



INFORME DE LA CONTRATACIÓN DIRECTA

N° 2015 CDS-00021-PRI, AYA

***PARA LA DEFINICIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DE
DOS NACIENTES EN PALMICHAL DE ACOSTA***

Hidrogeól. Sandra Arredondo Li

Contraparte técnica y administrativa de la contratación:

MSc. Viviana Ramos Sánchez

Área Funcional de Hidrogeología-AYA

Agosto, 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
-05107

Firma: _____

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVO	8
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.1.2	METODOLOGÍA APLICADA.....	8
2	GEOLOGÍA.....	10
2.1	GEOLOGÍA REGIONAL	10
2.1.1	BASAMENTO Y ROCAS SEDIMENTARIAS PALEÓGENAS	10
2.1.2	SEDIMENTITAS Y VOLCANITAS NEÓGENAS	11
2.1.3	VULCANISMO Y ABANICOS COLUVIO-ALUVIALES CUATERNARIOS.....	11
2.1.4	TECTÓNICA REGIONAL.....	11
2.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	13
2.2.1	FORMACIÓN PEÑA NEGRA	15
2.2.2	INTRUSIVO DE ESCAZÚ Y CORNUBIANITAS.....	16
2.2.3	COLUVIOS	17
2.2.4	ALUVIONES DEL RÍO TABARCIA	17
2.2.5	TECTÓNICA	19
3	HIDROGEOLOGÍA	20
3.1	NACIENTES EN PALMICHAL	20
4	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS	37
4.1	NACIENTES PALMICHAL	37
5	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL.....	41
6	ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES.....	43
6.1	NACIENTES EN PALMICHAL	43
6.1.1	MÉTODO DE TIEMPO DE TRÁNSITO DE DEGRADACIÓN DE BACTERIAS	43
6.1.2	MÉTODO DEL RADIO FIJO	45
6.1.3	MÉTODO DE GRUBB	46
7	CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES	50
8	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD CON EL MÉTODO GOD.....	50
8.1	ACUÍFERO SEDIMENTARIO FISURADO EN ARENISCAS FORMACIÓN PEÑA NEGRA (NACIENTE GUARUMO).....	51

8.2	ACUÍFERO SEDIMENTARIO FISURADO EN ARENISCAS FORMACIÓN PEÑA NEGRA (NACIENTE LA ROCA)	
	51	
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
10	REFERENCIAS	54

1 INTRODUCCIÓN

El estudio hidrogeológico realizado comprende la definición de las zonas de protección de dos nacientes ubicadas en el sector de Palmichal de Acosta, provincia de San José, conocidos como: La Roca y Guarumo, nacientes seleccionadas para su análisis por la ASADA Palmichal de Acosta, (Anexo N° 1).

La ASADA de Palmichal administra varias captaciones que se presentan en el Cuadro N° 1 a continuación:

Cuadro N° 1. Ubicación de las nacientes de Palmichal, que se dividen en tres subgrupos.

Fuente	Este (m)	Norte (m)	Altura (m.s.n.m.)	Nota Situación encontrada al momento de la visita de campo (julio 2015)
Subgrupo 1				
Las Loras 1	516759	202972	1385	<i>Captada, Seca</i>
Las Loras 2	516764	202965	1385	<i>Captada, Seca</i>
A la par de Las Loras	516755	202979	1383	<i>Captada, Seca</i>
Subgrupo 2				
Los Bejucos 1	516701	202877	1359	<i>Captada, Poca agua</i>
Los Bejucos 2	516707	202879	1361	<i>Captada, Poca agua</i>
Subgrupo 3				
<i>La Roca</i>	<i>516672</i>	<i>202753</i>	<i>1346,3</i>	<i>Captada, Escogida para estudio</i>
<i>Guarumo</i>	<i>516728</i>	<i>202738</i>	<i>1355,5</i>	<i>Captada, Escogida para estudio</i>
1	516779	202731	1355	<i>Captada, Poca agua</i>
2	516762	202728	1354	<i>Captada, Poca agua</i>
3	516758	202729	1355	<i>Captada, Poca agua</i>
3B	516751	202736	1355	<i>Captada, Poca agua</i>
4	516735	202742	1354	<i>Captada, Poca agua</i>
La Piedrita	516672	202747	1351	<i>Captada, Poca agua</i>

Nota: Información aportada por la ASADA de Palmichal y trabajo de campo, julio 2015.

De todas las fuentes captadas las seleccionadas para el estudio fueron La Roca y Guarumo, estas fuentes analizadas son nacientes que descargan acuíferos sedimentarios. En el Cuadro N° 2, se presenta la ubicación cartográfica en coordenadas Lambert y la altura de las nacientes analizadas.

Cuadro N° 2. Manantiales analizados en el estudio.

Nombre de la naciente	Tipo de fuente	Este (m)	Norte (m)	Altura de cada fuente en (msnm)
Guarumo	Naciente	516728.00	202738.00	1355,5
La Roca	Naciente	516672.00	202753.00	1346,3

El acceso a las nacientes ubicadas en Palmichal de Acosta se realiza por caminos vecinales, atravesando una finca y al sitio se llega a pie, el sitio presenta fuertes pendientes hacia las quebradas que confluyen para formar el río Tabarcia.

Con base en las ortofotos existentes y al cartografiado de campo, se puede observar que existe una fuerte deforestación en la zona que mantiene un uso de suelo en mayor grado tipo agrícola y pecuario.

En la Figura 1 y Figura 2 se presentan los mapas de ubicación de las nacientes evaluadas.

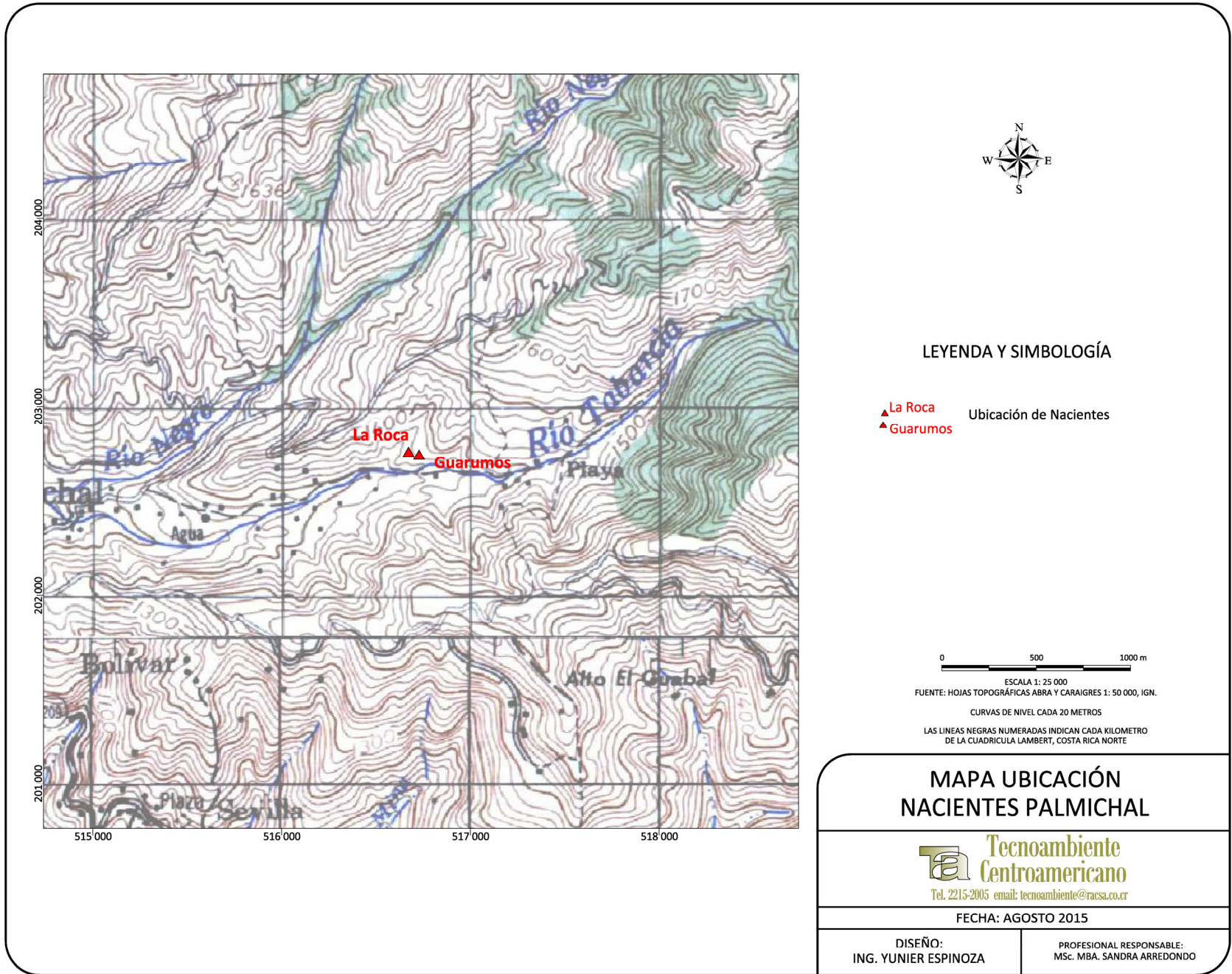


Figura 1. Ubicación de las dos nacientes de Palmichal, San José

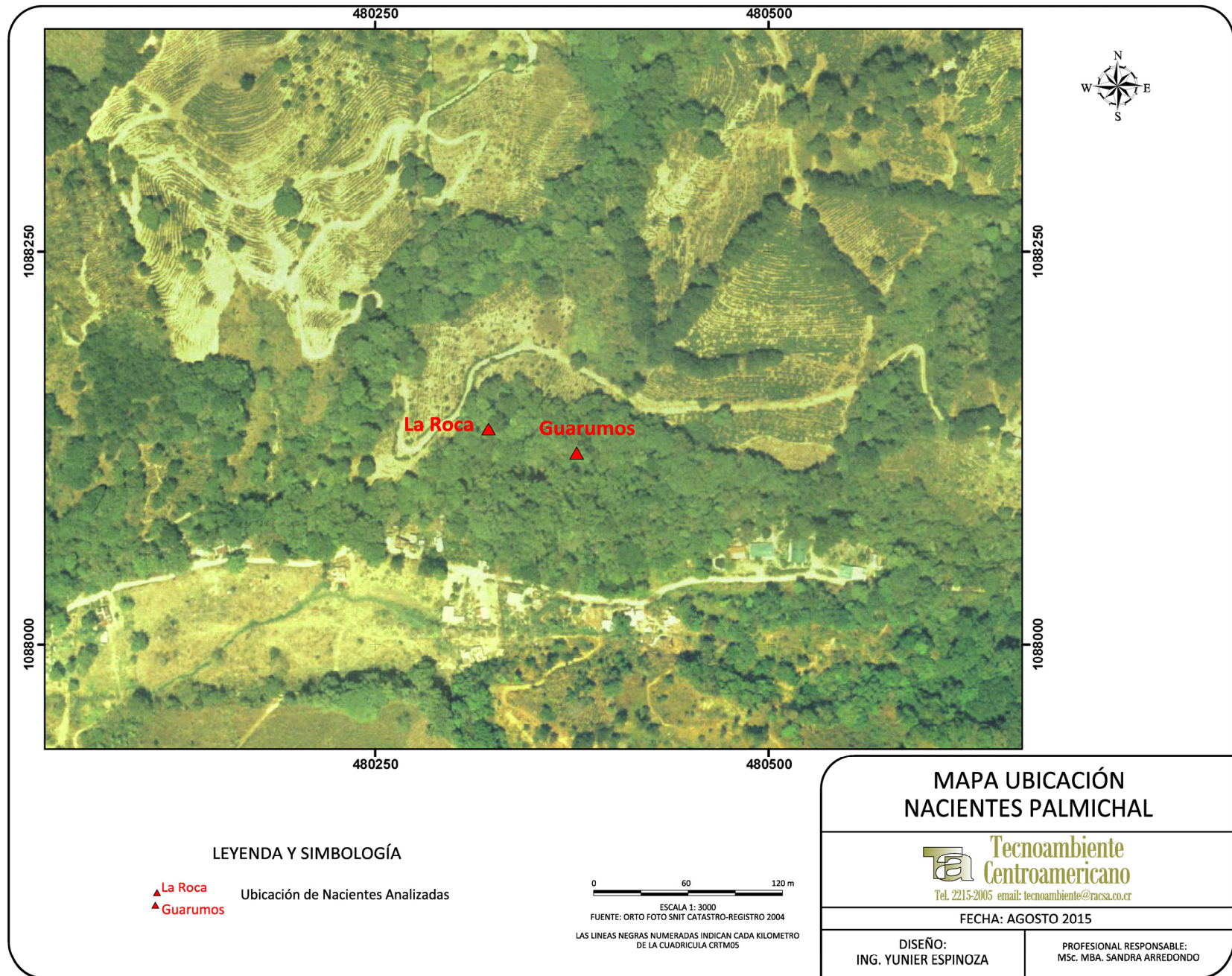


Figura 2. Ubicación de las dos nacientes de Palmichal, San José con ortofoto.

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 que selecciona 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 un perfil hidrogeológico por cada naciente, los espesores calculados para las unidades geológicas se basan en el trabajo de campo realizado.

Adicionalmente se recopiló la 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 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 la ASADA de Palmichal. 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 utilizarán metodologías usadas internacionalmente, estas son: Grubb, método analítico y radio fijo; para ello se ejecutaron tres pruebas de permeabilidad para cada una de las fuentes evaluadas usando el método Porchet, mismos sitios donde se tomaron las muestras de suelo para ser 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 y a un radio de 500 m alrededor de la fuente utilizando el método GOD, el resultado se presenta en un mapa escala 1:25 000.

2 GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se ubica según la clasificación morfotectónica de Costa Rica (Denyer et al., 2003, 2009), en las cordilleras neógenas del arco interno, sector terminal de la cordillera de Talamanca, en la vertiente suroeste de los Cerros de Escazú.

Los Cerros de Escazú están conformados mayoritariamente por rocas sedimentarias del Mioceno, intruidas por plutones del Mioceno terminal, que las ha metamorfozadas parcialmente, y que fueron plegadas y falladas principalmente al final del Mioceno (Soto & Ruiz, 2015). El frente de montaña hacia el suroeste está conformado por un límite tectónico activo, con la falla transcurrentes Jaris en su límite, mientras los cerros se siguen levantando tectónicamente (Figura 3).

En una perspectiva regional, los Cerros de Escazú son la parte o estribación más occidental de la Cordillera de Talamanca, y las rocas que los conforman, han constituido el colmatamiento de la cuenca Candelaria, en la región Central de Costa Rica (Denyer & Alvarado, 2007). El basamento oceánico, en este caso de rocas basálticas de islas oceánicas acrecionadas, con edades del Cretácico – Eoceno (Formación Tulín), están sobreyacidos por una secuencia de rocas principalmente siliciclásticas, y algunas calizas someras, con edades del Eoceno Superior en adelante, que han colmatado la cuenca en el Mioceno Superior, y que asimismo han sufrido varios procesos de magmatismo (ambos términos rocosos: plutones y vulcanitas) desde el Oligoceno, y principalmente desde el Plioceno. Las deformaciones principales han ocurrido al final del Eoceno y al final del Mioceno, y actualmente hay un neotectonismo importante, concomitante con la subducción activa.

2.1.1 BASAMENTO Y ROCAS SEDIMENTARIAS PALEÓGENAS

El basamento de la cuenca de la región central de Costa Rica se encuentra aflorando en el suroeste, afectado por diversas fallas de rumbo y sobre corrimientos. Son principalmente rocas de origen de arcos de islas oceánicas con afinidad toleítica, formados entre el Cretácico Superior y el Eoceno (un rango entre 70 y 40 Ma antes del presente), y que se agrupan en la Formación Tulín. Lo sobreyacen discordantemente, parches de rocas carbonatadas de plataforma somera del Eoceno Superior, de la Formación Fila de Cal, y a estas, de manera concordante, rocas clásticas (areniscas y brechas predominantes) de composición basáltica, de ambiente sublitoral, de la Formación Carraigres, que también en parte sobreyacen a la Fm. Tulín discordantemente, y tiene edad oligocena.

