



Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.

Investigador Responsable:
Mario Enrique Arias Salguero
Octubre, 2018



Programa Pequeñas Donaciones del FMAM



Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.

Investigador Responsable:
Mario Enrique Arias Salguero
Octubre, 2018



INDICE GENERAL

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| Objetivo | 3 |
| Metodología | 3 |
| Alcances | 6 |
| Investigadores | 6 |
| ASADAS BENEFICIADAS | 7 |
| ZONAS DE PROTECCIÓN | 11 |
| Metodología Hidrogeomorfológica | 11 |
| Método analítico | 11 |
| Método de isócronas | 13 |
| Método de radio arbitrario | 14 |
| CONTEXTO GEOLÓGICO | 16 |
| CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO | 21 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 27 |
| Conclusiones | 27 |
| Recomendaciones | 31 |
| REFERENCIAS | 35 |
| ANEXOS: Delimitación de las zonas de protección para cada ASADA | |

INTRODUCCIÓN

Este informe final responde al Contrato de Prestación de Servicios entre la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDACIÓN UCR) y la Asociación Administradora del Acueducto y Alcantarillado de San Miguel de Piedades Sur, para el proyecto denominado: *“Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizados por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón”*, realizado por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG) de la Universidad de Costa Rica.

Objetivo

Desarrollar el *“Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizados por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón”*.

Metodología:

El CICG, realizó los estudios para la determinación de zonas de protección de las fuentes seleccionadas de abastecimiento público utilizadas por las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón, en la provincia de Alajuela. La selección de la metodología para la delimitación de las zonas de protección, dependió de la disponibilidad de datos hidrogeológicos y de las condiciones geológicas de cada fuente de agua, su selección estuvo a cargo del investigador responsable.

Por medio del CICG, se brindaron los siguientes insumos, tendientes a satisfacer los términos de referencia establecidos en el contrato respectivo.

- Levantamiento topográfico de 18 fuentes de abastecimiento de agua de interés con un sistema de posicionamiento global (GPS), con un error máximo de 6 metros.
- Establecer las zonas de protección de 10 fuentes de agua seleccionadas, tomando en consideración el caudal concesionado de cada fuente, el tipo de acuífero, la condición topográfica, y el grado de información disponible.
- Una presentación pública de los resultados obtenidos.

Para cumplir con lo anterior se realizó:

- Representación cartográfica a escala 1:50 000, de la ubicación de las 18 fuentes de abastecimiento seleccionadas.
- Recopilación en las bases de datos institucionales de la información de pozos y nacientes en un radio de 2 km² alrededor del punto de interés.
- A partir de la calidad y cantidad de información disponible en los informes de perforación recopilados, se determinaron las características hidrogeológicas del sitio: profundidad del nivel de agua subterránea, parámetros hidráulicos, tipo de acuífero y perfiles hidrogeológicos.
- A partir de la información disponible de los manantiales y pozos existentes en la zona, se estableció el mapa correspondiente a las isopotenciales.
- Representación cartográfica a escala 1:50 000 y descripción de la geología regional obtenida a partir de fuentes secundarias disponibles.
- El aforo respectivo a las 10 fuentes de abastecimiento seleccionadas para el estudio de zonas de protección, siempre y cuando existan las condiciones técnicas propicias para ello.
- A las 10 fuentes de abastecimiento seleccionadas para el establecimiento de la zona de protección, se realizó el levantamiento geológico, mismo que se representa a la escala de los mapas oficiales disponibles (200 m alrededor del sitio de interés).
- A las 10 fuentes de abastecimiento seleccionadas para el establecimiento de la zona de protección, se realizó el levantamiento del uso del suelo actual, mismo que se representa a la escala de los mapas oficiales disponibles (200 m alrededor del sitio de interés).
- A las 10 fuentes de abastecimiento seleccionadas para el establecimiento de la zona de protección, se tomó una muestra de suelo para determinar su clasificación granulométrica y porosidad, y en el mismo sitio se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo.
- Representación cartográfica con la delimitación de las zonas de protección obtenidas técnicamente para las 10 fuentes seleccionadas, junto con las zonas de reserva arbitraria establecida en el inciso a del artículo 31 de la Ley de Aguas N. 276, para las 18 fuentes en total.

Los procedimientos generales empleados en esta investigación fueron:

- Obtener información interinstitucional: SENARA, Ministerio de Ambiente, Energía (MINAE), específicamente a las dependencias del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y Dirección de Aguas (DA), Instituto Geográfico Nacional (IGN), Comisión Nacional de Emergencias y sistema de bibliotecas de la UCR, entre otras.
- Giras a la zona para recolección de datos de campo, principalmente; hidrogeológicos, de geología, geotécnicos (medición in situ) y de uso de la tierra.
- Analizar y sistematizar la información recopilada y de resultados.
- Representación cartográficamente la información recolectada, interpretada y generada en mapas referidos al sistema de coordenadas Lambert (Costa Rica Norte). Sin embargo y en conformidad con el decreto 33797-MJ-MOPT, del 6 de junio del año 2007, se procedió a referir además en los mapas las coordenadas correspondientes con el sistema CRTM-05.
- Elaboración de mapas, redacción de informes parciales, elaboración, integración y edición del informe final.

El CICG entregó informes de avance y final del estudio, con las siguientes características:

- Un plan de trabajo inicial para la realización del proyecto, conteniendo los siguientes aspectos: objetivos, metodología, cronograma de actividades y productos a obtener.
- Un informe final a los seis meses de la firma del respectivo contrato, que presente el documento y presentación final del estudio.

La remuneración se ejecutó en dos tramos, contra la entrega y aprobación de los productos establecidos, tal y como se establece en el contrato respectivo.

Las ASADAS seleccionadas, brindaron en la medida de sus posibilidades la información base para el inicio de esta investigación, entre otras cosas: facilidades de acceso (permisos y acompañamiento a la fuente de agua), pruebas disponibles de calidad de agua y datos de aforos realizadas para las diferentes fuentes de abastecimiento seleccionadas.

Alcances

El presente estudio fue realizado bajo los términos de referencia aprobado por las partes y aceptado en el contrato respectivo. Estos términos pueden ser diferentes a los utilizados por diversas instituciones estatales relacionadas con la gestión del recurso hídrico.

Investigadores

En la ejecución del presente proyecto participaron en diferentes etapas los siguientes profesionales:

- José Daniel López Oviedo: en la recolección de información bibliográfica, trabajo de campo, elaboración de figuras y redacción general.
- Mario Arias Salguero: quien fungió como investigador responsable del proyecto; trabajando en la coordinación entre la ASADA de San Miguel y las otras beneficiarias del proyecto, así como con el enlace del Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD y la FUNDACIÓN UCR, responsable de la ejecución del presupuesto administrado por la FUNDACIÓN UCR, supervisor del trabajo de campo y de los avances de investigación, así mismo; en la revisión, redacción y edición del informe final.

A nivel técnico participaron el funcionario del CICG: señor Ricardo Pastrana Chacón, en la recolección de información de campo y en la realización de diversas pruebas entre ellas: infiltración, muestreo de suelos. Así mismo los asistentes de investigación: Cinthya Solano, Luigi Sojo, y Gerardo Chaves.

