.0407370	0.0000471
					0.0075966	0.0012661	0.1093905	0.0001266



PROYECTO: AyA BOCA ARENAL P5

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 5

Este (m)	494913.0
Fecha:	03/09/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	45.0
H1 (cm)	19.0
H2 (cm)	6.1
r (cm)	4.3
k (cm/min)	0.0449793

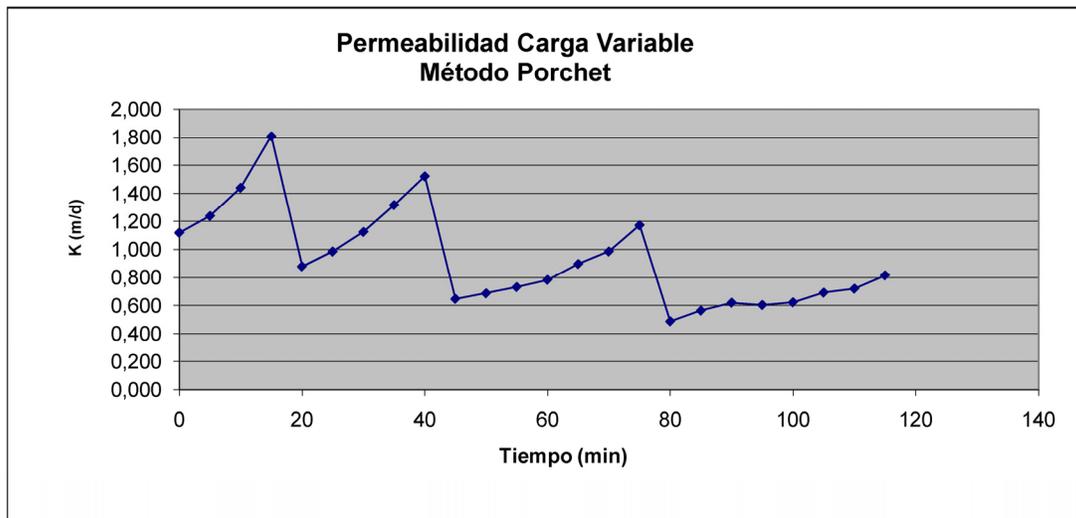
Norte (m)	260454.0
Hora:	04:15 p.m.
t1 (s)	0.0
t2 (s)	2700.0
H1 (mm)	190.0
H2 (mm)	61.0
r (mm)	43.0
k (mm/s)	0.0074965

t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0313	t2 (seg)	2700.00
H1 (m)	0.1900	H1 (cm)	19.00
H2 (m)	0.0610	H2 (cm)	6.10
r (m)	0.0430	r (cm)	4.30
k (m/d)	0.6477016	k (cm/seg)	0.0007497

FORMULA APLICADA

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \times \ln\left(\frac{(2h_1 + r)}{(2h_2 + r)}\right)$$

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	19.0	15.50	4.3	0.0777888	0.0129648	1.1201583	0.0012965
5	10	15.5	12.30	4.3	0.0860178	0.0143363	1.2386562	0.0014336
10	15	12.3	9.30	4.3	0.1000630	0.0166772	1.4409074	0.0016677
15	20	9.3	6.40	4.3	0.1255851	0.0209309	1.8084259	0.0020931
20	25	19.0	16.20	4.3	0.0610644	0.0101774	0.8793280	0.0010177
25	30	16.2	13.50	4.3	0.0684382	0.0114064	0.9855104	0.0011406
30	35	13.5	10.90	4.3	0.0781236	0.0130206	1.1249798	0.0013021
35	40	10.9	8.40	4.3	0.0914448	0.0152408	1.3168048	0.0015241
40	45	8.4	6.10	4.3	0.1057424	0.0176237	1.5226912	0.0017624
45	50	19.0	16.90	4.3	0.0449663	0.0074944	0.6475148	0.0007494
50	55	16.9	14.90	4.3	0.0476943	0.0079490	0.6867974	0.0007949
55	60	14.9	13.00	4.3	0.0508044	0.0084674	0.7315828	0.0008467
60	65	13.0	11.20	4.3	0.0543882	0.0090647	0.7831898	0.0009065
65	70	11.2	9.40	4.3	0.0622773	0.0103796	0.8967932	0.0010380
70	75	9.4	7.70	4.3	0.0684620	0.0114103	0.9858530	0.0011410
75	80	7.7	6.00	4.3	0.0814650	0.0135775	1.1730962	0.0013578
80	85	19.0	17.40	4.3	0.0338258	0.0056376	0.4870913	0.0005638
85	90	17.4	15.70	4.3	0.0391179	0.0065196	0.5632973	0.0006520
90	95	15.7	14.00	4.3	0.0430359	0.0071726	0.6197168	0.0007173
95	100	14.0	12.50	4.3	0.0419163	0.0069860	0.6035944	0.0006986
100	105	12.5	11.10	4.3	0.0431904	0.0071984	0.6219417	0.0007198
105	110	11.1	9.70	4.3	0.0480180	0.0080030	0.6914587	0.0008003
110	115	9.7	8.40	4.3	0.0499669	0.0083278	0.7195228	0.0008328
115	120	8.4	7.10	4.3	0.0565460	0.0094243	0.8142623	0.0009424
					0.0649976	0.0108329	0.9359656	0.0010833



ANEXO N° 4
RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS Y
BACTERIOLÓGICOS DISPONIBLES EN EL
LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS DEL AYA