2.1.2 SEDIMENTITAS Y VOLCANITAS NEÓGENAS

La cuenca somera del Oligoceno se iría colmatando a ambientes más someros, litorales a sublitorales con fuerte influencia volcánica, documentados por la Fm. Pacacua (Mioceno Inferior) y luego algunos similares anóxicos en el Mioceno Medio (Fm. Peña Negra) y Superior (Fm. Coris). El volcanismo andesítico y explosivo cada vez más continentalizado de un arco de islas, está representado por toda una espesa secuencia volcánica extrusiva, piroclástica y epiclástica del Grupo Aguacate (Fms. La Cruz y Grifo Alto), con edades desde el Oligoceno hasta el Plioceno, en gran parte contemporáneas y aportadoras a las cuencas sedimentarias. Algunos intrusivos granitoides de edades Oligoceno-Plioceno han sido exhumados por levantamiento tectónico, y son contemporáneos con ese magmatismo extrusivo. Sobre todo el stock de Escazú, ha causado además un metamorfismo térmico de contacto en las rocas sedimentarias de Peña Negra y Pacacua, en el núcleo de los Cerros de Escazú.

2.1.3 VULCANISMO Y ABANICOS COLUVIO-ALUVIALES CUATERNARIOS

El vulcanismo del Neógeno se dio en un arco que se encontraba en un eje cercano a los Cerros de Escazú, el cual cesó en el Plioceno y saltó luego en el Pleistoceno hacia el noreste, iniciando el vulcanismo de la Cordillera Volcánica Central, sobre todo en el último millón de años. Rocas piroclásticas y lávicas distales se han depositado en el Valle Central y llegado a los Cerros de Escazú por el sector noreste en este periodo, paralelo con el levantamiento tectónico de los Cerros de Escazú. El levantamiento ha dado pie a una intensa erosión de los Cerros de Escazú, y la creación de abanicos coluvio-aluviales periféricos espesos.

2.1.4 TECTÓNICA REGIONAL

Dos eventos tectónicos mayores han plegado y fallado las secuencias sedimentarias, principalmente al final del Eoceno y al final del Mioceno. Por eso, todas las rocas previas al Plioceno, se encuentran muy plegadas y dislocadas. El fallamiento actual incluye algunas estructuras inversas de sobre corrimiento en la periferia de los cerros de Escazú, pero sobre todo de desplazamiento de rumbo con direcciones NW a WNW, debido a una rotación del sector noroeste de Costa Rica y promovido por la subducción de la Cordillera del Coco, de modo que toda esta zona de deformación se ubica en el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. Los movimientos diferenciales, son los causantes de la tectónica de levantamiento de los Cerros de Escazú y otras estribaciones de Talamanca, y la exhumación de los plutones.

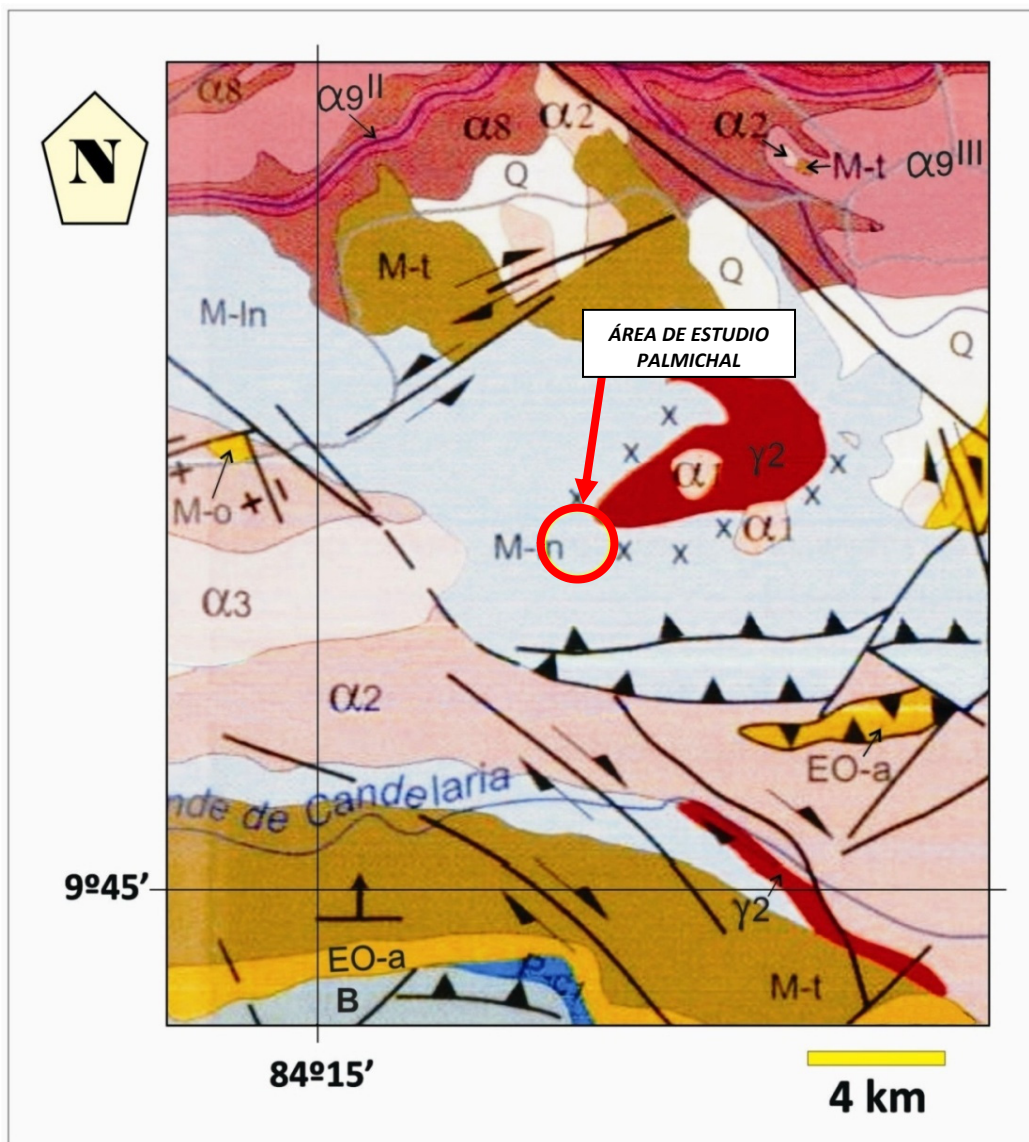


Figura 3. Mapa geológico regional, con la ubicación del área de las nacientes en Palmichal. La secuencia geológica comprende, de más antigua a más joven:

- B:** Formación Tulín, basaltos toleíticos de islas oceánicas acrecionadas (70-40 Ma);
- P-c1:** Formación Fila de Cal, calizas de plataforma del Eoceno Superior;
- EO-a:** Formación Caragres, areniscas y lutitas del Oligoceno;
- α1:** Volcanitas del Oligoceno-Plioceno (29-4 Ma);
- α2:** Volcanitas del Oligoceno-Mioceno Superior (29-7 Ma);
- M-t:** Formación Pacacua, sedimentitas someras del Mioceno Inferior-Medio;
- M-In:** Formación Peña Negra, sedimentitas marinas someras anóxicas del Mioceno Superior;
- M-o:** Formación Coris, ortocuarcitas del Mioceno Superior;
- α3:** Volcanitas del Mioceno Superior (7-5 Ma);
- γ2:** Intrusivos granitoides del Mioceno (11-6 Ma);
- X:** Cornubianitas por metamorfismo térmico de sedimentitas miocenas.
- α8:** Ignimbritas y tobas del Pleistoceno (1,8-0,3 Ma);
- α9II:** volcanitas del Pleistoceno Superior (0,6-0,2 Ma);
- α9III:** volcanitas del Pleistoceno Superior (0,3-0,2 Ma);
- Q:** sedimentos inconsolidados cuaternarios, Pleistoceno Superior-Holoceno.

Las líneas negras discontinuas indican fallas posibles; las continuas, fallas paleotectónicas y neotectónicas, con las flechas y el + y – indicando el movimiento de los bloques, y los triángulos, la divergencia de fallas inversas; líneas negras continuas con flecha divergente, indican el eje de homoclinal. Tomado y ligeramente adaptado de: Denyer & Alvarado (2007).

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

Los trabajos de base que se han utilizado para la compilación geológica y tectónica son los de Denyer & Arias (1990; 1991), Denyer & Alvarado (2007), Ruiz & Soto (2014) y Soto & Ruiz (2015). Estos trabajos y sus mapas han sido complementados con una revisión y afinamiento del mapa geológico aquí presentado (Figura 4).

La geología del área periférica a las nacientes de Palmichal (Cuadro N° 1) muestra rocas sedimentarias del Mioceno (Figura 4), el área terminal del Plutón de Escazú, las cornubianitas por él formadas, coluvios, y aluviones cuaternarios del río Tabarcia. Los detalles específicos de la estratigrafía se dan a continuación.

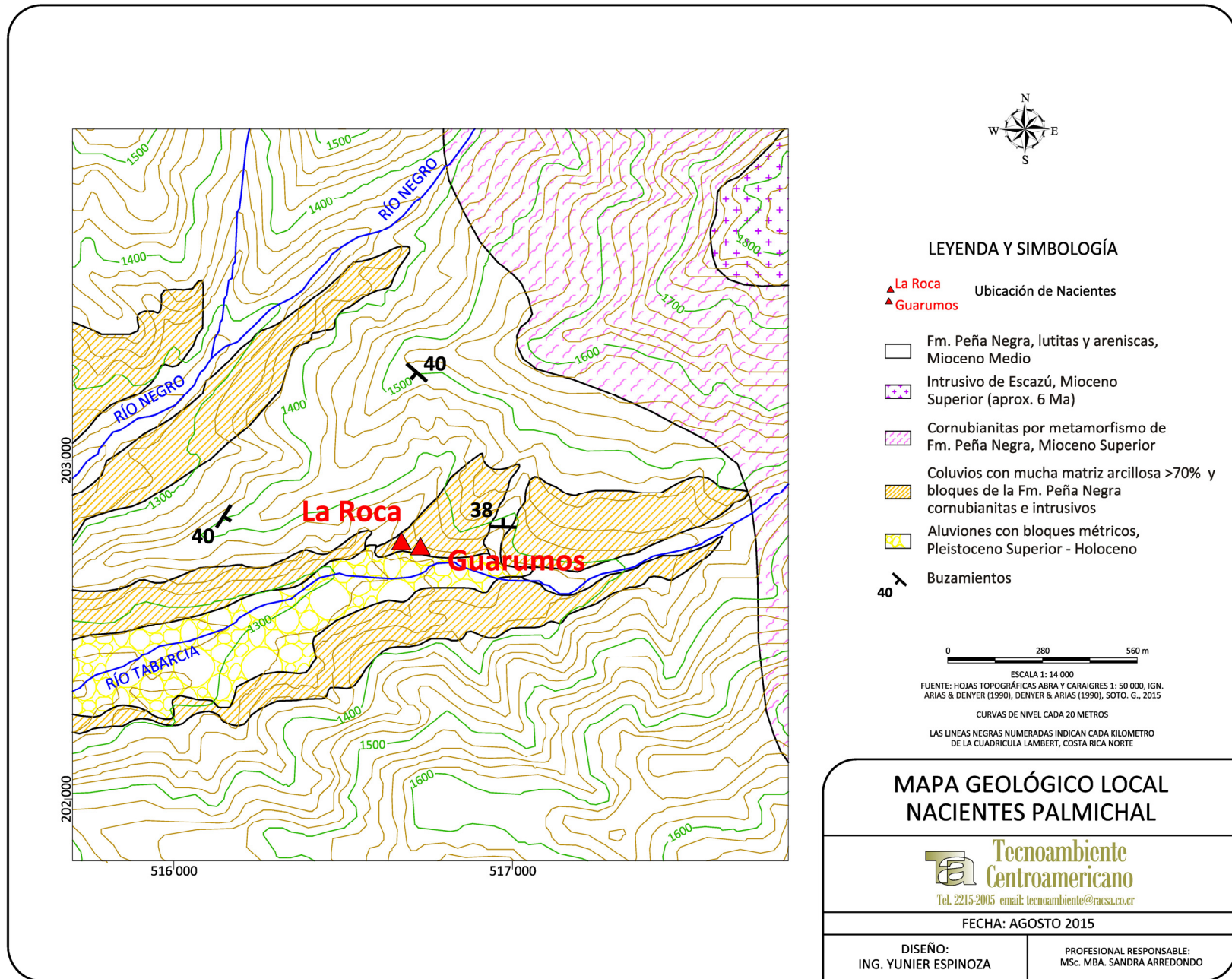


Figura 4. Mapa geológico en los alrededores de las nacientes en Palmichal.

2.2.1 FORMACIÓN PEÑA NEGRA

Las rocas que la conforman son areniscas medias a finas y lutitas, gris oscuro hasta negras, en estratos usualmente decimétricos a masivos (Fotografía 1). Las rocas están profusamente fracturadas y meteorizadas a suelos color pardo-rojizo, con espesores de entre 1 a más de 10 m (Fotografía 2). Las nacientes de Palmichal, subgrupos Las Loras y Los Bejucos, se encuentran en estas rocas fracturadas, en la inmediación de la quebrada.



Fotografía 1. Rocas de la Formación Peña Negra en las inmediaciones de las nacientes de Palmichal, vertiente norte del río Tabarcia (entre 516683E-202864N y 516755E-202985N, entre 1350 y 1390 m.s.n.m.): Lutitas y areniscas masivas oscuras, muy fracturadas, con suelos residuales pardos.

Están plegadas con longitudes de onda decamétricas a hectométricas, que se dilucidan a través de los buzamientos medibles a escala subregional, pero estos pliegues no visibles a nivel de afloramiento.

Están instruidas por pequeños apófisis en el lado norte de los cerros, y en el sector sur, por el stock del Intrusivo de Escazú, de modo que en algunas áreas muestra alteración hidrotermal leve y metamorfismo de contacto a cornubianitas, en la cercanía a esos cuerpos intrusivos de Escazú.



Fotografía 2. Rocas de la Formación Peña Negra en 516940E-202986N. Roca meteorizada a colores crema sobreyacida por suelos residuales y coluvios (izq.), y un detalle de roca meteorizada buzando 38° al azimut 3°.

El contacto inferior de esta formación en el área estudiada no es visible, pero es concordante sobre la Formación Pacacua en parte, y el contacto superior no es visible. Su edad había sido establecida como Mioceno Medio por Denyer & Arias (1991).

2.2.2 INTRUSIVO DE ESCAZÚ Y CORNUBIANITAS

En la zona estudiada, en la parte noreste, aparece el extremo sudoccidental del stock principal de Escazú, que cubre parte importante de los cerros Cedral y San Miguel, en el núcleo de los Cerros de Escazú (cf. Rivier, 1979; Denyer & Arias, 1990; Soto & Ruiz, 2015).

El intrusivo es un espectro amplio de monzonitas, granodioritas, monzogabros y sienitas (Obando, 1983) blancuzcas a grises, de grano medio a fino con edades cercanas a los 6 Ma (Mioceno terminal; cf. Denyer & Arias, 1991; Alvarado & Gans, 2012), de modo que el magmatismo ha sido en parte contemporáneo con el de Grifo Alto, y por lo tanto documentan un Arco Mioceno, antecedente al Arco Cuaternario actual en el centro de Costa Rica. Se meteorizan a colores blancuzcos a pardos, con suelos pardos de varios metros, de modo que en esta área se reconocen

básicamente por las texturas arenitizadas del suelo residual, sobre todo en el corte de camino que sube hacia los cerros.

La intrusión del stock de Escazú ha causado un metamorfismo de contacto acentuado en las rocas de la Formación Peña Negra, convirtiéndolas en cornubianitas, con una dureza importante debido a la intensa silicificación y recristalización térmica. Se meteorizan a colores blancuzcos a pardos, también con suelos pardos de varios metros, y son reconocibles residualmente en los suelos de estas áreas, principalmente en el camino que sube a los cerros, o en el río Tabarcia.

2.2.3 COLUVIOS

En las pendientes que bajan desde los cerros adyacentes al río Tabarcia (desde los sectores norte y sur), se ha depositado una secuencia de sedimentos de ladera o coluvios, que conforman pendientes ligeramente más suaves que las de la roca original.

Forman una especie de “delantal” de algunos metros de espesor, de decenas a centenas de metros de ancho, y longitudes kilométricas rodeando al río Tabarcia y tributarios. De estos coluvios adyacentes del Tabarcia, brotan las nacientes principales de Palmichal adyacentes al río en su margen derecha o norte.

Están compuestos por bloques desde centimétricos a decimétricos de sedimentitas de la Formación Peña Negra, y bloques decimétricos a métricos de cornubianitas e intrusivos, que son rocas más duras (Fotografía 3), embebidos en una matriz arcillosa a arenosa de color pardo, de un aspecto similar al de los suelos residuales (cf. Fotografía 2).