ASADAS BENEFICIADAS

La programación original de las ASADAS seleccionadas se realizó en el marco del proyecto de Pequeñas Donaciones Costa Rica, Número: COS/SGP/OP6/Y1/ESP/STAR/CC/2018/29 y titulado: *Mejora de la resiliencia de los ecosistemas que protegen las fuentes de agua superficiales y subterráneas de las ASADAS de la Región de San Ramón, ubicadas en la cuenca del Río Barranca*, y se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1: Lista de ASADAS seleccionados en el estudio

| ASADA | Número de Manantiales |
|--|-----------------------|
| Bureal | 2 |
| El Carmen | 2 |
| El Salvador | 1 |
| La Guaria, Quebradilla y San Francisco | 2 |
| Piedades Sur | 4 |
| Potrerillos | 3 |
| San Miguel de Piedades Sur | 4 |

Ordenadas Alfabéticamente por ASADA

Los Manantiales estudiados, se encuentran ubicados dentro del Distrito de Piedades Sur, siendo el quinto del cantón de San Ramón, provincia de Alajuela. Presenta un área de 115,63 km² (Municipalidad de San Ramón, 2018) con una población de 4 405 habitantes (INEC, 2018). Limita al norte con el distrito de Piedades Norte, al Sur con el distrito de Santiago y el cantón de Esparza, al este con el distrito de Alfaro y parte del distrito de Santiago y al Oeste con el distrito de Zapotal (Municipalidad de San Ramón, 2018).

Durante las primeras visitas realizadas, se ubicaron un total de 22 fuentes de agua pertenecientes a las siete ASADAS que abastecen la mayor parte de las poblaciones ubicadas dentro del distrito. El cuadro 2 y la figura 1 muestran la ubicación de los manantiales visitados. La visita a las 23 fuentes de agua fue con el objetivo de establecer criterios de priorización para seleccionar los 10 manantiales a los que se les realizaría el estudio de zonas de protección.

La priorización fue realizada durante un taller llevado a cabo el 11 de mayo del año 2018, en la cual participaron las ASADAS. La recomendación de priorización de las 10 nacientes fue elaborada por funcionarios de la UCR contemplando criterios como caudal de la fuente, población abastecida y uso de suelo alrededor. La recomendación fue discutida y aprobada por el conjunto de las ASADAS, quedando de la siguiente manera (cuadro 3).

Cuadro 2: Resumen de los manantiales y pozo visitados.

| ASADA | Naciente | Longitud CRTM05 | Latitud CRTM 05 |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Bureal | Los Alpes | 438449 | 1120497 |
| | Efraín Rodríguez | 438142 | 1119691 |
| | Francisco Montero | 437238 | 1119892 |
| | El Arca de Alemania | 438379 | 1121371 |
| El Carmen | El Cañal | 439386 | 1116845 |
| | Belén | 438769 | 1117094 |
| | Naciente sin denunciar | 438768 | 1117045 |
| El Salvador | El Salvador | 435042 | 1115328 |
| La Guaria, Quebradilla y San Francisco | Abundancia | 438750 | 1118619 |
| | Esperanza | 438746 | 1118643 |
| Piedades Sur | Captación 1 | 439633 | 1119101 |
| | Captación 2 | 439656 | 1119101 |
| | Captación 3 | 439663 | 1119094 |
| | Captación 4 | 439673 | 1119091 |
| Potrerillos | Cueva de los Leones | 435892 | 1119899 |
| | Masís 1 | 436375 | 1119017 |
| | Masís 2 | 436486 | 1119160 |
| San Miguel de Piedades Sur | Alcantarilla | 441558 | 1120637 |
| | El Guarumo | 442011 | 1120366 |
| | Bajo Barrantes | 442966 | 1118282 |
| | Pozo | 443348 | 1118815 |
| | Miguel Aredondo | 441647 | 1120581 |
| | La Bambú | 441547 | 1120623 |

Ordenadas Alfabéticamente por ASADA

Cuadro 3: Lista de ASADAS y Manantiales seleccionados para la delimitación de las zonas de protección

| ASADA | MANANTIAL |
|--|-------------------------------------|
| Bureal | Francisco Montero |
| | Los Alpes |
| El Carmen | Belén |
| El Salvador | Lizano |
| La Guaria, Quebradilla y San Francisco | La Abundancia |
| Piedades Sur | Las cuatro fuentes (F1,F2, F3 y F4) |
| Potrerillos | Masis 1 |
| | Masis 2 |
| San Miguel de Piedades Sur | Bajo Barrantes |
| | La Alcantarilla |

Ordenadas Alfabéticamente por ASADA

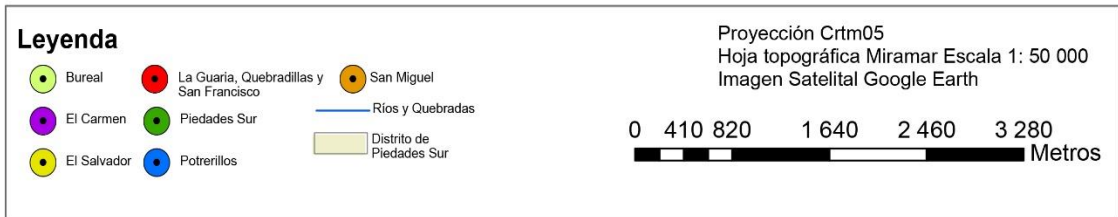
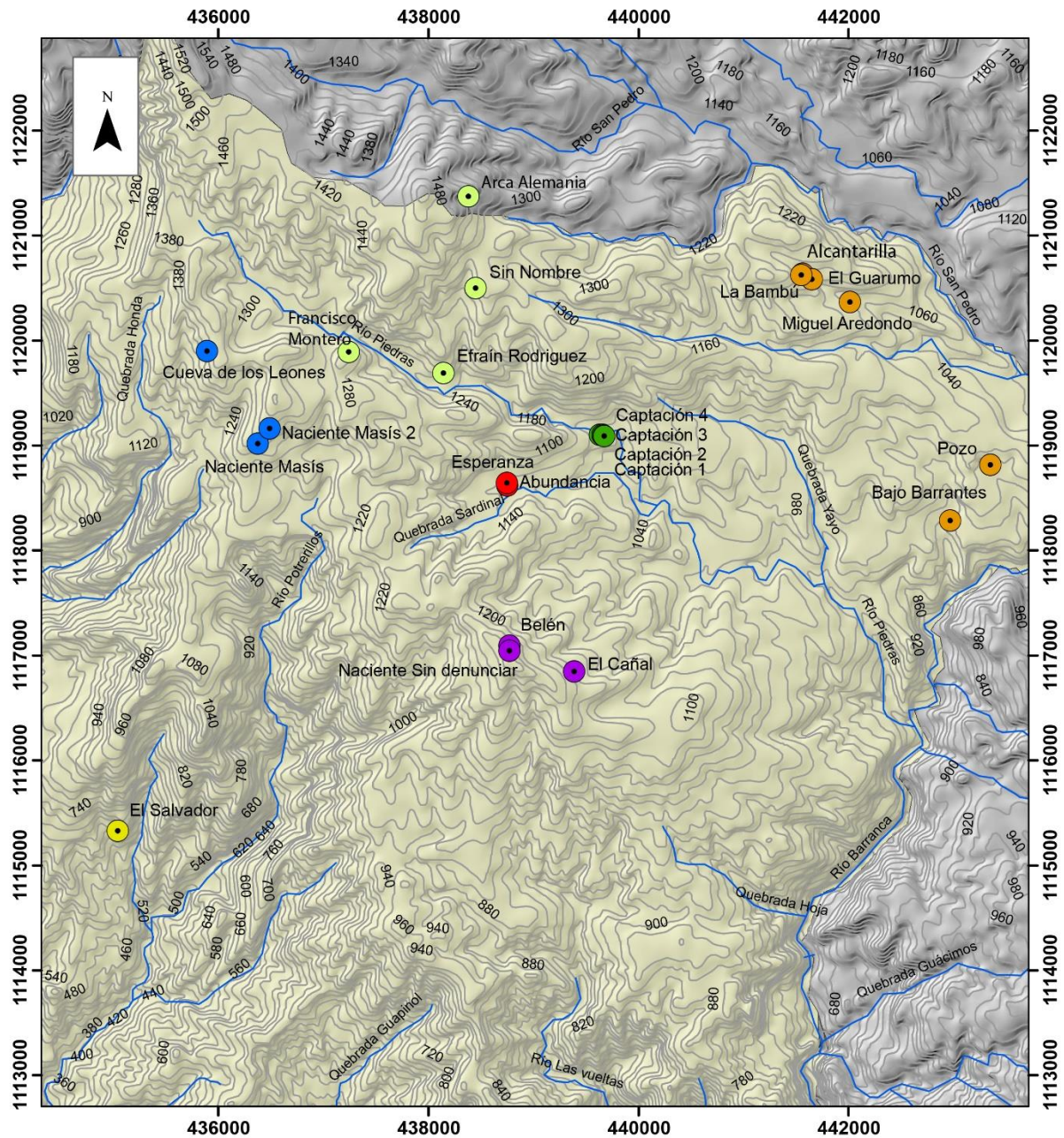


Figura 1: Mapa de ubicación de las fuentes visitadas en la etapa preliminar

ZONAS DE PROTECCIÓN

La protección del agua subterránea, se realiza de una manera diferenciada en función de la escala de trabajo, sea a nivel de acuífero o a nivel de manantial o pozo. En el primer caso, lo que corresponde es la elaboración del mapa de vulnerabilidad, mientras que en el caso de manantiales y pozos lo que procede es la determinación de los tubos de flujo y delimitación de las zonas de protección.

La zona de protección de un manantial, puede ser definida como el área de captura de la recarga (tubo de flujo), es decir; el perímetro en el que la recarga al acuífero será captada por el manantial de abastecimiento de agua en consideración.

Por su parte, la zona de protección de un pozo, es la definición de una zona alrededor en la que se prohíben o limitan determinadas actividades humanas regulándose o controlándose el uso del suelo.

La delimitación de los perímetros de protección de los manantiales y pozos puede ser realizada utilizando una amplia variedad de métodos, cuya selección dependerá fundamentalmente del contexto hidrogeológico y de la disponibilidad de los datos.

Metodología hidrogeomorfológica

La metodología hidrogeomorfológica fue propuesta por Losilla (1992), definiendo el área de protección con base en las divisorias de la cuenca hidrológica donde se encuentra. Para esto se asume que los límites de la cuenca hidrogeológica y la hidrológica son los mismos; se sigue la curva de nivel que corresponde a la altura del manantial, a ambos lados del mismo, hasta cruzar un río influente; a partir de esto se sigue por las divisorias de la sub-cuenca hasta unirse en la parte superior. Esta metodología es apta para delimitar zonas de recarga de manantiales originados por acuíferos someros.

Método analítico

El método analítico ha sido descrito por varios autores (Tood, 1980; Fetter 1994; Mc Whorter & Sunada, 1999; recopilado y ejemplificado en Vargas, 2002). Esta metodología se aplica dependiente del régimen del acuífero (ya sea libre o confinado) y se calcula el ancho máximo de la zona de captura (Tubo de Flujo) en el sentido perpendicular a la dirección de flujo. Los modelos analíticos están esencialmente limitados por varias hipótesis que

restringen su uso en condiciones hidrogeológicas complejas, sin embargo; constituyen una buena opción en aquellos sectores donde se tienen suficientes datos.

La metodología analítica define un ancho máximo de la zona de captura para un acuífero libre utilizando la siguiente ecuación:

$$Y_{\max} = \pm Q \cdot L / [K \cdot (h_1 - h_2)^2] \quad \text{Ecuación: 1}$$

Para el largo del tubo se flujo se utiliza la siguiente ecuación:

$$X = -y / \tan [\pi \cdot k \cdot (h_1 - h_2)^2 \cdot y / Q \cdot L] \quad \text{Ecuación: 2}$$

Y para su punto de no retorno aguas abajo:

$$X_0 = -Q \cdot L / [\pi \cdot K \cdot (h_1 - h_2)^2] \quad \text{Ecuación: 3}$$

Donde:

Y= Valor de la coordenada en el eje Y en un sistema de coordenadas Cartesianas.

X= Valor de la coordenada en el eje X en un sistema de coordenadas Cartesianas.

K= Conductividad hidráulica del medio (m/d).

Q= Caudal (m³/d).

L= Longitud entre dos puntos de observación del nivel Freático, obtenido del mapa de equipotenciales (m).

h₁ = Elevación mayor del nivel freático (m).

h₂ = Elevación menor del nivel freático (m).

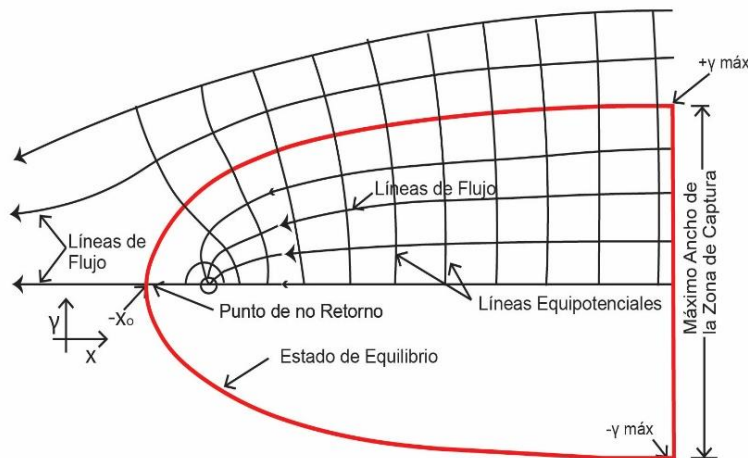


Figura 2: Metodología analítica para el cálculo de zona de protección de manantiales. (Fetter, 1998).

Para completar las ecuaciones 1, 2 y 3, es necesario obtener el valor de permeabilidad del Acuífero (K), para ello se debe contemplar que para pozos con pruebas de bombeo se obtendrá el valor K del resultado de la siguiente ecuación:

$$T = K \cdot b, \text{ donde } K = T/b \quad \text{Ecuación: A}$$

Léase:

K = Permeabilidad del Acuífero.

T = Transmisibilidad del acuífero en m^2/d .

b = Espesor del Acuífero.