2.2.4 ALUVIONES DEL RÍO TABARCIA

En las inmediaciones de las nacientes de Palmichal, el río Tabarcia desarrolla una terraza aluvial amplia, de unos 100 m de ancho, que se ensancha hacia el oeste, hasta unos 250 m de anchura. Los espesores visibles son de métricos hasta posiblemente decamétricos, pues recogen la sedimentación aluvial de las grandes crecidas del río Tabarcia, que bajan de los cerros de altas pendientes adyacentes, por lo que los bloques de tamaños plurimétricos son comunes (Fotografía 4).



Fotografía 3. Coluvios. Arriba izquierda: pendientes fuertes de los cerros y pendientes suavizadas de los coluvios, ocupados en gran parte por cafetales, cuyo detalle se ve a la derecha. Centro: Detalles de la estructura y textura de los coluvios en la periferia del río Tabarcia y de las nacientes de Palmichal. La piqueta para la escala. Abajo: Detalles de los bloques de cornubianita dentro de los coluvios (izquierda: piqueta para la escala) y de intrusivo (derecha: tamaño aproximado de la imagen 6 cm x 4 cm).



Fotografía 4. Aluviones del río Tabarcia, con bloques métricos, principalmente de cornubianitas e intrusivos, algunos de ellos decorados por los vecinos.

2.2.5 TECTÓNICA

En esta área no hay fallas visibles ni propuestas, y la estructura principal es la causada por el intrusivo de Escazú.

Las rocas de la Formación Peña Negra están evidentemente plegadas, en tanto los buzamientos medidos sugieren pliegues con longitudes de onda decamétricos a hectométricos, aunque no visibles a nivel de afloramiento. El plegamiento ocurrió al final del Mioceno, probablemente en parte durante la intrusión y luego durante una etapa de deformación intensa regional (cf. Denyer & Alvarado, 2007; Soto & Ruiz, 2015).

3 HIDROGEOLOGÍA

3.1 NACIENTES EN PALMICHAL

Información de las nacientes estudiadas se presenta en la Cuadro N° 2 y se muestran en la Figura 4. El subgrupo 1 Las Loras son las más hacia el norte y más altas (1385 m.s.n.m.), y durante la visita de campo a mediados de julio se encontraban secas. El subgrupo 2 Los Bejucos, intermedias en posición y altura (1360 m.s.n.m.) tenían poco agua. Ambos subgrupos nacen en las rocas fuertemente fracturadas de la Formación Peña Negra. Las nacientes del tercer subgrupo, en la pared norte del valle del río Tabarcia, son las más sureñas y bajas (1335-1350 m.s.n.m.), y las que aportan más agua, sobre todo las llamadas Guarumo y La Piedra.

Solo hay un pozo registrado en un radio de 2 km alrededor de las nacientes, el AB-1565 (Cuadro N° 3) sin embargo este pozo no se localiza en el acuífero que alimenta a las nacientes analizadas, por eso no se tomará en cuenta. La ubicación cartográfica y propietario se indican en la Figura 5 y en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3. Pozo registrado alrededor de las nacientes de Palmichal.

Nº pozo	Este	Norte	Propietario
AB-1565	517100	203800	Félix Troche Pérez

A continuación se presenta una secuencia de fotografías de las nacientes (Fotografía 5 a la Fotografía 20).



Fotografía 5. Captación de la naciente Guarumo.



Fotografía 6. Detalle del coluvio donde nace Guarumo y que es “atravesado” por la descarga del acuífero a través de las rocas sedimentarias fracturadas que albergan al acuífero sedimentario que alimenta estas nacientes analizadas.



Fotografía 7. Captación de la naciente Los Bejucos 2.



Fotografía 8. Captación de la naciente Los Bejucos 1.



Fotografía 9. Vista Interior naciente Las Loras 2.



Fotografía 10. Naciente Las Loras 1 y la 2 al fondo.



Fotografía 11. Interior nacimiento Las Loras 1.



Fotografía 12. Vista de nacimiento Las Loras 1.



Fotografía 13. Captación de la naciente Palmichal 1.



Fotografía 14. Vista de la naciente Palmichal 1.



Fotografía 15. Captación de la naciente Palmichal 2.



Fotografía 16. Captación de la naciente Palmichal 3.



Fotografía 17. Naciente Palmichal 3B, sin captar, brota en el sitio a través de los coluvios.



Fotografía 18. Naciente Palmichal 4.



Fotografía 19. Naciente La Piedrita.



Fotografía 20. Naciente La Roca.

Con base en el análisis de la geología de campo y la disposición estratigráfica de las nacientes evaluadas, se define que el acuífero que alimenta a las nacientes Guarumo y La Roca es sedimentario desarrollado en las lutitas y areniscas de Mioceno Medio de la Formación Peña Negra, sin embargo, debido a la ubicación estratigráfica del coluvio depositado al pie del talud de fuerte pendiente en el sector de la margen derecha del río Tabarcia, donde se localizan las nacientes, éste es atravesado por el flujo que proviene del acuífero sedimentario y por tal motivo los brotes se observan en los coluvios y no directamente en las rocas sedimentarias. O sea, esto ocurre por una situación netamente de geodinámica externa que ha provocado la formación de coluvio al pie del talud conformado por rocas sedimentarias terciarias.

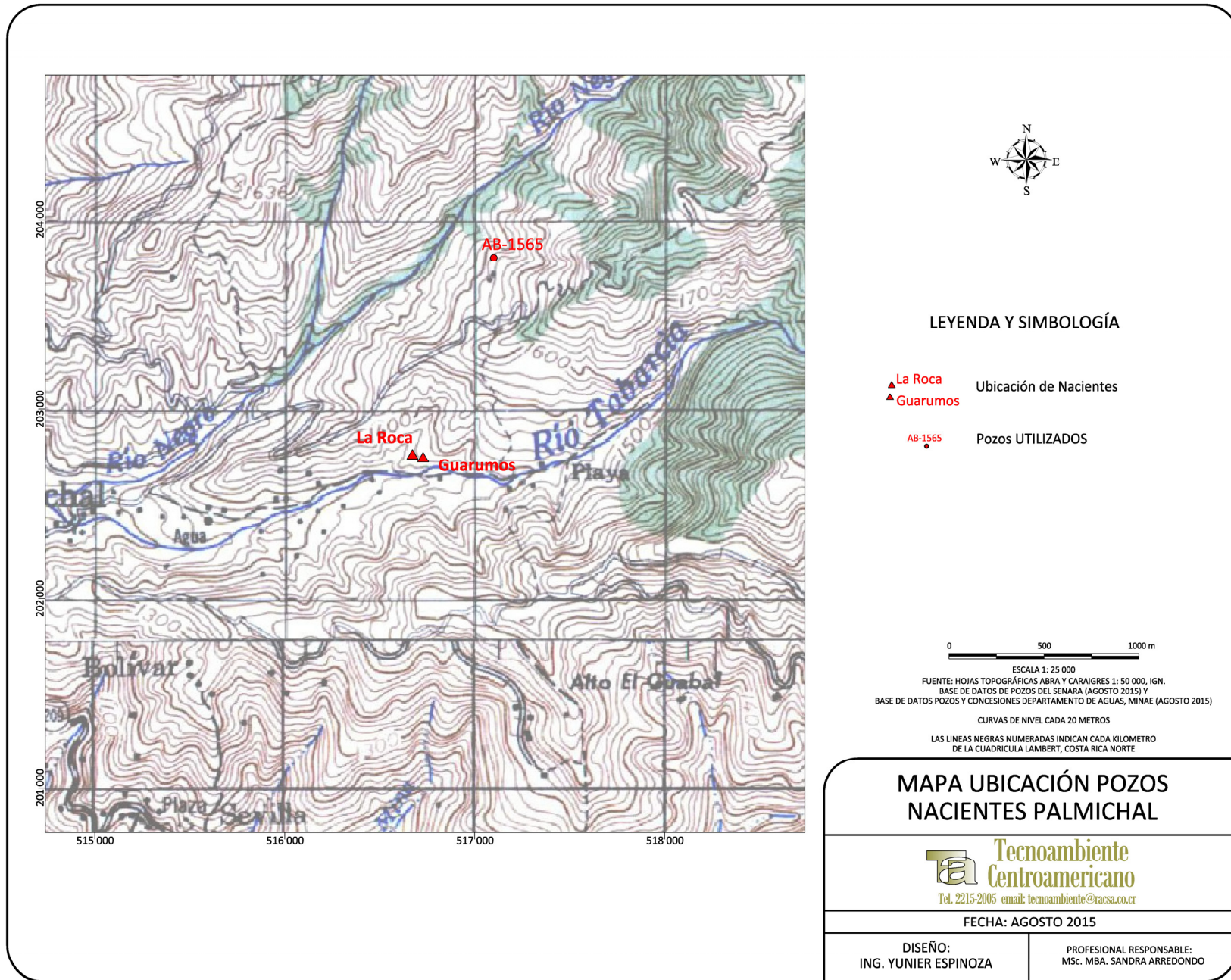


Figura 5. Mapa de Ubicación de Pozos registrados en la Dirección de Aguas y SENARA (Palmichal).

En el Cuadro N° 4, se presenta la lista de concesiones registradas en la Dirección de Aguas del MINAE para la zona de Palmichal y en el mapa de la Figura 6, se presentan las ubicaciones cartográficas concesiones registradas en la zona, algunos de ellas corresponden con tomas de aguas superficial (ríos y quebradas) y otras son nacientes que fueron utilizadas para la elaboración de las curvas isofreáticas para las nacientes analizadas.

Cuadro N° 4. Lista de concesiones registradas en la Dirección de Aguas del MINAE, sector de Palmichal.

N°	Expediente	Fuente	Este (m)	Norte (m)	Estado	Nombre-Apellido	Caudal (l/s)
1	492-R	NAC 12 PEINE DE MICO	516960	202243	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	1.7
2	492-R	NAC 13 CHILAMATE	516993	202260	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	2.26
3	492-R	NAC 9 EL GUARUMO	516727	202326	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	2.02
4	492-R	NAC 11 LA ROCA	516661	202329	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.44
5	492-R	NAC 5 PATO 1	516769	202330	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.88
6	492-R	NAC 7 PILETAS 1	516748	202332	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.52
7	492-R	NAC 8 PILETAS 2	516756	202333	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	91.91
8	492-R	NAC 6 PATO 2	516752	202336	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	2.24
9	492-R	NAC 10 EL TABACON	516668	202349	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	12.08
10	492-R	NAC 3 BEJUCO 2	516706	202495	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.22
11	492-R	NAC 3 EL BEJUCO 1	516694	202496	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.98
12	492-R	NAC LAS LORAS 2	516756	202568	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.61
13	492-R	NAC LAS LORAS 1	516751	202575	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	3.68
14	492-R	F10	516700	202650	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	1.02
15	492-R	F6	516660	202694	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	9.04

16	492-R	F11	516688	202695	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.37
17	492-R	F7	516670	202715	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.98
18	492-R	F8	516675	202720	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.27
19	492-R	F5	516643	202722	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	1.38
20	492-R	F9	516600	202725	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.35
21	492-R	FX	516680	202942	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.23
22	492-R	F2A	516687	202942	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.58
23	492-R	F2	516750	202978	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.96
24	492-R	F1	516987	202978	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	0.9
25	7781-A	SIN NOMBRE	515450	200800	CANCELADO	HERNAN-ZUÑIGA VALVERDE	0
26	10987-A	SIN NOMBRE	518250	200850	CANCELADO POR VENCIMIENTO	PARRA DEL RIEGO S.A.-	0.32
27	2947-A	2-RIO NEGRO	514800	202600	CANCELADO	ROBERTO MONTERO Y CIA. LTDA.-	0
28	492-R	25-QUEBRADA QUEB 1(14) CIELO	516574	202354	INSCRITO	ASADA DE PALMICHAL DE ACOSTA Y PIEDRA BLANCA DE MORA-	16.62
29	602-R	162-RIO TABARCIA	516029	202482	OTORGADO	AYA-	0
30	602-R	163-RIO NEGRO	515895	203155	OTORGADO	AYA-	0