Metodología Isocronas

La metodología de isócronas deriva a partir de la ecuación de Darcy para determina el tiempo de tránsito de contaminantes desde un tanque séptico. Basándose en que el tiempo de persistencia de los coliformes en un medio granular saturado es de 70 días, mientras que en uno fracturado es de 100 días (Losilla & Rodríguez, 1994). Además con el fin de crear una zona de protección con un factor de seguridad más elevado y previendo fuentes de contaminación de origen inorgánico como combustibles y agroquímicos, se trabajó con una isocrona de 500 días.

Para el cálculo de isócronas se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = Ki/n \quad \text{Ecuación 4}$$

La ecuación 4, ayuda a determinar la velocidad de un contaminante bacteriano en función de la permeabilidad (K), el gradiente hidráulico (i) y la porosidad.

Al ser el valor de velocidad una función de la distancia entre un tiempo, se puede modificar la ecuación 4 de forma que se tenga:

$$t = dn/ki \quad \text{Ecuación 5}$$

Léase:

d = Es la distancia de Viaje horizontal

n = La porosidad.

k = Permeabilidad

i = Gradiente Hidráulico tomado de líneas equipotenciales.

Para conocer el valor de la distancia a la que tardaría un contaminante en llegar en un tiempo dado (100 y 500 días) la ecuación 5 se despeja de la siguiente forma:

$$d = t \cdot k_i / n \quad \text{Ecuación 6}$$

Método radio arbitrario

La distancia arbitraria de radio fijo, es muy útil en casos donde se requiera dar una atención inmediata ante una contaminación inminente. En el artículo 31 de la Ley de Agua, declara como reserva a favor de la Nación, las tierras que circundan los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio. En el artículo 149, se establece la prohibición de destruir, tanto en los bosques nacionales como privados, los árboles situados a menos de setenta metros de los manantiales que nazcan en cerros o a menos de cincuenta metros de los que nazcan en terrenos planos. Por su parte; la Ley Forestal en el artículo 33 señala como áreas de protección las áreas que bordean nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.

El mapa de la figura 3, representa para cada fuente de agua visitada en la etapa preliminar el radio correspondiente a 100 m, establecido en el artículo 33 de la Ley Foresta, así como el radio de 200 m, establecido en el artículo 31 de la Ley de Aguas.

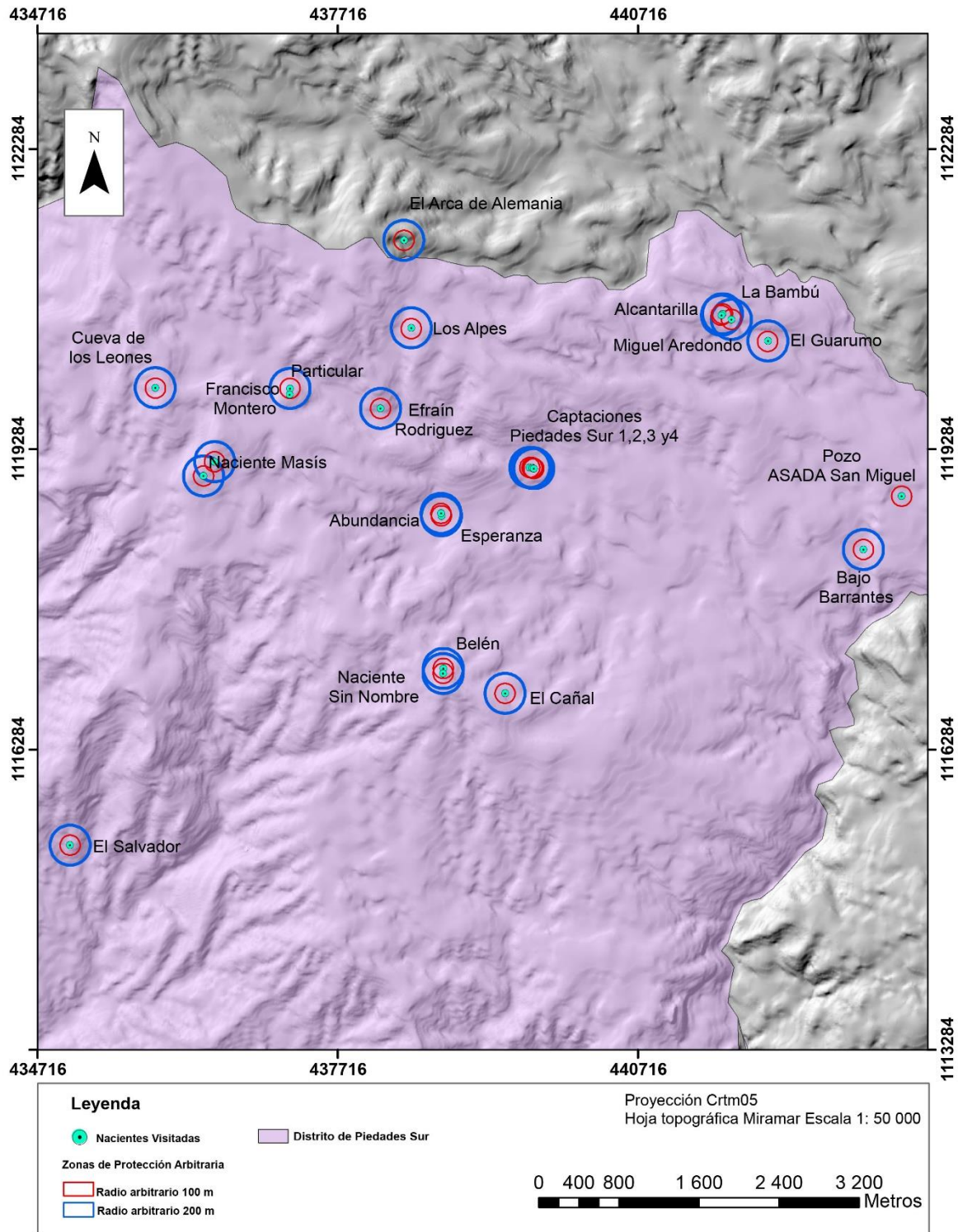


Figura 3: Mapa de zonas de protección arbitraria para las fuentes de agua visitadas en la etapa preliminar, establecida en la legislación costarricense Ley Forestal (radio de 100 m) y Ley de Aguas (radio de 200 m).

CONTEXTO GEOLÓGICO

El estudio del agua subterránea, aprovechada en pozos o manantiales, debe contemplar el medio por el cual viaja el agua, en este caso las rocas y sus estructuras, razón por la cual es necesario el contexto geológico de la zona.

GEOLOGIA REGIONAL

En el distrito de Piedades Sur de San Ramón, predominan las formaciones volcánicas y sedimentarias. A continuación se hace una descripción sucinta de las litologías aflorantes en el distrito, iniciando de las más antiguas a las más recientes y se representan en el mapa de la figura 4.

Formación Punta Carballo:

Attwood (1882, en Denyer et al., 2003) hace las primeras menciones de la formación describiendo la existencia de areniscas calcáreas y areniscas oscuras. Dengo (1962), describe la litología compuesta por bancos gruesos de areniscas calcáreas con abundancia de moluscos fósiles y capas de conglomerados. Inicialmente fue Madrigal (1970), quien subdividió la Formación Punta Carballo en dos miembros: Miembro Inferior Mata de Limón y Miembro Superior Punta Carballo.