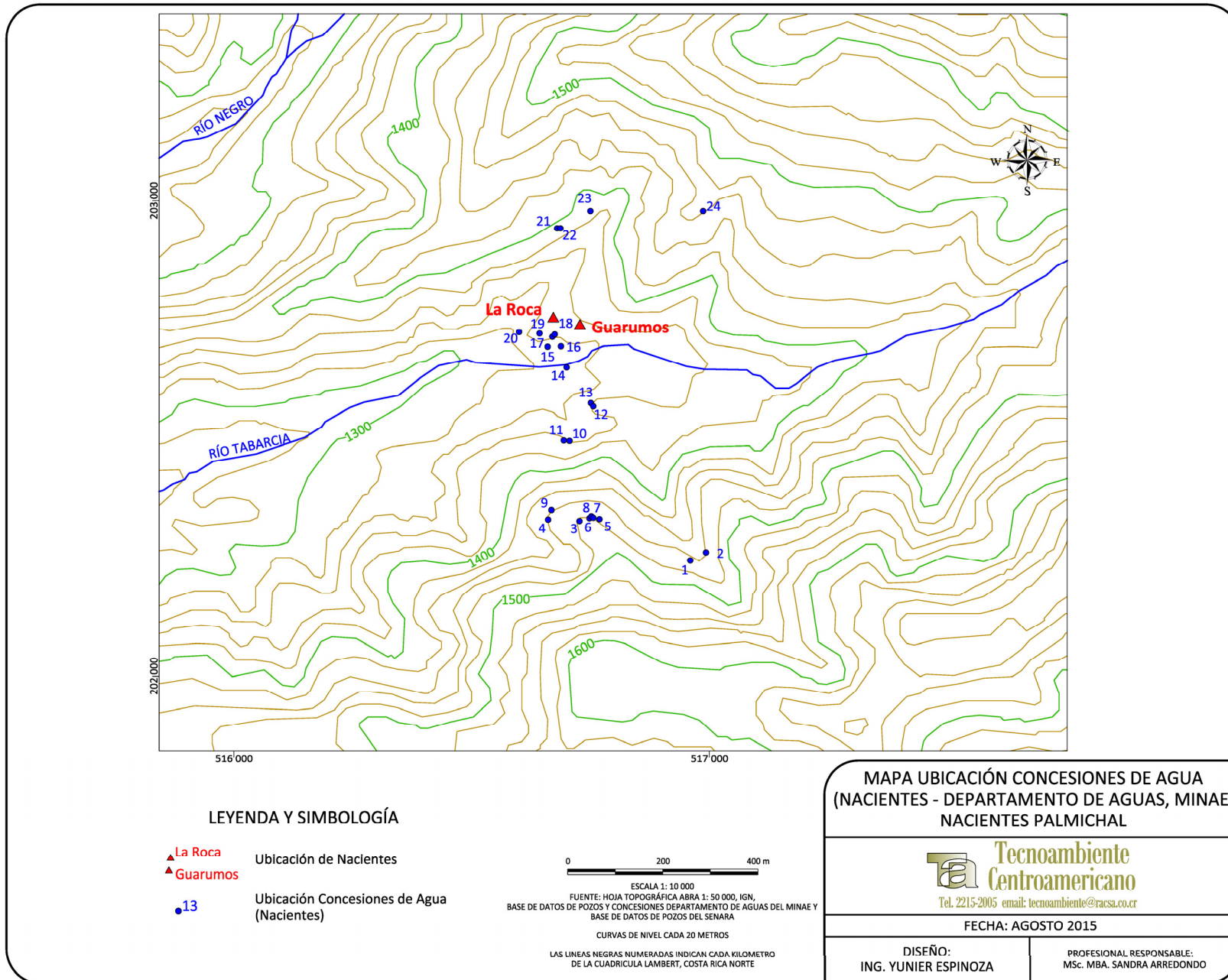


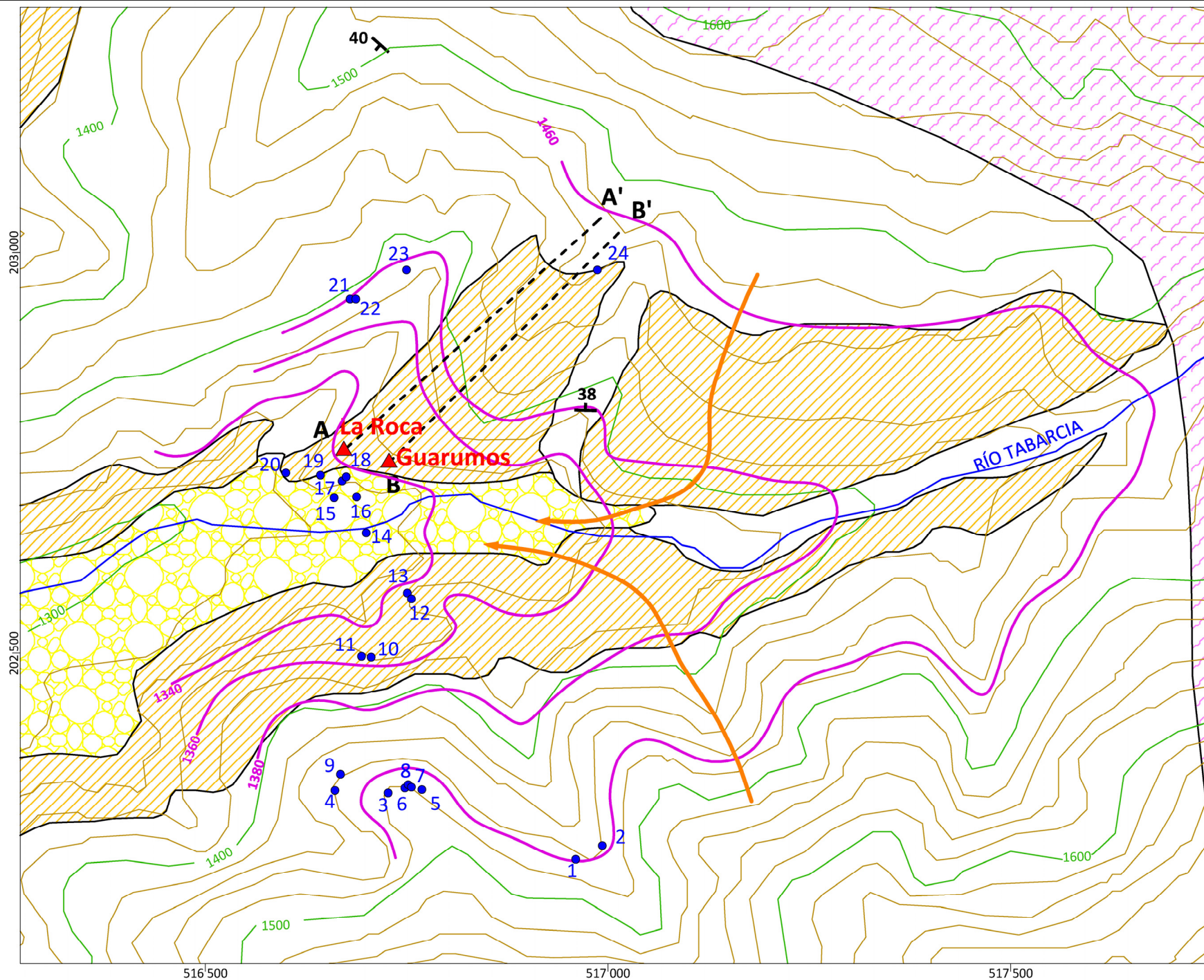
Figura 6. Mapa de Ubicación de concesiones de agua registrados en la Dirección de Aguas (Palmichal).

La delimitación de las isofreáticas consideró los siguientes criterios técnicos:

- a. El acuífero analizado es un acuífero libre y presenta una capa de cobertura de coluvio con una matriz arcillosa en más de un 70%, ésta cubierta permitió realizar las pruebas de permeabilidad en el suelo residual generado a partir de la arcilla de la matriz del coluvio.
- b. Se albergan en las rocas sedimentarias Terciarias que modelan la topografía de la zona.
- c. Todas las nacientes existentes que descarguen un 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 analizado 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 y la ubicación de los perfiles en la Figura 7, y los perfiles hidrogeológicos en la Figura 8.

En los perfiles hidrogeológicos se muestra la estratificación y plegamiento de las rocas sedimentarias como simbología representativa con líneas cóncavas hacia arriba y con base en el mapeo de campos se determina que el piso de nivel que abastece a las nacientes analizadas y otras en la zona corresponde con estratos menos permeables de lutitas que subyacen areniscas fracturadas que albergan al acuífero local.



**CONCESIONES DE AGUA
(DEPARTAMENTO DE AGUAS DEL MINAE)**

N°	EXPE	FUENTE	ESTE (m)	NORTE (m)
1	492-R	NAC 12 PEINE DE MICO	516960	202243
2	492-R	NAC 13 CHILAMATE	516993	202260
3	492-R	NAC 9 EL GUARUMO	516727	202326
4	492-R	NAC 11 LA ROCA	516661	202329
5	492-R	NAC 5 PATO 1	516769	202330
6	492-R	NAC 7 PILETAS 1	516748	202332
7	492-R	NAC 8 PILETAS 2	516756	202333
8	492-R	NAC 6 PATO 2	516752	202336
9	492-R	NAC 10 EL TABACON	516668	202349
10	492-R	NAC 3 BEJUCO 2	516706	202495
11	492-R	NAC 3 EL BEJUCO 1	516694	202496
12	492-R	NAC LAS LORAS 2	516756	202568
13	492-R	NAC LAS LORAS 1	516751	202575
14	492-R	F10	516700	202650
15	492-R	F6	516660	202694
16	492-R	F11	516688	202695
17	492-R	F7	516670	202715
18	492-R	F8	516675	202720
19	492-R	F5	516643	202722
20	492-R	F9	516600	202725
21	492-R	FX	516680	202942
22	492-R	F2A	516687	202942
23	492-R	F2	516750	202978
24	492-R	F1	516987	202978

0 120 240 m

ESCALA 1: 6000
FUENTE: HOJAS TOPOGRÁFICAS ABRA Y CARAIGRES 1: 50 000, IGN, ARIAS & DENYER (1990), DENYER & ARIAS (1990), SOTO, G., 2015, BASE DE DATOS DE POZOS DEL SENARA (AGOSTO 2015) Y BASE DE DATOS POZOS Y CONCESIONES DEPARTAMENTO DE AGUAS, MINAE (AGOSTO 2015)
CURVAS DE NIVEL CADA 20 METROS
LAS LINEAS NEGRAS NUMERADAS INDICAN CADA KILOMETRO DE LA CUADRICULA LAMBERT, COSTA RICA NORTE

LEYENDA Y SIMBOLOGÍA

- La Roca Ubicación de Nacientes
- Guarumos Ubicación de Nacientes
- Fm. Peña Negra, lutitas y areniscas, Mioceno Medio
- Intrusivo de Escazú, Mioceno Superior (aprox. 6 Ma)
- Cornubianitas por metamorfismo de Fm. Peña Negra, Mioceno Superior
- Coluvios con mucha matriz arcillosa >70% y bloques de la Fm. Peña Negra, Mioceno Superior
- Aluviones con bloques métricos, Pleistoceno Superior - Holoceno
- Buzamientos
- Ubicación Concesiones de Agua (Nacientes)
- Isofreáticas Acuífero Peña Negra
- Líneas de flujo
- Ubicación Perfiles Hidrogeológicos

**MAPA HIDROGEOLÓGICO
NACIENTES PALMICHAL**



FECHA: AGOSTO 2015

DISEÑO:
ING. YUNIER ESPINOZA

PROFESIONAL RESPONSABLE:
MSc. MBA. SANDRA ARREDONDO

Figura 7. Mapa hidrogeológico y ubicación de los perfiles hidrogeológicos.

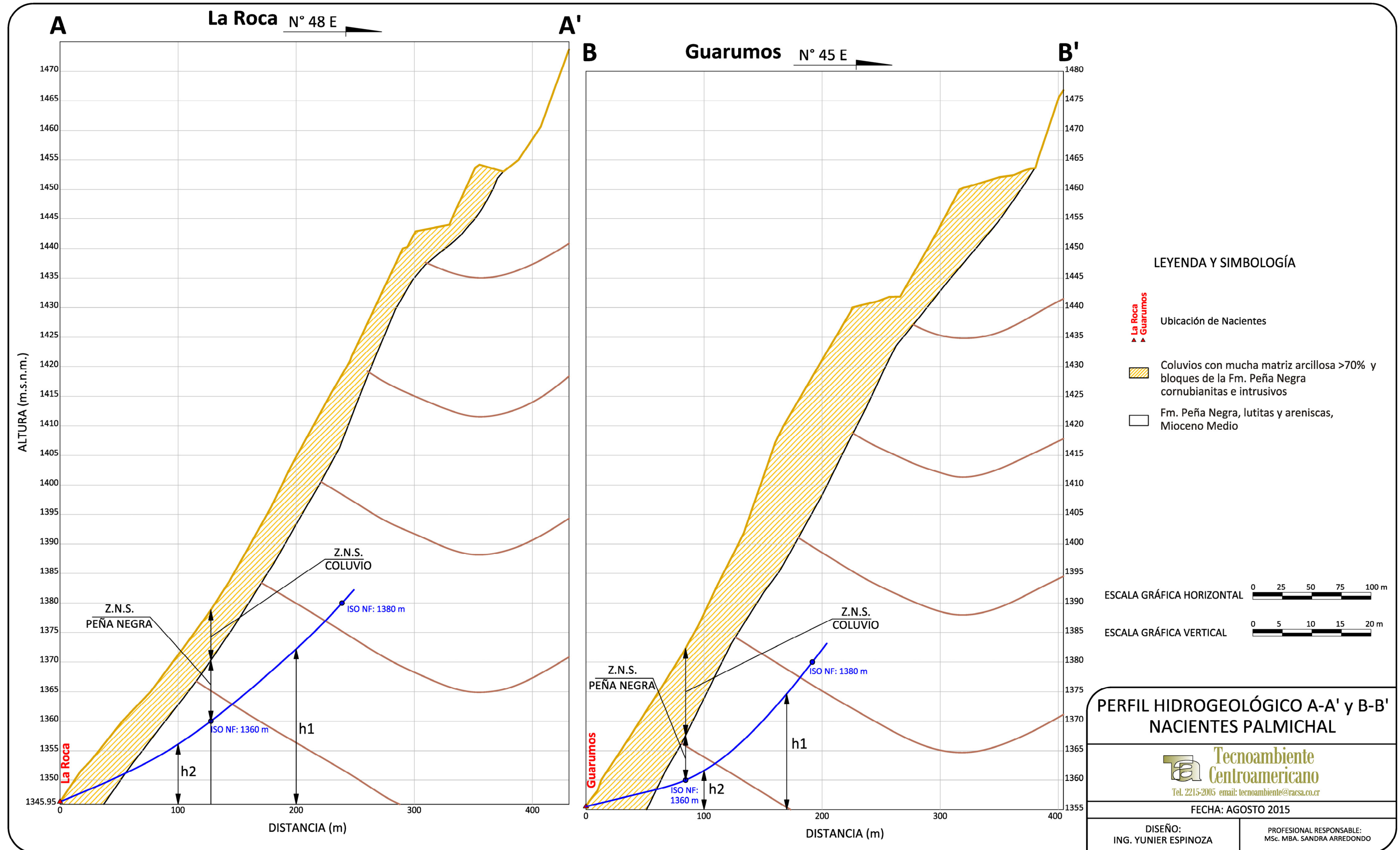


Figura 8. Perfil hidrogeológico A-A' y B-B'.

4 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS

4.1 NACIENTES PALMICHAL





Los resultados obtenidos de porosidad y permeabilidad en el campo para las nacientes de la zona de Palmichal, se presentan en el Cuadro N° 5, 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 la Figura 9.



Cuadro N° 5. Resultados de porosidad (Laboratorio INTA, Anexo N° 2)

N° Muestra	Punto de muestreo para cada naciente	Porosidad (%)
Guarumo	P6	47.91
	P2	42.39
	P3	47.95
	Promedio	46.08
La Roca	P5	48.13
	P4	48.17
	P1	45.26
	Promedio	47.18

De los análisis de permeabilidad realizados se pudo observar que la prueba ejecutada en el punto más cercano a la naciente Guarumos, aportó datos de una permeabilidad tan alta que no se pudo obtener la curva de estabilización de la prueba y por ese motivo no se tomó en cuenta para obtener el promedio del valor de K para el análisis hidráulico de la definición de las zonas de protección.

Cuadro N° 6. Resumen Pruebas de Permeabilidad para el sector de Palmichal (Anexo N° 3)

PUNTO	MUESTRA	POROSIDAD (%)	PERMEABILIDAD (m/d)	ESTE (m)	NORTE (m)	FOTO
GUARUMO	P6	47.91	Extremadamente permeable, no se puede obtener una curva en la prueba realizada. Esta prueba es la prueba realizada más cercana al brote de la naciente.	516676	202742	
GUARUMO	P2	42.39	1.5480	516730	202844	
GUARUMO	P3	47.95	1.9026	516838	202785	
LA ROCA	P5	48.13	0.2264	516676	202742	

LA ROCA	P4	48.17	1.0795	516623	202769	
LA ROCA	P1	45.26	0.1880	516648	202809	

Cuadro N° 7. Resultados de permeabilidad (método Porchet)

N° Muestra	Punto de prueba de permeabilidad para cada Naciente	Permeabilidad(m/d)
GUARUMO	P6 *	ES 95% PERMEABLE
	P2	1.5480
	P3	1.9026
	Promedio	1.7253
LA ROCA	P5	0.2264
	P4	1.0795
	P1	0.1880
	Promedio	0.4979

*: Valor **no tomado en cuenta** para el promedio debido a que el valor registrado en la prueba fue muy alto de los valores registrados en el resto de la zona aledaña, no obstante se realizaron varias pruebas de permeabilidad en sitios cercanos (7 intentos), dando como resultado un valor extremadamente alto en este sitio.

La ubicación de las Pruebas de Infiltración se pueden observar en la Figura 9.

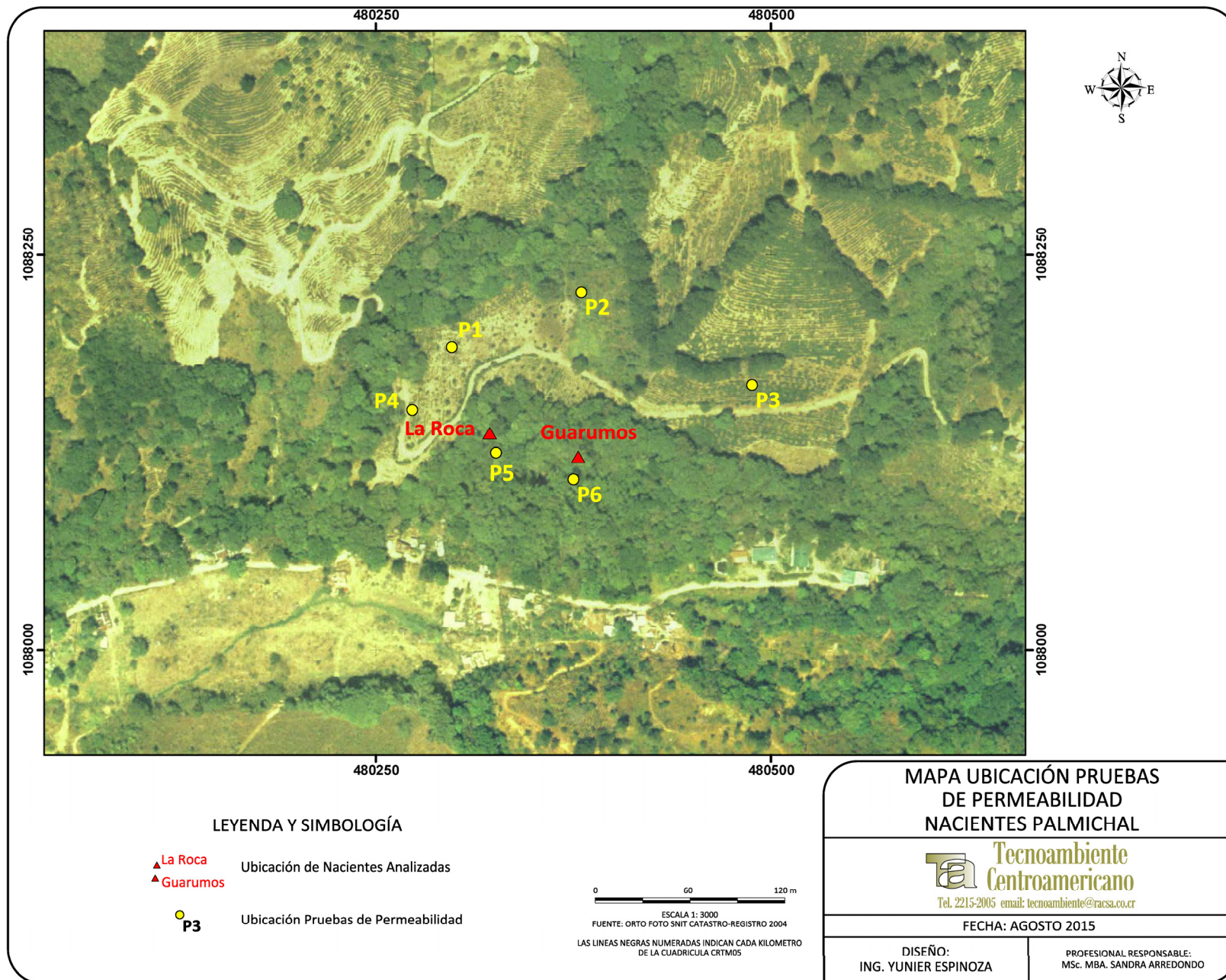


Figura 9. Ubicación Pruebas de Permeabilidad Palmichal.

5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

El acuífero Palmichal se alberga en las rocas sedimentarias de la Formación Peña Negra, presenta flujo fisural y debido a la alternancia de lutitas entre las areniscas que lo conforman, puede mantener niveles colgados por la misma estratigrafía geológica.

Este acuífero descarga en la zona a través de nacientes y posiblemente de igual forma como flujo base de los ríos y quebradas existentes, algunas de las nacientes identificadas por la ASADA local, para el mes de julio del 2015 se encontraban secas o con muy poco caudal, debido a las condiciones de sequía que se ha presentado en el año, no obstante las nacientes seleccionadas para el estudio mantienen un caudal que se capta para abastecimiento público de la comunidad local.

Por la condición topográfica de fuertes pendientes y fracturamiento de la formación sedimentaria, se ha desarrollado un coluvio al pie del talud donde brotan las nacientes analizadas donde se observa la salida de las nacientes, no obstante, con base en las condiciones geológicas e hidrogeológicas evaluadas tanto en campo como con la información existente, se ha definido que el acuífero sedimentario es el que alimenta las nacientes, sin embargo este flujo “atravesará” al coluvio que existe cubriendo una parte de la Formación geológica, situación que se explica en forma gráfica en los perfiles hidrogeológicos de la Figura 8.

El contacto geológico entre el coluvio y las rocas sedimentarias se observó en campo durante el mapeo realizado que permitió delimitar en el mapa geológico el contacto entre este material y las rocas de la Formación Peña Negra en las proximidades de las nacientes.

El flujo del acuífero sedimentario de flujo fisural presenta una dirección regional Este-Oeste, sin embargo localmente para el área específica de las nacientes evaluadas, tiene un rumbo más noreste – suroeste, con una gradiente hidráulica de 0,13 para la naciente Guarumo y de 0,14 para la naciente La Roca.

Los caudales se tomaron a partir de información aportada por la ASADA (Anexo N° 4) y se presentan en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8. Caudales registrados por la ASADA de Palmichal

Naciente	Caudal registrado a abril del 2015 (L/s)
Guarumo	0,91
La Roca	0,22

Los valores presentados en el Cuadro N° 9 se obtuvieron a partir de estudios hidrogeológicos realizados por el British Geological Survey (BGS) y el SENARA (1984) en acuíferos albergados en geología similar a la encontrada en la zona de estudio, además de las investigaciones exhaustivas ejecutadas por Ann Ellis (1983) para las mismas instituciones indicadas (BGS-SENARA), y referencias internacionales como Custodio & Llamas (1984).

Cuadro N° 9. Parámetros hidráulicos del acuífero sedimentario, obtenidos a partir de referencias hidrogeológicas existentes.

Naciente	Porosidad (%)	Permeabilidad (K)(Custodio & Llamas, 1984) (m/día)	Espesor saturado promedio del acuífero (m) tomado de los perfiles hidrogeológicos (b)	Transmisividad (m²/d) (K*b)
Guarumo	25	0,5	10	5,0
La Roca	25	0,5	15	7,5

6 ZONAS DE PROTECCIÓN DE LAS NACIENTES

6.1 NACIENTES EN PALMICHAL

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 de Palmichal:

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

Naciente	Transmisividad (m ² /d)	Gradiente (adimensional)	Caudal (L/s)	Caudal (m ³ /día)	L (ancho del tubo de flujo) (m)
Guarumo	5,0	0,13	0,91	78,624	120,960
La Roca	7,5	0,14	0,22	19,008	18,103

Considerando que el tiempo de residencia máxima de bacterias patógenas para flujos fisurados es de 100 días para flujos fisurados como los del acuífero sedimentario, 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 correspondiente al suelo arcilloso del coluvio que conforma su mismo espesor ya que está formado en su mayor porcentaje por arcillas que engloban los fragmentos rocosos.
- 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 a través del coluvio que contiene mucha matriz arcillosa

Naciente	Espesor ZNS (b) de la cobertura de suelo residual (m)	Θ INTA (Fracción de %)	K Promedios de las pruebas de Porchet (m/d)	t (tiempo de tránsito vertical) días
Guarumo	14,705	46,08	1,73	3,91
La Roca	8,553	47,15	0,49	8,23

Cuadro N° 12. Resultados Tiempos de Tránsito vertical de la Formación Peña Negra

Naciente	Espesor ZNS (b) en la Formación Peña Negra (m)	Θ De rocas sedimentarias (Custodio & Llamas, 1984) (Fracción de %)	K De rocas sedimentarias (Custodio & Llamas, 1984) (m/d)	t (tiempo de tránsito vertical) días
Guarumo	7,601	25	0,5	3,8
La Roca	10,294	25	0,5	5,15

El total en días del tiempo de tránsito para cada naciente se presenta en el Cuadro N° 13

Cuadro N° 13. Resultados Tiempos de Tránsito vertical

Naciente	t total (tiempo de tránsito vertical) días
Guarumo	7,71
La Roca	13,38

Como el tiempo tránsito para medios fisurados como las areniscas, 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° 14.

Cuadro N° 14. Diferencia entre los 100 días menos los obtenidos del cálculo de la ZNS.

Naciente	Tiempo total de transito obtenido de la ZNS (días)	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)
Guarumo	7,71	92,29
La Roca	13,38	86,62

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	Tiempo faltante para calcular en la ZS (días)	θ Acuífero (Custodio & Llamas, 1984) (Fracción de %)	K Permeabilidad de los acuíferos sedimentarios areniscas. (Custodio & Llamas, 1984) (m/d)	Gradiente del acuífero para cada naciente (adimensional)	Distancia de la zona de protección inmediata (m)
Guarumo	92,29	25	0.5	0,13	23,99
La Roca	86,62	25	0.5	0,14	24,25

6.1.2 MÉTODO DEL RADIO FIJO

Para calcular el radio fijo de la naciente analizada, es importante primero que todo hacer una aclaración en relación con las metodologías hidrogeológicas para la evaluación del recurso hídrico que fueron publicadas en el diario oficial La Gaceta N° 147 del 31 de julio del 2012. En estas metodologías en el artículo 11, se define la fórmula para la zona de protección de pozos tomando en cuenta la zona de captura con base en la ecuación analítica de Darcy, con base en el siguiente planteamiento:

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

Pero este cálculo sólo define el radio hidráulico que se generaría por abatimiento del bombeo, no toma en cuenta la cobertura de amortiguamiento que se pueda ubicar sobre el acuífero a captar, en este caso se calcula con la fórmula dada considerando:

- Q= caudal de cada naciente en m³/d.
- t= restantes para alcanzar los 100 días para medios fisurados (Metodologías Hidrogeológicas).
- n= porosidad de las rocas que albergan al acuífero (Custodio & Llamas, 1984) 25% para areniscas.
- 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° 15. Resumen de datos y resultados Método Radio Fijo

Naciente	Caudal (m ³ /d)	Porosidad del acuífero (%)	t Tiempo restante para alcanzar los 100 días (días)	b Espesor saturado del acuífero para cada naciente (m)	Radio fijo (m)
Guarumo	78,624	25	92,29	10	30,39
La Roca	19,008	25	86,62	15	11,82

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° 16. Resultados por medio del Método Grubb.

Naciente	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	Y (max) m
Guarumo	78,624	70	0.5	19,63	6,60	32,194
La Roca	19,008	100	0.5	26,23	10,15	6,496

En el Cuadro N° 17 y Figura 11, se presenta el resumen de las zonas de protección obtenidos por diferentes métodos:

Cuadro N° 17. Zonas de protección absoluta por diferentes métodos para las nacientes de Palmichal

MÉTODO	Guarumo	La Roca
Tiempo de tránsito de degradación de bacterias	23,99	24,25
Radio fijo con tiempos de tránsito	30,39	11,82

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

Cuadro N° 18. Ancho de Captura Método de Darcy

Naciente	L (ancho del tubo de flujo) (m)
Guarumo	120,960
La Roca	18,103

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

Cuadro N° 19. Ancho de Captura Método de Grubb

Naciente	Valor calculado Y max= (m)	Ancho total Y*2= Ancho total máximo por Grubb (m)
Guarumo	32,194	64,388
La Roca	6,496	12,991

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 la naciente Guarumo es de un ancho de la zona de captura de 30,39 m obtenido por el método de Radio Fijo y una zona de protección absoluta de 23,99 m, obtenido por el método de degradación de bacterias.

Para la naciente La Roca, el ancho de la zona de captura o tubo de flujo es de 11,82 m, obtenido por el método de Radio Fijo, sin embargo con base en criterio de experto y la condición geológica de la zona, se establece el ancho de la zona de captura a partir del enunciado de Foster de 15 m alrededor de la naciente y la zona de protección inmediata de 24,25 m, obtenido por el método de degradación de bacterias.

Para ambas nacientes, se ha definido un radio operacional de 15 m alrededor de cada fuente con base en Foster et al, 2003 y una protección aguas abajo de 5 m como medida preventiva, misma que se justifica a partir de las condiciones de permeabilidad encontradas en las cercanías de las nacientes.

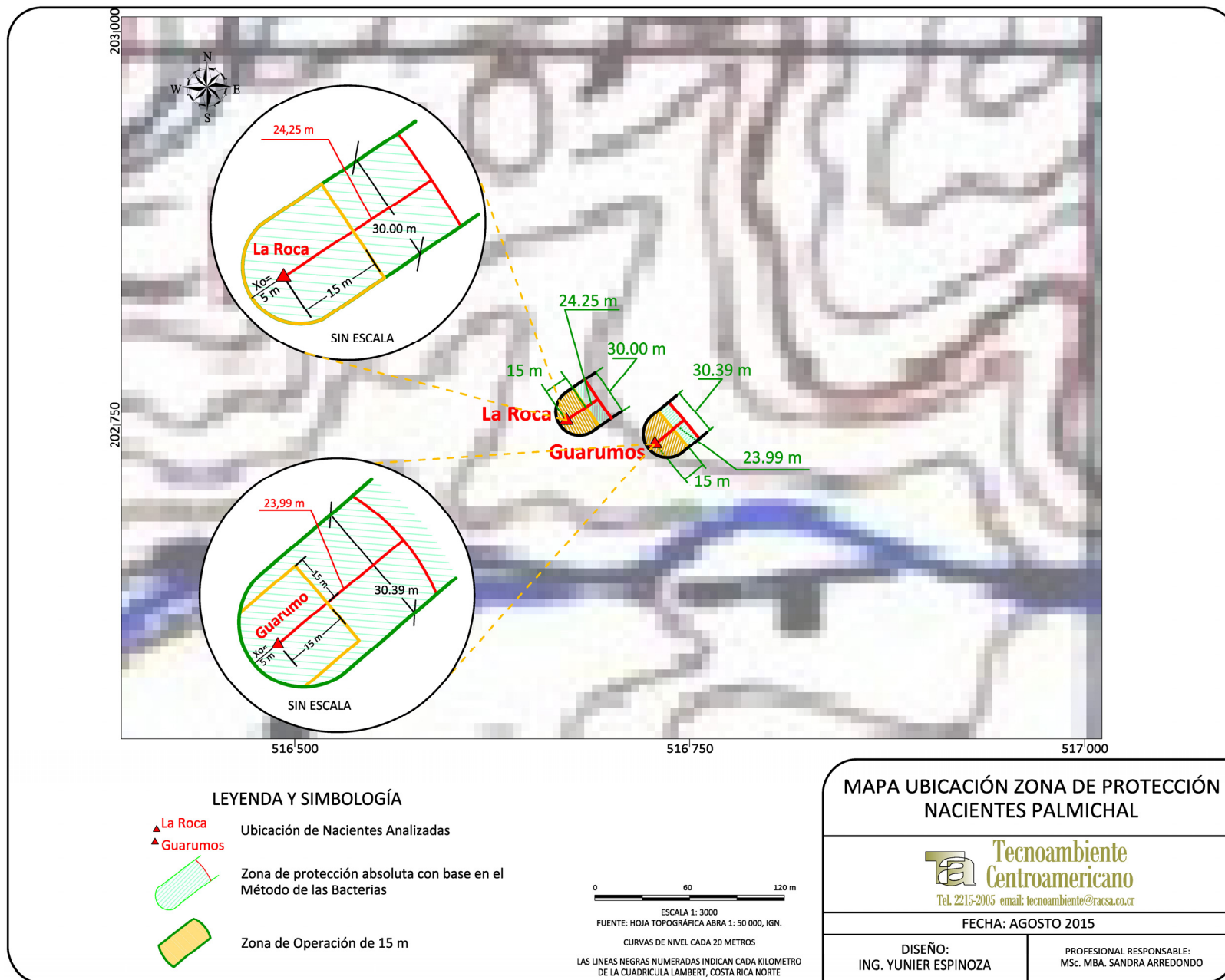


Figura 10. Ubicación Zona de protección de las Nacientes Hoja topográfica.