Miembro Mata de Limón:

Madrigal (1970), lo describe como una secuencia de sedimentos volcánicos estratificados donde dominan las limonitas y areniscas tobáceas que se estratifican con brechas y conglomerados, Kuypers (1979) y Sprechman (1984) describen la existencia de conglomerados predominantemente angulares, areniscas verdes constituyen volcaneritas y arcillas rojas. Denyer et al. (2003), lo caracteriza como rocas volcanoclásticas incluyendo brechas conglomerádicas, areniscas y limonitas con coloraciones de rojo/morado a verdoso y le asigna una edad Mioceno Inferior.

Miembro Roca Carballo:

Kuypers (1979), describe que está constituido por elementos volcánoclasticos como volcarenitas y volcaruditas colores grises a verdes y en su base colores rojos. Denyer et al. (2003), le da descripción reconociendo tres facies: Facies Río Paires, Facies Doña Ana y Facies Caldera, las caracteriza como alternancias de areniscas medias a finas color gris verdoso y pardo oscuro alteradas con presencia de foraminíferos, intercalaciones de conglomerados de areniscas finas tobáceas y areniscas muy finas con materia orgánica; secuencia de areniscas volcánoclasticas de grano medio gris verdosas con intercalaciones de areniscas conglomerádicas y conglomerados con mucha materia orgánica vegetal, además le asigna una edad que varía desde el Mioceno Inferior al Mioceno Medio.

Grupo Aguacate

Denyer et al. (2003), describen esta litología de acuerdo con la composición petrográfica, vulcanismo de arco con coladas de lava y productos piroclásticos y epiclásticos subordinados y en ella diferencia dos lavas y una brecha volcánica: Andesita clinopiroxénica, lava basáltica y brecha volcánica autoclástica, le asigna una edad de Mioceno terminal hasta el Plioceno, no detalla mucho la litología de la zona pero recomienda realizar un estudio más detallado del Grupo Aguacate en la hoja Barranca. Žáček et al. (2012), hizo una clasificación más detallada del Grupo Aguacate, en el distrito de Piedades Sur afloran las siguientes litologías:

Tobas y/o tobitas

Tobas ferrosas color café con hematita, poseen matriz de hematita opaca, además presentan acumulaciones de hematita de hasta 1 cm, se compone principalmente de una mezcla de silicatos de aluminio hidratados (caolinita o pirofilita) y hematita.

Lavas Aguacate

Son lavas de composición basáltica hasta andesita-basáltica de color gris negro, poseen textura pofídica de leve a moderada y fenocristales de plagioclasa de 5 mm de longitud (50-60%), clinopiroxenos y orotpiroxenos (20-30%) olivino (5-20%) y titanomagnetita (1-4%). Cuando se encuentran meteorizadas poseen un color de gris claro a rojizo, se observa hornblenda, clorita, biotita y calcita relacionados con alteración hidrotermal.

Riolita de grano medio

Esta riolita se presenta como cuerpos intrusivos de forma irregular (3x2 km de superficie), de color gris claro, ligeramente porfirítica compuesta por fenocristales de cuarzo y feldespatos muy alterados transformados en minerales secundarios como pirofilita, alunita, caolinita y sericita en una matriz holocristalina compuesta principalmente por cuarzo y minerales secundarios.

Cuerpos intrusivos e hipoabisales (gabro hasta diorita)

Es un stock de gabrodiorita que aflora al SO de Piedades Sur intruyendo las lavas del Grupo Aguacate, litológicamente son dioritas y gabros de grano medio hasta grueso, de color gris oscuro hasta negro, son masivos y duros.

Ignimbritas

Žáček et al. (2012), las llaman genéricamente depósitos formados por flujos piroclásticos soldadas o no soldadas, entre estas se encuentran Ignimbrita ácida con biotita y líticos, relacionada con la Unidad Alto Palomo, e ignimbritas ácidas de unidad no determinada. Las ignimbritas no determinadas se caracterizan por ser de composición dacítica con fuerte alteración hidrotermal.

Formación Monteverde

Litológicamente está conformada por lavas andesíticas hasta andesita-basálticas no alteradas, en menor cantidad hay rocas piroclásticas (brechas y tobas) y localmente importante son los depósitos de lahares (Zacek et al., 2012). Estratigráficamente es discordante al Grupo Aguacate (Cháves & Sáenz, 1974, en Zacek et al., 2012), aunque es difícil diferenciar el contacto debido a la similitud de ambas, la Formación Monteverde es más joven que el Grupo Aguacate, esta formación posee una edad de Pleistoceno inferior (Zacek et al., 2012).

Depósitos de deslizamientos

Con espesores de hasta varias decenas de metros conformados por material clástico (bloques y clastos métricos) de rocas volcánicas (andesitas y dacitas) caóticamente mezcladas en una matriz arcillosa con fragmentos líticos generalmente saturados de agua (Zacek et al., 2012).

Depósitos fluviales

Litológicamente compuestos principalmente de gravas hasta arenas gruesas con cantos y bloques redondeados hasta semi-redondeados compuestos de diferentes rocas volcánicas de andesitas, basaltos y brechas (Zacek et al., 2012).

Con respecto a la geología estructural de la zona, predominan las fallas con rumbo N30°-45°W, se tratan de fallas normales o transversales con una dominante componente dextral, estas fallas predisponen muchos deslizamientos antiguos y recientes en la zona (Zacek et al., 2012). Estas fallas se encuentran genéticamente relacionadas con las fallas de rumbo N-S hasta NNO-SSE, formándose un sistema de dos componentes relacionado con una paleoextensión ENE-OSO hasta O-E.