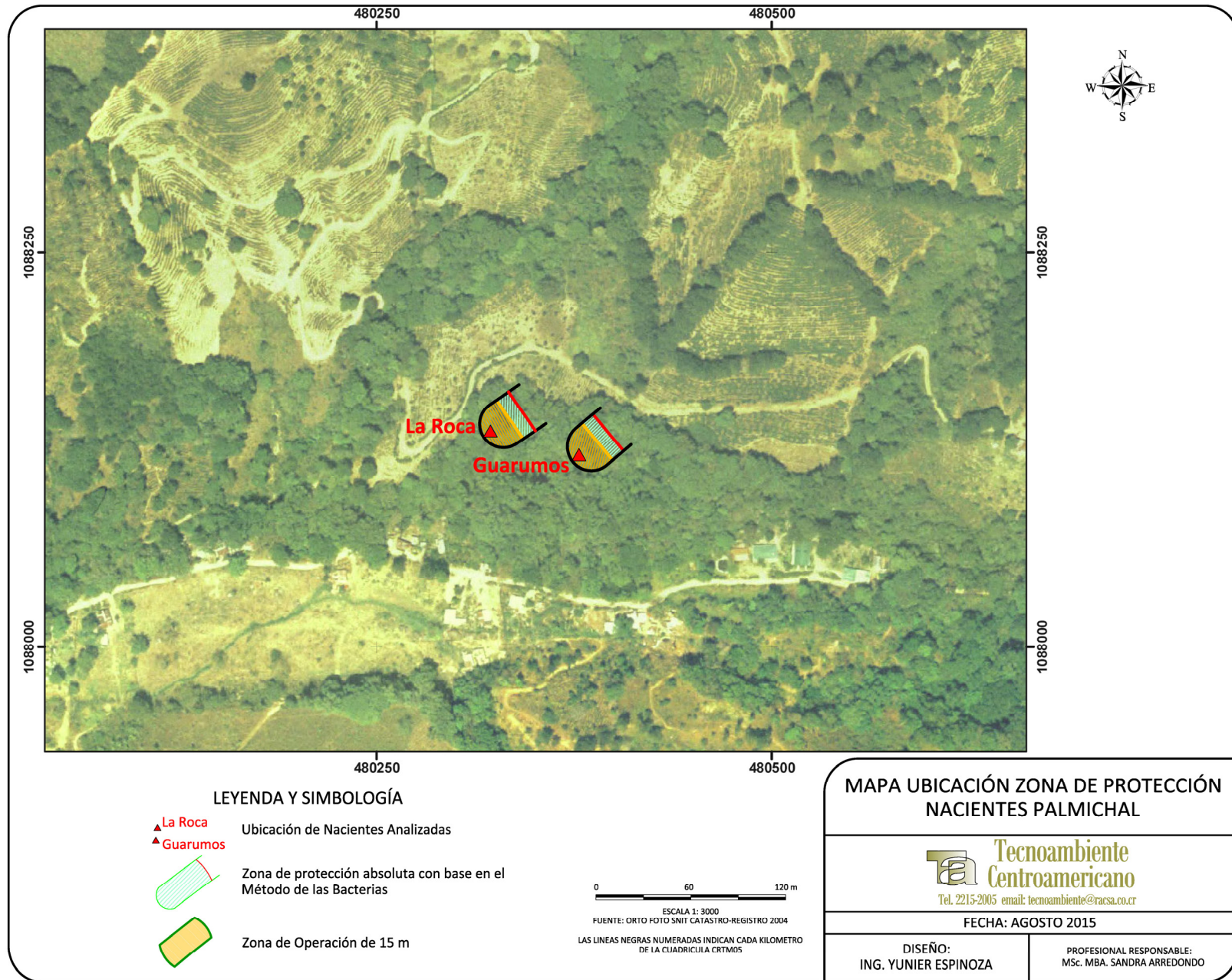


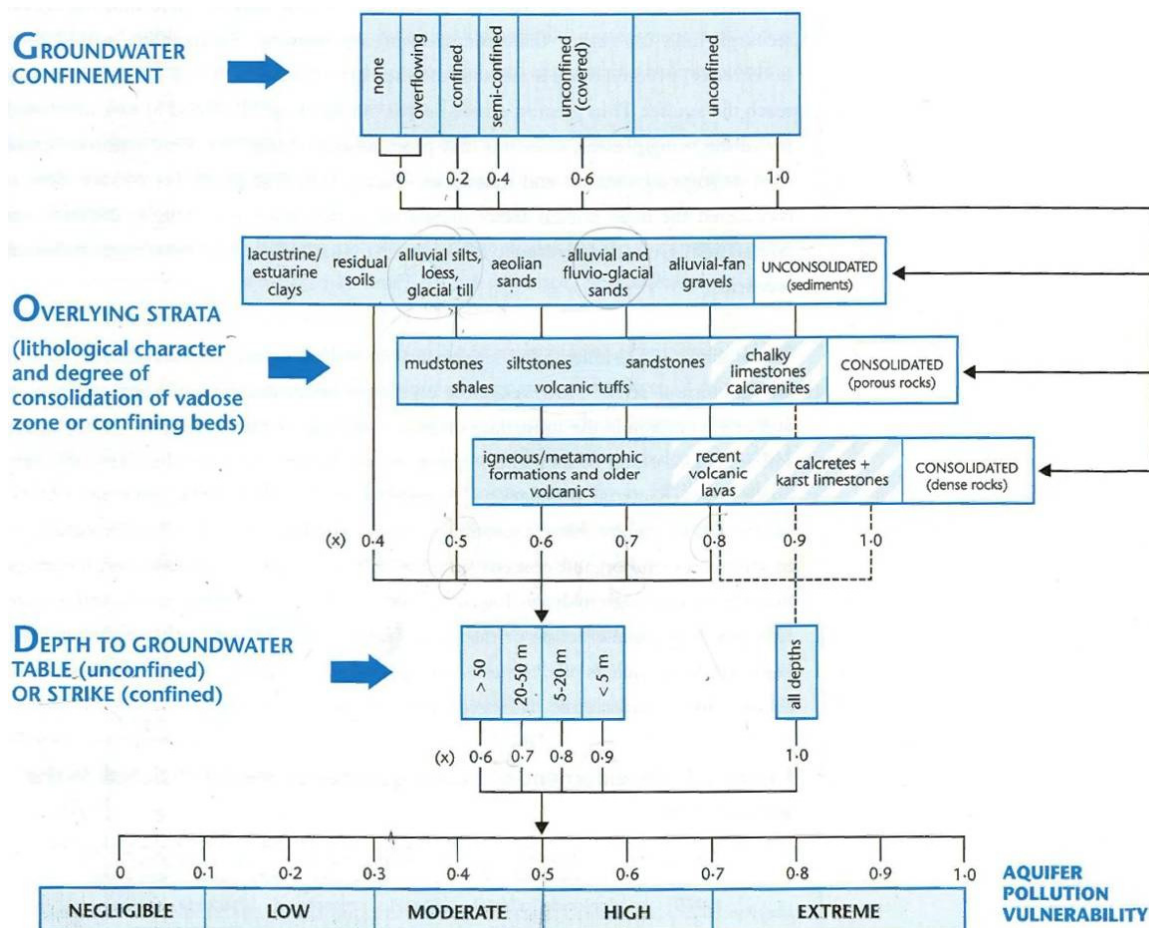
Figura 11. Ubicación Zona de protección de las Nacientes ortofoto.

7 CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE LAS FUENTES

En el Anexo N° 5 se adjuntan los resultados físico químicos y bacteriológicos que hay disponibles del Laboratorio de Análisis San Martín y Laboratorio SupliLab respectivamente aportado por la ASADA de Palmichal de Acosta, de los últimos reportes presentados se puede concluir que la condición de calidad del agua en la actualidad cumple con las normas de potabilidad en las fuentes al momento de la elaboración del presente estudio, no obstante es recomendable realizar muestreos para análisis por lo menos semestrales, tanto físico-químicos como bacteriológicos ya que en las ortofotos de las nacientes evaluadas se observa una extensión del uso del suelo agrícola y ganadero.

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 12).



Fuente: Foster, et al, 2002.

Figura 12. Diagrama determinación de vulnerabilidad acuífera

8.1 ACUÍFERO SEDIMENTARIO FISURADO EN ARENISCAS FORMACIÓN PEÑA NEGRA (NACIENTE GUARUMO)

Clasificación GOD	Descripción del factor	Valor asignado	Tipo de vulnerabilidad
Grado de confinamiento	No confinado cubierto	0.6	Moderado
Tipo de característica litológica de la zona no saturada	Suelo residual en coluvios en la cercanía de las nacientes con alta permeabilidad en este sector	0.7	
Profundidad del nivel freático (promedio cerca de la naciente)	< 5 m	0.9	
Evaluación de vulnerabilidad	0.378		

8.2 ACUÍFERO SEDIMENTARIO FISURADO EN ARENISCAS FORMACIÓN PEÑA NEGRA (NACIENTE LA ROCA)

Clasificación GOD	Descripción del factor	Valor asignado	Tipo de vulnerabilidad
Grado de confinamiento	No confinado cubierto	0.6	Moderado
Tipo de característica litológica de la zona no saturada	Suelo residual en coluvios en la cercanía de las nacientes con alta permeabilidad en este sector	0.7	
Profundidad del nivel freático (promedio cerca de la naciente)	< 5 m	0.9	
Evaluación de vulnerabilidad	0.378		

La vulnerabilidad definida para la zona de protección de cada naciente es de categoría moderada y por esta condición se recomienda que no se permitan actividades que puedan generar contaminación, como lo son actividad porcina, tanques sépticos, aplicación de agroquímicos y la extracción de materiales rocosos (tajos). Otras actividades no mencionadas deberán evaluarse en su momento para determinar si pueden generar algún riesgo o si se podrán aplicar medidas preventivas para evitar posible contaminación.

En la Figura 13, se presenta el mapa de vulnerabilidad acuífera para la zona de estudio.

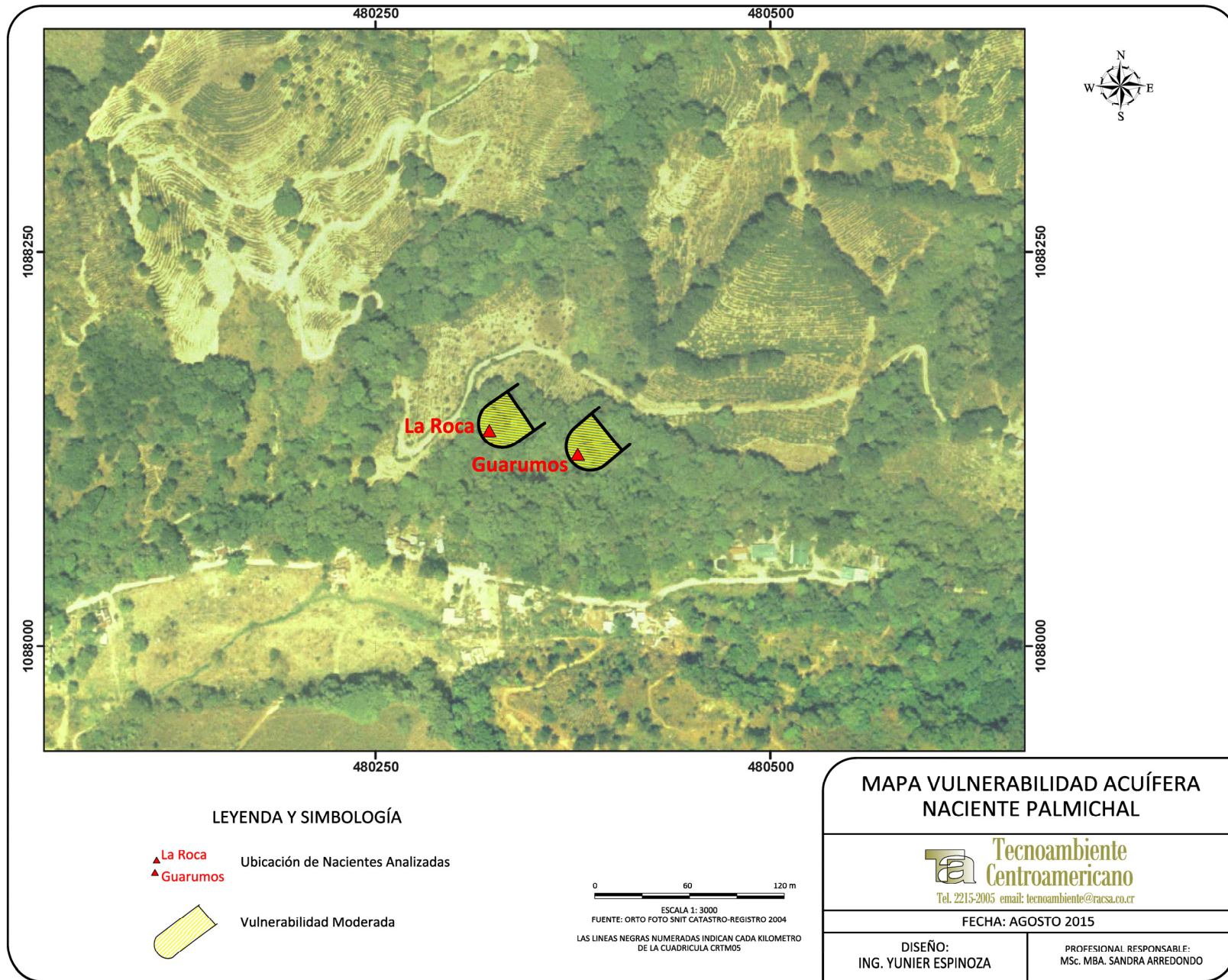


Figura 13. Mapa Vulnerabilidad Acuífera.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la zona de Palmichal de Acosta se ha identificado un acuífero sedimentario albergado en las areniscas fracturadas de la Formación Peña Negra, este acuífero tiene características de acuífero libre sin embargo ha sido cubierto por una capa de coluvio que presenta alta concentración de arcilla (aproximadamente un 70%) en su matriz donde alberga rocas que han caído producto de las fuertes pendientes del terreno y que cubren algunos taludes formados por las rocas sedimentarias mencionadas. El acuífero fluye a través de fracturas y mantiene niveles freáticos este nivel para el caso de las nacientes evaluadas, fluye y brota en superficie a través de la capa de coluvio que se ubica en el talud de las rocas sedimentarias, producto de la geodinámica externa que ha sufrido la zona.

Las nacientes evaluadas denominadas Guarumo y La Roca, presentan caudales relativamente bajos, son captados por la ASADA de la zona, la gradiente hidráulica local para estas nacientes tiene una dirección noreste-suroeste y las zonas de protección calculadas son: para Guarumo, un ancho de 30,39 m con 23,99 m de límite en la zona de protección inmediata y para la naciente La Roca, un ancho de 30,00 m con un límite de la zona de protección inmediata de 24,25 m; adicionalmente se establece para ambos casos el radio de 15 m como zona operativa para cada naciente, definida por Foster et al, 2003 y una protección de 5 m aguas abajo de la toma como medida preventiva, debido a las condiciones geológicas existentes.

La vulnerabilidad analizada a partir del método GOD, demuestra que las nacientes y su entorno se clasifican como vulnerabilidad moderada, situación que genera la recomendación de que no se permitan actividades potencialmente contaminantes en esta zona como lo son la extracción de materiales rocosos (tajos), actividad porcina, tanques sépticos, aplicación de agroquímicos. Otras actividades no mencionadas deberán evaluarse en su momento para determinar si pueden generar algún riesgo o si se podrán aplicar medidas preventivas para evitar posible contaminación.



La evaluación de las nacientes se basa en los reportes actuales de calidad de aguas que por el momento reportan condiciones adecuadas para su uso, sin embargo, se recomienda realizar análisis de calidad de aguas y mediciones de caudales por lo menos semestrales para monitorear el comportamiento de los manantiales a lo largo del año hidrológico y verificar si se mantiene su calidad en el tiempo y la cantidad.

10 REFERENCIAS

- 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.
- Arias, O. & Denyer, P., 1990: Geología de la hoja Caraigres. - Instituto Geográfico Nacional, 1 hoja escala 1:50 000.
- Custodio & Llamas, 1984. Hidrología Subterránea.
- Denyer, P. & Arias, O., 1990: Geología de la hoja Abra. - Instituto Geográfico Nacional, 1 hoja escala 1:50 000.
- Denyer, P. & Arias, O., 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. - Revista Geológica de América Central, 12:1-59.
- 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. – 81 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2009: Atlas Tectónico de Costa Rica. – 55 págs. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José.
- Departamento de Aguas del MINAE, Junio 2015, Base de datos de Concesiones y Pozos Registrados.
- Obando, L.G., 1983: Estratigrafía y petrografía de las rocas aflorantes al sur del Valle Central (Tarbaca). -136 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis Lic].
- Rivier, F., 1979: Geología del área norte de los Cerros de Escazú, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. - Informe Semestral, IGN enero-junio de 1979: 99-132.
- Ruiz, P. & Soto, G.J., 2014: Preparación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos utilizando imágenes lidar en los Cerros de Escazú, cantones Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Santa Ana y Escazú, Costa Rica. – Informe de Consultoría para la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, San José, Costa Rica, 219 pp. + 10 anexos. [Disponible en línea en el ciber sitio: http://www.cne.go.cr/index.php/prevencie-desastres-menuprincipal-93/investigaciones-sobre-riesgos/doc_details/3241-informe-final-lidar-cerros-escazu-ruiz-soto-2014
- Soto, G.J. & Ruiz, P., 2015: Un macizo tectónicamente activo en un área periurbana. El caso de los Cerros de Escazú, al sur de San José, Costa Rica, y su susceptibilidad a deslizarse. – XII Seminario Nacional de Geotecnia (Congeo 2015), San José, Costa Rica, 1º-2 de julio del 2015, 41 pp. [Disponible en línea: http://www.geotecniacr.com/congreso/memoria_articulos.php]
- SENARA, Junio 2015, Base de datos de pozo.