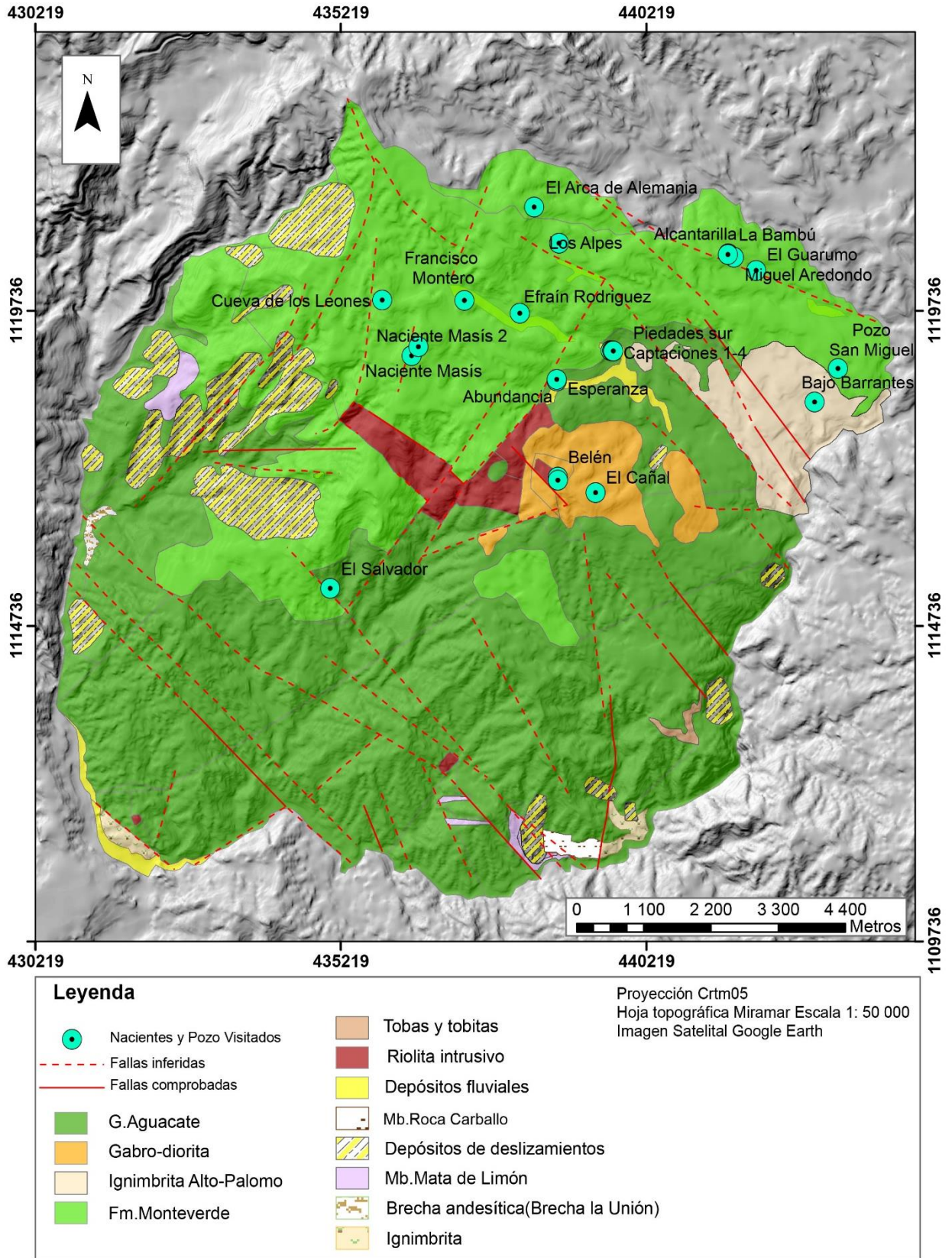


Figura 4: Mapa Geológico del área de estudio, basado en Zacek et al., 2012.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Una vez definidos los 10 manantiales a los que se les ha hecho la delimitación de las zonas de protección, se procedió a tomar una muestra de suelo y realización de prueba de infiltración del agua en las inmediaciones de cada manantial, cuyos resultados se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4: Resumen de Resultados de las pruebas de infiltración y de suelos tomadas en el campo.

| Prueba | Infiltración (m/d) | Porosidad % | Arena % | Arcilla % | Limo % | Textura de suelo clasificación USDA |
|-------------------|--------------------|-------------|---------|-----------|--------|-------------------------------------|
| Abundancia | 3,6 | 67,0 | 60,0 | 5,0 | 35,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| Alcantarilla | 7,2 | 56,0 | 50,0 | 25,0 | 25,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| Alpes | 10,1 | 76,0 | 60,0 | 5,0 | 35,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| Bajo Barrantes | 7,2 | 63,0 | 27,0 | 45,0 | 28,0 | Arcilloso |
| Belén | 2,9 | 54,0 | 62,0 | 8,0 | 30,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| El Salvador | 2,2 | 61,0 | 52,0 | 13,0 | 35,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| Francisco Montero | 13,0 | 70,0 | 57,0 | 8,0 | 35,0 | Franco Arcillo Arenoso |
| Masis 1 | 6,2 | 71,0 | 42,0 | 26,0 | 32,0 | Franco Arcilloso |
| Masis 2 | 0,1 | 73,0 | 42,0 | 27,0 | 31,0 | Franco |
| Piedades Sur | 9,0 | 50,0 | 42,0 | 37,0 | 21,0 | Franco Arcilloso |

Ordenadas Alfabéticamente por prueba

Con respecto al caudal promedio de cada manantial estudiado, se realizó una medición mensual del mismo, iniciando en el mes de mayo. Así mismo; se capacitó a cada uno de los fontaneros de las siete ASADAS seleccionadas para que continuaran realizando el aforo y lo reportaran mensualmente finalizando en el mes de setiembre de 2018. Los resultados obtenidos indican rangos de valores entre los 0,23 l/s hasta 9,63 l/s, el cuadro 5, muestra los resultados promedio mensual de cada manantial estudiado.

La figura 5 muestra como los manantiales Masis 1 y 2 son los que presentan los menores valores de caudal, éstos rondan aproximadamente los 0,2 l/s, le sigue el manantial Belén con 0,5 l/s, dichos manantiales se clasificarían de acuerdo con Meinzer(1923), como pertenecientes al Sexto Grupo en proporcionalidad a su caudal.

Cuadro 5: Resumen del caudal promedio para los manantiales estudiados desde el mes de mayo a setiembre de 2018.

| Manantial | Caudal promedio (l/s) |
|-------------------|------------------------------|
| Abundancia | 4,304 |
| Alcantarilla | 2,462 |
| Bajo Barrantes | 4,83 |
| Belén | 0,508 |
| El Salvador | 5,47 |
| Francisco Montero | 1,298 |
| Los Alpes | 2,14 |
| Masis 1 | 0,23 |
| Masis 2 | 0,2495 |
| Piedades Sur | 9,634 |

Ordenadas Alfabéticamente por Manantial

Los manantiales con valores moderados, dentro del contexto de estudio, varían entre 1,2 l/s hasta los 5,47 l/s (Francisco Montero, Los Alpes, Alcantarilla, Abundancia, Bajo Barrantes y el Salvador) correspondientes al Quinto Grupo en proporción a la clasificación por caudal establecida por Meinzer (1923). La suma de los caudales de las cuatro captaciones de Piedades Sur (consideradas como una zona de descarga en conjunto debido a su cercanía), se clasificaría dentro del Cuarto Grupo de Meinzer (1923), debido a un valor promedio de caudal de 9,6 l/s, considerado como alto dentro del contexto de la zona de estudio.

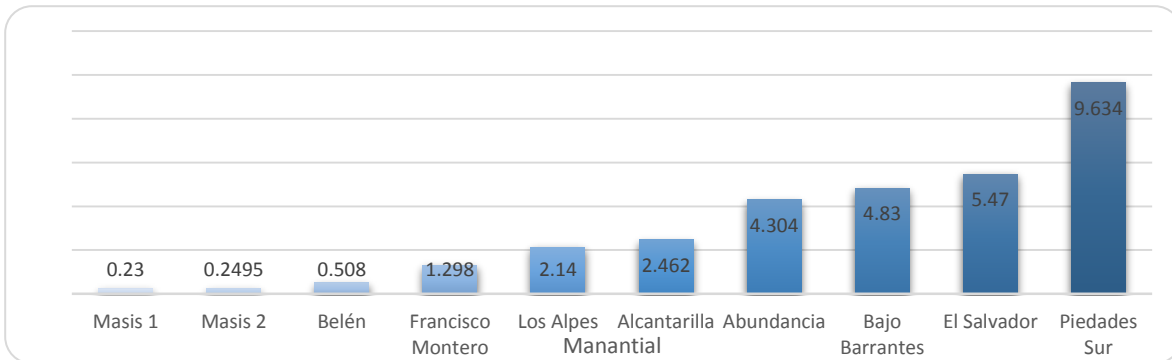


Figura 5: Caudales promedio, en litros/segundo, para cada uno de los manantiales estudiados en el periodo mayo-setiembre 2018.

A nivel regional, el distrito de Piedades Sur de San Ramón, no presenta estudios hidrogeológicos a detalle por lo cual; la información descrita a continuación se realizó con base en las descripciones, interpretaciones y análisis obtenidos durante las visitas de campo, así como la información proveniente de los diversos informes suministrados por las ASADAS visitadas.

A nivel general, se ha determinado que la litología asociada a la mayoría de los manantiales estudiados está compuesta por intercalaciones de tobas, lavas, intrusivos e ignimbritas que se asocian al Grupo Aguacate, además de lavas y depósitos asociados a la Formación Monteverde.

En todos los manantiales analizados, se presenta un cobertura de suelos de espesor variable, la cual presenta una textura Franco Arcillosa de color café muy plástica y maleable con valores de porosidad entre 50% y 76%, la cual puede contener entre su matriz fragmentos de lavas, o ignimbritas en diversa proporción. Dicha capa de suelo, genera en los sectores de mayor espesor, acuíferos de bajo potencial de producción con un caudal promedio de 2,8 l/s, presentándose los valores más bajos de caudal (0,1 l/s) en los sectores de mayor elevación, mientras que los mayores caudales reportados (que van de 4,7 a 8 l/s) se localizan en sectores de mayor dominancia de lavas respecto a suelo y en sectores de menor altura relacionados a las partes bajas de valles y cañones de la zona.

A partir de lo anterior, se intuye la presencia de un sistema hidrogeológico compuesto por dos unidades (figura 6).

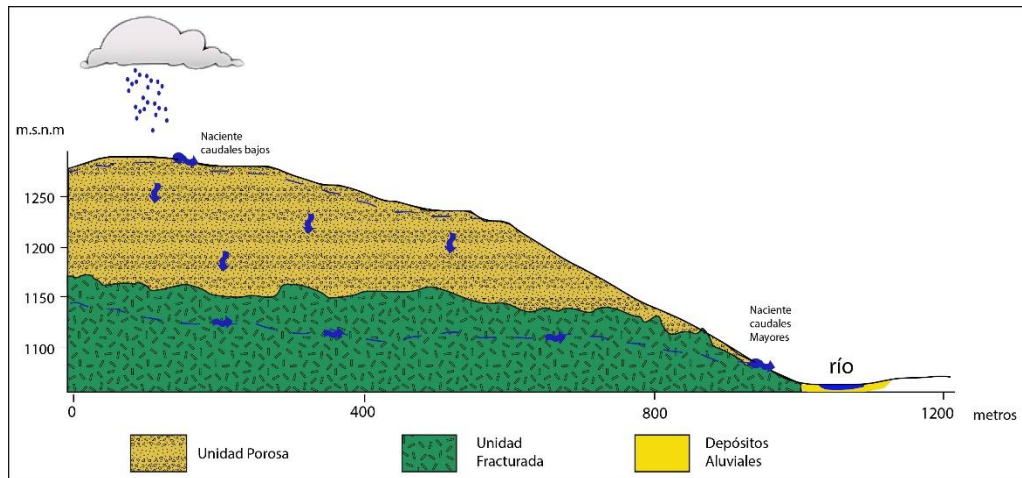


Figura 6: Modelo hidrogeológico conceptual del sector de Piedades Sur de San Ramón.

La Unidad Fracturada dominada por coladas de lava e ignimbritas, la cual generalmente es más fácil de observar en los cañones profundos de los ríos. Esta unidad presenta un mayor potencial de producción de agua al poseer una menor fracción de matriz de suelo, al ser un medio fracturado en donde el agua puede correr con mayor facilidad, como por ejemplo se pueden mencionar los manantiales de la ASADA de Piedades Sur y el manantial de la ASADA San Miguel ubicado en Bajo Barrantes.

Sobreyaciendo la unidad fracturada, se ubica la Unidad Porosa, compuesta principalmente por tobas y suelos derivados de alto espesor, la cual presenta un alto contenido de arcilla y de alta plasticidad, lo que favorece un tránsito lento del agua, generando niveles de agua con caudales muy bajos. Como ejemplos se pueden mencionar los manantiales Belén y los Masís.

Debido a la falta de información, la diferenciación entre los niveles de estas unidades es difícil ya que se requeriría de un número significativo y bien distribuido de registros de perforación (que no existe en la zona) que ayudaran a una mejor caracterización del sistema.

Con el fin de determinar la dirección preferencial del flujo de agua subterránea para los manantiales de interés, se realizó un mapa de curvas equipotenciales, éste se obtuvo con base en la información de las alturas de los manantiales estudiados y con la información de los manantiales registrados en la base de datos de la Dirección de Agua (cuya información

se adjunta como anexo digital), dicho mapa genera zonas en el espacio con un mismo potencial hidráulico. Por lo tanto la dirección del flujo del agua subterránea se producirá perpendicularmente a las curvas equipotenciales buscando el mayor gradiente.

En la zona de estudio la dirección del flujo de agua subterránea es predominantemente hacia el suroeste con algunas variaciones hacia el sur (Figura 5). Mientras que el gradiente hidráulico obtenido para los manantiales estudiados varía desde 0,1 en los sectores ubicados hacia el sur del distrito hasta 0,02 en las zonas con menor pendiente.

Con el objetivo de facilitar la distribución de la delimitación de las zonas de protección a cada ASADA, este apartado se presenta como ANEXOS, en el cual; para cada ASADA beneficiada se detallan los siguientes aspectos.

- Información general del manantial
- Geología local
- Características de la zona no saturada
- Amenazas a la captación y sus alrededores
- Determinación de la zona de protección
- Recomendaciones específicas