ANEXO N° 1
CARTA APORTADA POR LA ASADA DE PALMICHAL
PARA LA SELECCIÓN DE LAS NACIENTES A
EVALUAR

ANEXO N° 2
RESULTADOS LABORATORIO DEL
INTA, MAG

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

NOMBRE: **TECNOAMBIENTE CENTROAMERICANO S.A.**

FECHA: 29/07/2015

BARRANCA-PALMICHAL-SAN MARCOS

FAX: 2215-2003

INFORME #:

IDENT.		D.aparente	D.Real	Porosidad	
# LAB.	#CAMPO	(gr/cc)	(gr/cc)	(%)	
3447	Puntarenas	1,1 5	2,21	47,9 6	P1-P1
3448	Puntarenas	1,1 2	2,22	49,5 5	P1-P2
3449	Puntarenas	1,1 6	2,19	47,0 3	PI-P3
3450	Puntarenas	1,1 8	2,23	47,0 9	P2-P1
3451	Puntarenas	1,1 5	2,21	47,9 6	P2-P2
3452	Puntarenas	1,2 1	2,26	46,4 6	P2-P3
3453	Acosta	1,2 7	2,32	45,2 6	P1-PALMICHAL
3454	Acosta	1,3 1	2,31	42,3 9	P2-PALMICHAL
3455	Acosta	1,1 4	2,19	47,9 5	P3-PALMICHAL
3456	Acosta	1,1 3	2,18	48,1 7	P4-PALMICHAL
3457	Acosta	1,1 1	2,14	48,1 3	P5-PALMICHAL
3458	Acosta	1,1 2	2,15	47,9 1	P6-PALMICHAL
3459	Tarrazu	1,2 5	2,32	46,1 2	P7-San Marcos-Sta Cecilia
3460	Tarrazu	0,9 8	2,01	51,2 4	P8-San Marcos-Sta Cecilia
3461	Tarrazu	1,0 1	2,04	50,4 9	P9-San Marcos-Sta Cecilia

Ing. Alexis Vargas Villagra



INTA-PALMICHAL

ANEXO N° 3

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

PROYECTO: AyA PALMICHAL (P1)

**PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 1
PALMICHAL P1**

Este (m)	516648.0
Fecha:	08/07/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	35.0
H1 (cm)	13.0
H2 (cm)	7.3
r (cm)	8.6
k (cm/min)	0.0492250

Norte (m)	202809.0
Hora:	
t1 (s)	0.0
t2 (s)	2100.0
H1 (mm)	130.0
H2 (mm)	73.0
r (mm)	86.3
k (mm/s)	0.0082042

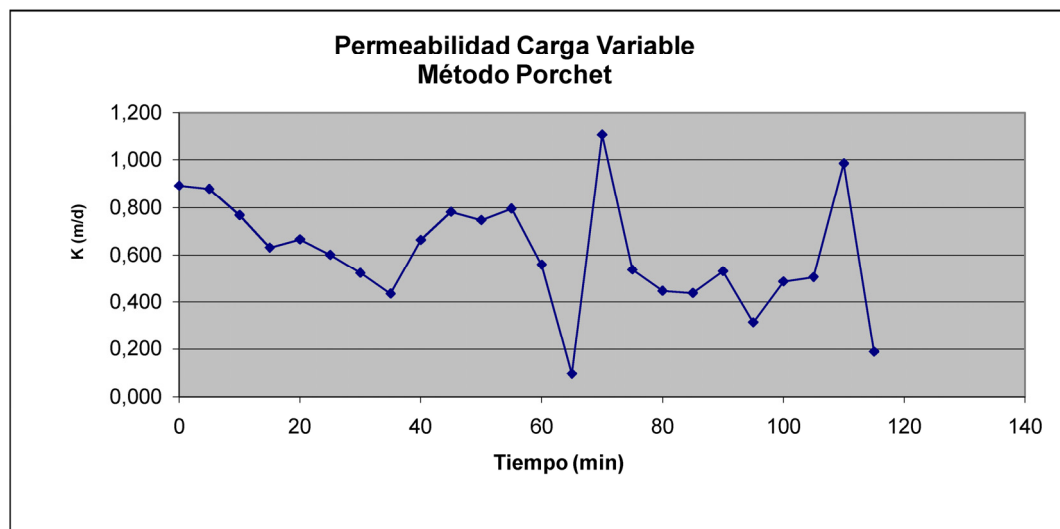
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0243	t2 (seg)	2100.00
H1 (m)	0.1300	H1 (cm)	13.00
H2 (m)	0.0730	H2 (cm)	7.30
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	0.7088401	k (cm/seg)	0.0008204
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	13.0	11.80	8.63	0.0619830	0.0103305	0.8925546	0.0010330
5	10	11.8	10.70	8.63	0.0610148	0.0101691	0.8786132	0.0010169
10	15	10.7	9.80	8.63	0.0533434	0.0088906	0.7681456	0.0008891
15	20	9.8	9.10	8.63	0.0438961	0.0073160	0.6321043	0.0007316
20	25	9.1	8.40	8.63	0.0462491	0.0077082	0.6659871	0.0007708
25	30	8.4	7.80	8.63	0.0417157	0.0069526	0.6007065	0.0006953
30	35	7.8	7.30	8.63	0.0363729	0.0060621	0.5237690	0.0006062
35	40	7.3	6.90	8.63	0.0302440	0.0050407	0.4355137	0.0005041
40	45	13.0	12.10	8.63	0.0460649	0.0076775	0.6633344	0.0007677
45	50	12.1	11.10	8.63	0.0542434	0.0090406	0.7811053	0.0009041
50	55	11.1	10.20	8.63	0.0519168	0.0086528	0.7476013	0.0008653
55	60	10.2	9.30	8.63	0.0552410	0.0092068	0.7954709	0.0009207
60	65	9.3	8.70	8.63	0.0388951	0.0064825	0.5600888	0.0006483
65	70	8.7	8.60	8.63	0.0066564	0.0011094	0.0958524	0.0001109
70	75	8.6	7.50	8.63	0.0768238	0.0128040	1.1062633	0.0012804
75	80	7.5	7.00	8.63	0.0373167	0.0062194	0.5373600	0.0006219
80	85	7.0	6.60	8.63	0.0310605	0.0051767	0.4472709	0.0005177
85	90	13.0	12.40	8.63	0.0304351	0.0050725	0.4382658	0.0005073
90	95	12.4	11.70	8.63	0.0369198	0.0061533	0.5316448	0.0006153
95	100	11.7	11.30	8.63	0.0218285	0.0036381	0.3143310	0.0003638
100	105	11.3	10.70	8.63	0.0338143	0.0056357	0.4869261	0.0005636
105	110	10.7	10.10	8.63	0.0351935	0.0058656	0.5067858	0.0005866
110	115	10.1	9.00	8.63	0.0685033	0.0114172	0.9864477	0.0011417
115	120	9.0	8.80	8.63	0.0130612	0.0021769	0.1880808	0.0002177
					0.0477831	0.0079638	0.6076760	0.0007964



PROYECTO: AyA PALMICHAL (P2)

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 2 PALMICHAL - P2	Este (m)	516730.0	Norte (m)	202844.0		
	Fecha:	08/07/2015	Hora:			
	t1 (min)	0.0	t1 (s)	0.0		
	t2 (min)	10.0	t2 (s)	600.0		
	H1 (cm)	15.0	H1 (mm)	150.0		
	H2 (cm)	9.8	H2 (mm)	98.0		
	r (cm)	8.6	r (mm)	86.3		
	k (cm/min)		0.1353374	k (mm/s)		0.0225562

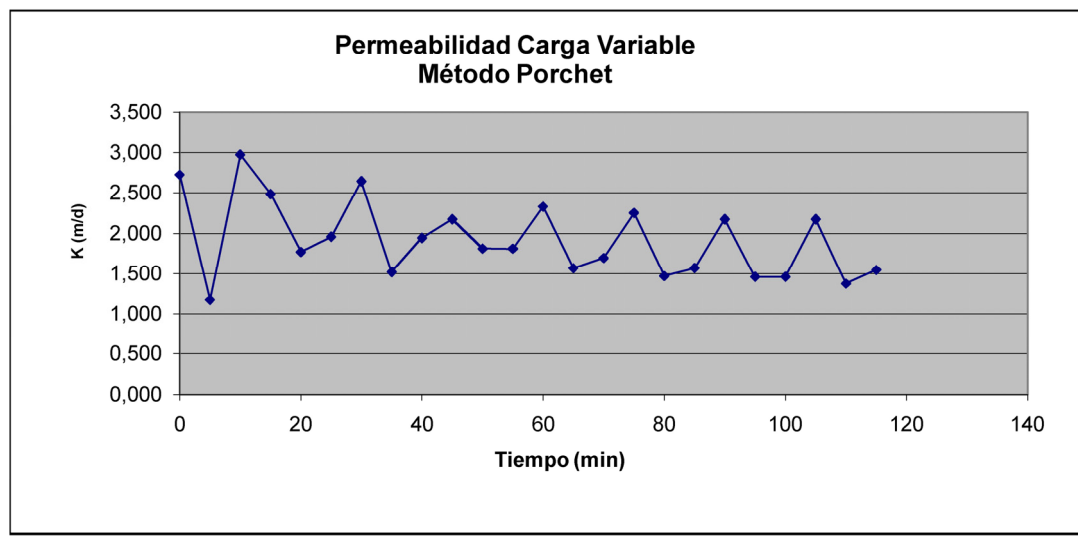
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0069	t2 (seg)	600.00
H1 (m)	0.1500	H1 (cm)	15.00
H2 (m)	0.0980	H2 (cm)	9.80
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	1.9488580	k (cm/seg)	0.0022556
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	15.0	11.20	8.63	0.1890615	0.0315102	2.7224851	0.0031510
5	10	11.2	9.80	8.63	0.0816133	0.0136022	1.1752308	0.0013602
10	15	9.8	6.80	8.63	0.2062074	0.0343679	2.9693864	0.0034368
15	20	15.0	11.50	8.63	0.1725337	0.0287556	2.4844848	0.0028756
20	25	11.5	9.40	8.63	0.1229505	0.0204918	1.7704874	0.0020492
25	30	9.4	7.40	8.63	0.1360261	0.0226710	1.9587759	0.0022671
30	35	15.0	11.30	8.63	0.1835170	0.0305862	2.6426441	0.0030586
35	40	11.3	9.50	8.63	0.1056977	0.0176163	1.5220466	0.0017616
40	45	9.5	7.50	8.63	0.1349603	0.0224934	1.9434283	0.0022493
45	50	15.0	11.90	8.63	0.1509778	0.0251630	2.1740797	0.0025163
50	55	11.9	9.70	8.63	0.1258328	0.0209721	1.8119921	0.0020972
55	60	9.7	7.80	8.63	0.1257251	0.0209542	1.8104421	0.0020954
60	65	15.0	11.70	8.63	0.1616884	0.0269481	2.3283131	0.0026948
65	70	11.7	9.80	8.63	0.1089863	0.0181644	1.5694028	0.0018164
70	75	9.8	8.00	8.63	0.1177305	0.0196217	1.6953190	0.0019622
75	80	15.0	11.80	8.63	0.1563165	0.0260527	2.2509571	0.0026053
80	85	11.8	10.00	8.63	0.1022159	0.0170360	1.4719096	0.0017036
85	90	10.0	8.30	8.63	0.1091016	0.0181836	1.5710635	0.0018184
90	95	15.0	11.90	8.63	0.1509778	0.0251630	2.1740797	0.0025163
95	100	11.9	10.10	8.63	0.1015470	0.0169245	1.4622764	0.0016924
100	105	10.1	8.50	8.63	0.1015345	0.0169224	1.4620970	0.0016922
105	110	15.0	11.90	8.63	0.1509778	0.0251630	2.1740797	0.0025163
110	115	11.9	10.20	8.63	0.0955808	0.0159301	1.3763639	0.0015930
115	120	10.2	8.50	8.63	0.1075007	0.0179168	1.5480095	0.0017917
					0.1459070	0.0243178	1.9195564	0.0024318



PROYECTO: AyA PALMICHAL (P3)

**PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 3
PALMICHAL - P3**

Este (m)	516838.0
Fecha:	08/07/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	10.0
H1 (cm)	14.0
H2 (cm)	7.1
r (cm)	8.6
k (cm/min)	0.2040098

Norte (m)	202785.0
Hora:	
t1 (s)	0.0
t2 (s)	600.0
H1 (mm)	140.0
H2 (mm)	71.0
r (mm)	86.3
k (mm/s)	0.0340016

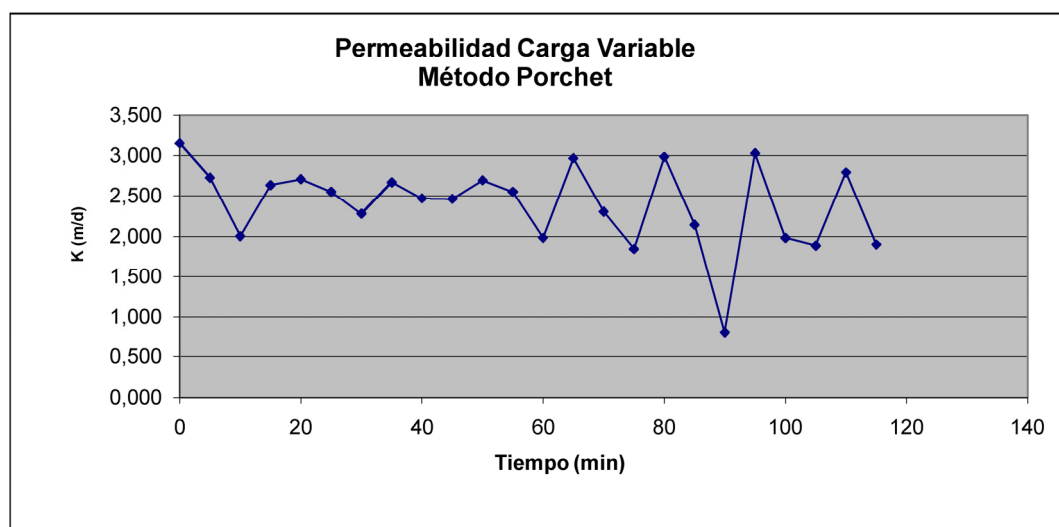
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0069	t2 (seg)	600.00
H1 (m)	0.1400	H1 (cm)	14.00
H2 (m)	0.0710	H2 (cm)	7.10
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	2.9377411	k (cm/seg)	0.0034002
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	14.0	9.90	8.63	0.2187037	0.0364506	3.1493340	0.0036451
5	10	9.9	7.10	8.63	0.1893158	0.0315526	2.7261482	0.0031553
10	15	7.1	5.40	8.63	0.1391650	0.0231942	2.0039754	0.0023194
15	20	14.0	10.50	8.63	0.1830252	0.0305042	2.6355633	0.0030504
20	25	10.5	7.60	8.63	0.1879977	0.0313330	2.7071670	0.0031333
25	30	14.0	10.60	8.63	0.1772196	0.0295366	2.5519625	0.0029537
30	35	10.6	8.10	8.63	0.1583277	0.0263880	2.2799190	0.0026388
35	40	8.1	5.70	8.63	0.1853909	0.0308985	2.6696291	0.0030898
40	45	14.0	10.70	8.63	0.1714528	0.0285755	2.4689205	0.0028575
45	50	10.7	8.00	8.63	0.1710739	0.0285123	2.4634646	0.0028512
50	55	8.0	5.60	8.63	0.1870719	0.0311786	2.6938351	0.0031179
55	60	14.0	10.60	8.63	0.1772196	0.0295366	2.5519625	0.0029537
60	65	10.6	8.40	8.63	0.1377219	0.0229536	1.9831949	0.0022954
65	70	8.4	5.70	8.63	0.2059967	0.0343328	2.9663531	0.0034333
70	75	14.0	10.90	8.63	0.1600335	0.0266723	2.3044827	0.0026672
75	80	10.9	8.80	8.63	0.1281772	0.0213629	1.8457520	0.0021363
80	85	8.8	6.00	8.63	0.2072559	0.0345426	2.9844849	0.0034543
85	90	14.0	11.10	8.63	0.1487634	0.0247939	2.1421925	0.0024794
90	95	10.0	9.10	8.63	0.0560384	0.0093397	0.8069535	0.0009340
95	100	9.1	6.20	8.63	0.2102015	0.0350336	3.0269015	0.0035034
100	105	14.0	11.30	8.63	0.1376385	0.0229397	1.9819943	0.0022940
105	110	11.3	9.10	8.63	0.1310539	0.0218423	1.8871760	0.0021842
110	115	9.1	6.40	8.63	0.1939410	0.0323235	2.7927504	0.0032324
115	120	14.0	11.40	8.63	0.1321294	0.0220216	1.9026631	0.0022022
					0.1756681	0.0292780	2.3969492	0.0029278



PROYECTO: AyA PALMICHAL (P4)

**PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 4
PALMICHAL - P4**

Este (m)	516623.0
Fecha:	08/07/2015
t1 (min)	0.0
t2 (min)	30.0
H1 (cm)	10.0
H2 (cm)	3.4
r (cm)	8.6
k (cm/min)	0.0889093

Norte (m)	202769.0
Hora:	
t1 (s)	0.0
t2 (s)	1800.0
H1 (mm)	100.0
H2 (mm)	34.0
r (mm)	86.3
k (mm/s)	0.0148182

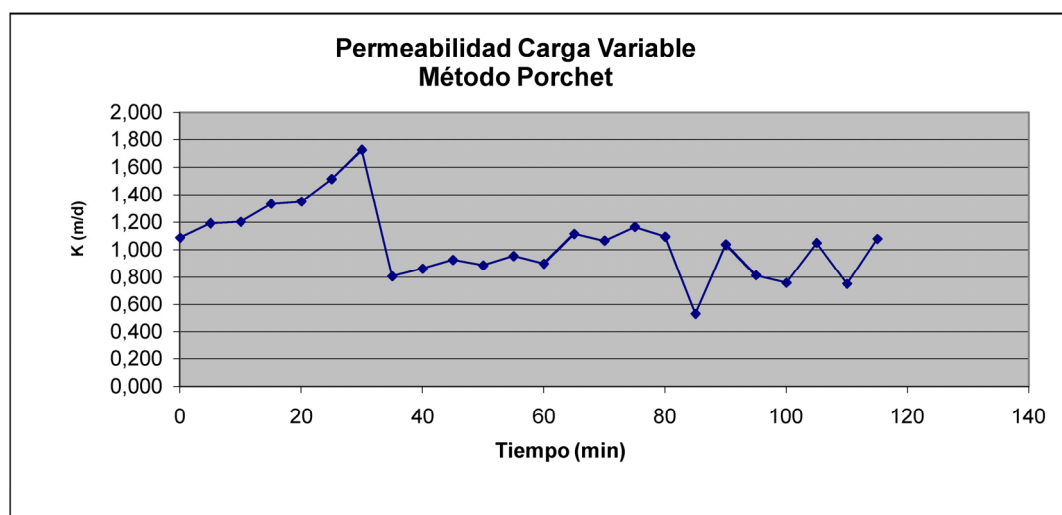
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0208	t2 (seg)	1800.00
H1 (m)	0.1000	H1 (cm)	10.00
H2 (m)	0.0340	H2 (cm)	3.40
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	1.2802946	k (cm/seg)	0.0014818
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	10.0	8.80	8.63	0.0755568	0.0125928	1.0880178	0.0012593
5	10	8.8	7.60	8.63	0.0828122	0.0138020	1.1924955	0.0013802
10	15	7.6	6.50	8.63	0.0835937	0.0139323	1.2037489	0.0013932
15	20	6.5	5.40	8.63	0.0925679	0.0154280	1.3329785	0.0015428
20	25	5.4	4.40	8.63	0.0937437	0.0156240	1.3499096	0.0015624
25	30	4.4	3.40	8.63	0.1051817	0.0175303	1.5146171	0.0017530
30	35	3.4	2.40	8.63	0.1198040	0.0199673	1.7251769	0.0019967
35	40	10.0	9.10	8.63	0.0560384	0.0093397	0.8069535	0.0009340
40	45	9.1	8.20	8.63	0.0599315	0.0099886	0.8630139	0.0009989
45	50	8.2	7.30	8.63	0.0644062	0.0107344	0.9274489	0.0010734
50	55	7.3	6.50	8.63	0.0615865	0.0102644	0.8868461	0.0010264
55	60	6.5	5.70	8.63	0.0663216	0.0110536	0.9550314	0.0011054
60	65	5.7	5.00	8.63	0.0625312	0.0104219	0.9004496	0.0010422
65	70	5.0	4.20	8.63	0.0774945	0.0129158	1.1159214	0.0012916
70	75	4.2	3.50	8.63	0.0740319	0.0123386	1.0660593	0.0012339
75	80	3.5	2.80	8.63	0.0809837	0.0134973	1.1661651	0.0013497
80	85	2.8	2.20	8.63	0.0760286	0.0126714	1.0948117	0.0012671
85	90	10.0	9.40	8.63	0.0369518	0.0061586	0.5321055	0.0006159
90	95	9.4	8.30	8.63	0.0721499	0.0120250	1.0389579	0.0012025
95	100	8.3	7.50	8.63	0.0565409	0.0094235	0.8141888	0.0009423
100	105	7.5	6.80	8.63	0.0527072	0.0087845	0.7589833	0.0008785
105	110	6.8	5.90	8.63	0.0728703	0.0121450	1.0493319	0.0012145
110	115	5.9	5.30	8.63	0.0522398	0.0087066	0.7522538	0.0008707
115	120	5.3	4.50	8.63	0.0749684	0.0124947	1.0795454	0.0012495
					0.0787750	0.0131292	1.0506255	0.0013129



PROYECTO: AyA PALMICHAL (P5)

**PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 5
PALMICHAL - P5**

Este (m)	516676.0
Fecha:	08/07/2015
t1 (min)	5.0
t2 (min)	35.0
H1 (cm)	15.0
H2 (cm)	10.8
r (cm)	8.6
k (cm/min)	0.0352671

Norte (m)	202742.0
Hora:	
t1 (s)	300.0
t2 (s)	2100.0
H1 (mm)	150.0
H2 (mm)	108.0
r (mm)	86.3
k (mm/s)	0.0058779

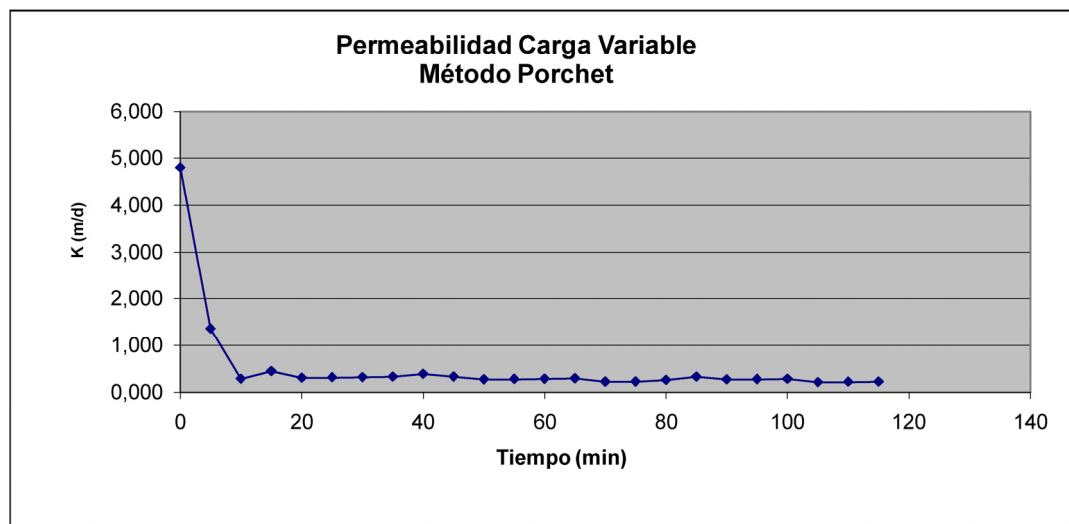
t1 (d)	0.0035	t1 (seg)	300.00
t2 (d)	0.0243	t2 (seg)	2100.00
H1 (m)	0.1500	H1 (cm)	15.00
H2 (m)	0.1080	H2 (cm)	10.80
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	0.5078466	k (cm/seg)	0.0005878
---------	-----------	------------	-----------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5	15.0	8.80	8.63	0.3340892	0.0556815	4.8108846	0.0055682
5	10	15.0	13.00	8.63	0.0943335	0.0157223	1.3584025	0.0015722
10	15	13.0	12.60	8.63	0.0201704	0.0033617	0.2904532	0.0003362
15	20	12.6	12.00	8.63	0.0311680	0.0051947	0.4488192	0.0005195
20	25	12.0	11.60	8.63	0.0214221	0.0035704	0.3084788	0.0003570
25	30	11.6	11.20	8.63	0.0219675	0.0036612	0.3163314	0.0003661
30	35	11.2	10.80	8.63	0.0225413	0.0037569	0.3245944	0.0003757
35	40	10.8	10.40	8.63	0.0231459	0.0038576	0.3333006	0.0003858
40	45	15.0	14.40	8.63	0.0272334	0.0045389	0.3921609	0.0004539
45	50	14.4	13.90	8.63	0.0233700	0.0038950	0.3365275	0.0003895
50	55	13.9	13.50	8.63	0.0191626	0.0031938	0.2759414	0.0003194
55	60	13.5	13.10	8.63	0.0195978	0.0032663	0.2822080	0.0003266
60	65	13.1	12.70	8.63	0.0200532	0.0033422	0.2887658	0.0003342
65	70	12.7	12.30	8.63	0.0205303	0.0034217	0.2956357	0.0003422
70	75	12.3	12.00	8.63	0.0157247	0.0026208	0.2264357	0.0002621
75	80	12.0	11.70	8.63	0.0160165	0.0026694	0.2306382	0.0002669
80	85	15.0	14.60	8.63	0.0180598	0.0030100	0.2600608	0.0003010
85	90	14.6	14.10	8.63	0.0231195	0.0038533	0.3329211	0.0003853
90	95	14.1	13.70	8.63	0.0189522	0.0031587	0.2729113	0.0003159
95	100	13.7	13.30	8.63	0.0193777	0.0032296	0.2790395	0.0003230
100	105	13.3	12.90	8.63	0.0198229	0.0033038	0.2854492	0.0003304
105	110	12.9	12.60	8.63	0.0151718	0.0025286	0.2184738	0.0002529
110	115	12.6	12.30	8.63	0.0154433	0.0025739	0.2223835	0.0002574
115	120	12.3	12.00	8.63	0.0157247	0.0026208	0.2264357	0.0002621
					0.0521734	0.0086956	0.5257189	0.0008696



PROYECTO: AyA PALMICHAL (P6)

PRUEBA DE PERMEABILIDAD # 6 PALMICHAL - P6	Este (m)	516676.0	Norte (m)	202742.0
	Fecha:	08/07/2015	Hora:	
	t1 (min)	0.0	t1 (s)	0.0
	t2 (min)	0.0	t2 (s)	0.0
	H1 (cm)	0.0	H1 (mm)	0.0
	H2 (cm)	0.0	H2 (mm)	0.0
	r (cm)	8.6	r (mm)	86.3
	k (cm/min)	#DIV/0!	k (mm/s)	#DIV/0!

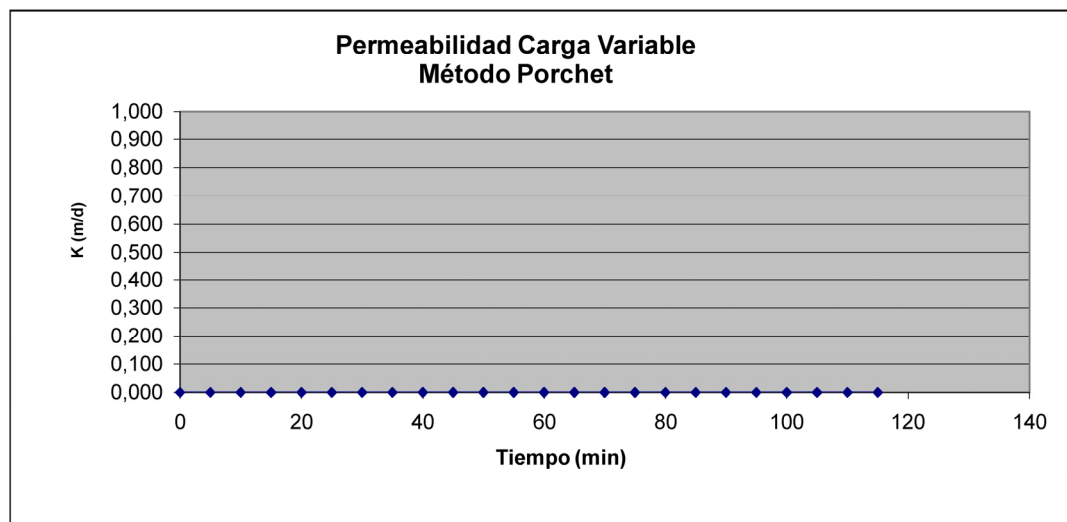
t1 (d)	0.0000	t1 (seg)	0.00
t2 (d)	0.0000	t2 (seg)	0.00
H1 (m)	0.0000	H1 (cm)	0.00
H2 (m)	0.0000	H2 (cm)	0.00
r (m)	0.0863	r (cm)	8.63

FORMULA APLICADA

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

k (m/d)	#DIV/0!	k (cm/seg)	#DIV/0!
---------	---------	------------	---------

T1 (min)	T2 (min)	H1 (cm)	H2 (cm)	Radio (cm)	k (cm/min)	k (mm/s)	k (m/d)	k (cm/seg)
0	5			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
5	10			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
10	15			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
15	20			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
20	25			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
25	30			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
30	35			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
35	40			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
40	45			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
45	50			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50	55			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
55	60			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
60	65			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
65	70			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
70	75			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
75	80			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
80	85			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
85	90			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
90	95			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
95	100			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
100	105			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
105	110			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
110	115			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
115	120			8.63	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
					0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000



ANEXO N° 4
DATOS DE AFOROS APORTADOS POR LA ASADA
DE PALMICHAL



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
 SUBGERENCIA GESTIÓN SISTEMAS COMUNALES
 EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN
 CAUDALES DE AFOROS

Código SICEC: _____ Año: 2015 Nombre Ente Operador: Palmichal de Acosta

Nombre o Lugar	La Lora I
No.	No. 1
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	9.5
1. Tiempo :	7.03
2. Tiempo :	6.73
3. Tiempo :	6.87
4. Tiempo :	5.73
5. Tiempo :	7.01
Total Lp/s :	1.42

Nombre o Lugar	La Lora #2
No.	No. 2
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	9.17
2. Tiempo :	9.05
3. Tiempo :	9.19
4. Tiempo :	8.79
5. Tiempo :	8.98
Total Lp/s :	0.42

Nombre o Lugar	La Lora #2
No.	No. 2
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	6.29
2. Tiempo :	6.21
3. Tiempo :	6.16
4. Tiempo :	6.39
5. Tiempo :	6.27
Total Lp/s :	0.60

Nombre o Lugar	El Buzco I
No.	No. 3
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	7.61
2. Tiempo :	7.53
3. Tiempo :	7.85
4. Tiempo :	7.95
5. Tiempo :	7.65
Total Lp/s :	0.49

Nombre o Lugar	El Buzco #2
No.	No. 4
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	32.73
2. Tiempo :	32.67
3. Tiempo :	32.59
4. Tiempo :	33.01
5. Tiempo :	33.10
Total Lp/s :	0.11

Nombre o Lugar	El Palo I
No.	No. 5
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	8.61
2. Tiempo :	8.41
3. Tiempo :	8.55
4. Tiempo :	8.17
5. Tiempo :	8.79
Total Lp/s :	0.44

Nombre o Lugar	El Palo 2
No.	No. 6
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	3.53
2. Tiempo :	3.35
3. Tiempo :	3.29
4. Tiempo :	3.14
5. Tiempo :	3.58
Total Lp/s :	1.12

Nombre o Lugar	La Pileta #1
No.	No. 7
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	14.41
2. Tiempo :	13.75
3. Tiempo :	14.51
4. Tiempo :	14.45
5. Tiempo :	14.81
Total Lp/s :	0.26

Nombre o Lugar	La Pileta #2
No.	No. 8
Mes	Abril 15
Diametro de tubo o cubeta:	3.8
1. Tiempo :	3.90
2. Tiempo :	4.36
3. Tiempo :	4.34
4. Tiempo :	4.21
5. Tiempo :	3.99
Total Lp/s :	0.91

TOTAL GENERAL DEL CAUDAL:

Lp/s

12.94 l/s



INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
SUBGERENCIA GESTION SISTEMAS COMUNALES

EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN

CAUDALES DE AFOROS

Código SICEO: _____ Año: _____ Nombre Ente Operador: Palmichal de Acosta

Nombre o Lugar	<u>El Buenpaso</u>
No.	<u>9</u>
Mes:	<u>Abril 15</u>
Dímetro de tubo o cubeta:	<u>3.8</u>
1. Tiempo :	<u>3.90</u>
2. Tiempo :	<u>4.36</u>
3. Tiempo :	<u>4.34</u>
4. Tiempo :	<u>4.21</u>
5. Tiempo :	<u>3.99</u>
Total Lp/s :	<u>0,91</u>

Nombre o Lugar	<u>El Tabacon</u>
No.	<u>10</u>
Mes:	<u>Abril 15</u>
Dímetro de tubo o cubeta:	<u>3.8</u>
1. Tiempo :	<u>3,27</u>
2. Tiempo :	<u>3.09</u>
3. Tiempo :	<u>2.99</u>
4. Tiempo :	<u>3.15</u>
5. Tiempo :	<u>2.98</u>
Total Lp/s :	<u>6.04</u>

Nombre o Lugar	<u>La Boca</u>
No.	<u>11</u>
Mes:	<u>Abril 15</u>
Dímetro de tubo o cubeta:	<u>3.8</u>
1. Tiempo :	<u>16.84</u>
2. Tiempo :	<u>16.72</u>
3. Tiempo :	<u>16.86</u>
4. Tiempo :	<u>17.10</u>
5. Tiempo :	<u>16.90</u>
Total Lp/s :	<u>0,22</u>

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

Nombre o Lugar	No.
Mes :	
Dímetro de tubo o cubeta:	
1. Tiempo :	
2. Tiempo :	
3. Tiempo :	
4. Tiempo :	
5. Tiempo :	
Total Lp/s :	

TOTAL GENERAL DEL CAUDAL:

Lp/s

ANEXO N° 5 RESULTADOS

- **FÍSICO QUÍMICOS
(LABORATORIO DE ANÁLISIS SAN MARTÍN)**

- **BACTERIOLÓGICOS
(LABORATORIO SUPLILAB)**