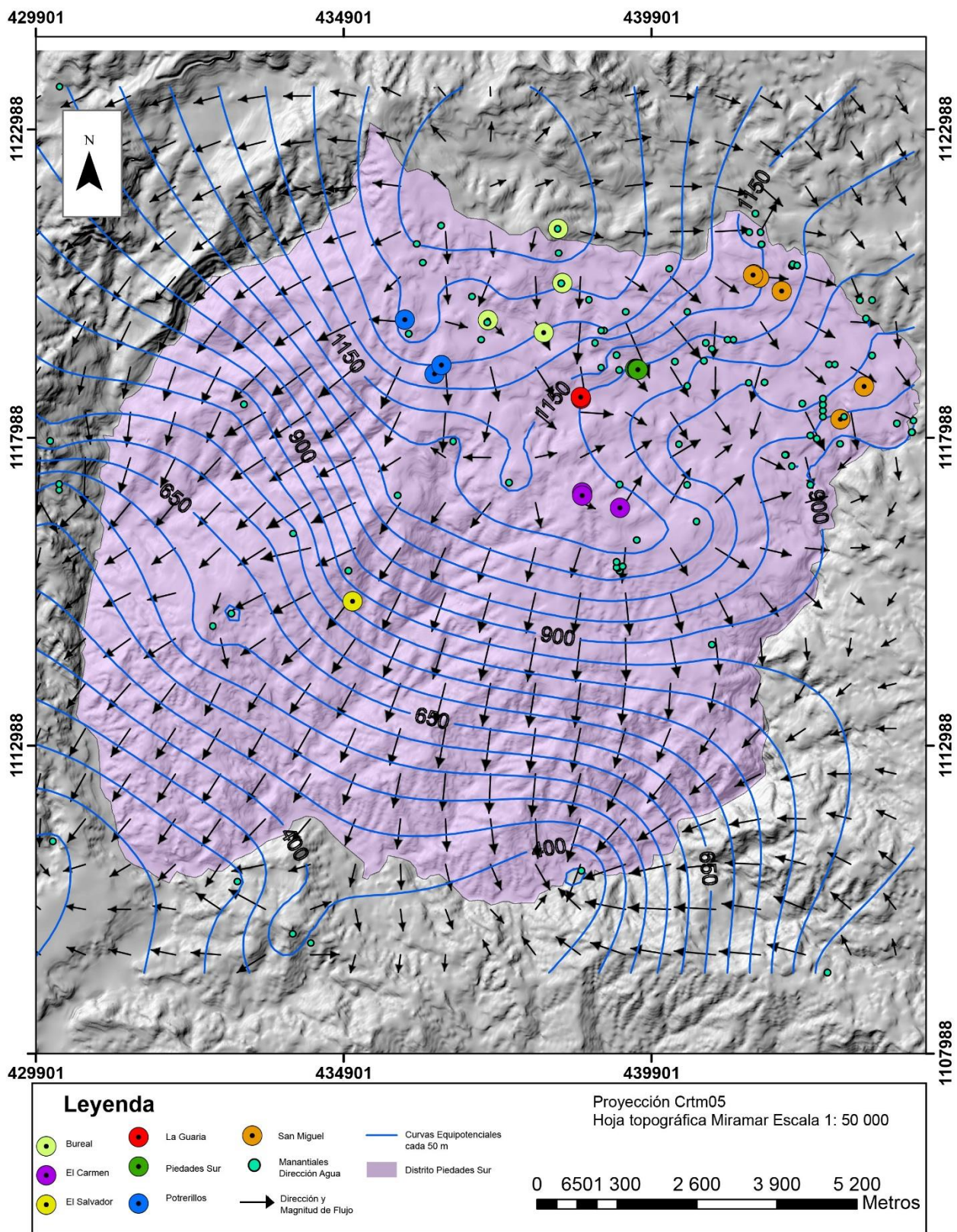


Figura 7: Mapa de dirección de flujo y líneas equipotenciales del distrito de Piedades Sur, San Ramón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se ha determinado que la litología asociada a la mayoría de los manantiales estudiados está compuesta por intercalaciones de tobas, lavas, intrusivos e ignimbritas que se asocian al Grupo Aguacate, además de lavas y depósitos asociados a la Formación Monteverde.

En todos los manantiales analizados, se presenta un cobertura de suelos de espesor variable, la cual presenta una textura Franco Arcillosa de color café muy plástica y maleable con valores de porosidad entre 50% y 76%, la cual puede contener entre su matriz fragmentos de lavas, o ignimbritas en diversa proporción. Dicha capa de suelo, genera en los sectores de mayor espesor, acuíferos de bajo potencial de producción con un caudal promedio de 2,8 l/s, presentándose los valores más bajos de caudal (0,1 l/s) en los sectores de mayor elevación, mientras que los mayores caudales reportados (que van de 4,7 a 8 l/s) se localizan en sectores de mayor dominancia de lavas respecto a suelo y en sectores de menor altura relacionados a las partes bajas de valles y cañones de la zona.

Los manantiales con caudales moderados, dentro del contexto de estudio, varían entre 1,2 l/s hasta los 5,47 l/s (Francisco Montero, Los Alpes, Alcantarilla, Abundancia, Bajo Barrantes y el Salvador) correspondientes al Quinto Grupo en proporción a la clasificación por caudal establecida por Meinzer (1923). La suma de los caudales de las cuatro captaciones de Piedades Sur (consideradas como una zona de descarga en conjunto debido a su cercanía), se clasificaría dentro del Cuarto Grupo de Meinzer (1923), debido a un valor promedio de caudal de 9,6 l/s, considerado como alto dentro del contexto de la zona de estudio.

El sistema hidrogeológico está compuesto por dos unidades: Unidad Fracturada y Unidad Porosa.

La Unidad Fracturada dominada por coladas de lava e ignimbritas, la cual generalmente es más fácil de observar en los cañones profundos de los ríos. Esta unidad presenta un mayor potencial de producción de agua al poseer una menor fracción de matriz de suelo por ser un medio fracturado en donde el agua puede correr con mayor facilidad, se pueden incluir

a los manantiales de la ASADA de Piedades Sur y el manantial de la ASADA San Miguel ubicado en Bajo Barrantes.

La Unidad Porosa, es la superior y está compuesta principalmente por tobas y suelos derivados de alto espesor, la cual presenta un gran contenido de arcilla y de alta plasticidad, lo que favorece un tránsito lento del agua, generando niveles de agua con caudales muy bajos. Como ejemplos se pueden mencionar los manantiales Belén y los Masís.

La metodología hidrogeomorfológica, permitió determinar el límite de la zona de captura de cada manantial. Esta metodología, se considera la más apropiada porque toma en cuenta el contexto geológico de cada manantial, en especial en estos casos en los que nos encontramos en acuíferos libres, muy superficiales y producto de diversas coladas de lavas.

La metodología de isócronas, se utilizó como complementaria para delimitar en la mayoría de los casos, a lo interno del tubo de flujo, las zonas de flujo y brindar recomendaciones sobre el uso del suelo.

Las área de protección arbitrarias establecidas en nuestra legislación, con radios según la Ley Forestal de 100 m, equivalente a un área de 3,1 Ha y radio de 200 m, equivalente a un área de 12,5 Ha, según la Ley de Aguas, se han representado para evidenciar que su aplicación generalizada no asegura una protección efectiva de la zona de recarga del manantial y por el contrario es un generador de potenciales conflictos por el uso de la tierra.

Las área de las zonas de protección de los manantiales seleccionados en Piedades Sur de San Ramón, se resumen a continuación (cuadro 6) y se representa en la figura 8, aclarando que dichas zonas son polígonos, no círculos y que están sectorizados en zonas en las cuales se ha recomendado diferente uso del suelo.

Cuadro 6: Resumen de las zonas de protección de los manantiales seleccionados

| ASADA | MANANTIAL | Área de la zona de protección (m²) | Área de la zona de protección (Ha) | Orientación preferencia de la zona de protección, aguas arriba del manantial |
|--|-------------------------------------|--|---|---|
| Bureal | Francisco Montero | 44 724 | 4, 47 | W-SW |
| | Los Alpes | 33 003 | 3,00 | NW |
| El Carmen | Belén | 37 013 | 3,70 | S-SW |
| El Salvador | Lizano | 41 052 | 4,10 | N |
| La Guaria, Quebradilla y San Francisco | La Abundancia | 14 405,64 | 1,44 | N |
| Piedades Sur | Las cuatro fuentes (F1,F2, F3 y F4) | 285 798,7 | 28, 59 | N |
| Potrerillos | Masis 1 | 5 224 | 0,52 | NE |
| | Masis 2 | 4 719 | 0,47 | NE |
| San Miguel de Piedades Sur | La Alcantarilla | 33 739 | 3,37 | NW |
| | Bajo Barrantes | 44 222 | 4, 42 | NW |

Ordenado Alfabéticamente por ASADA

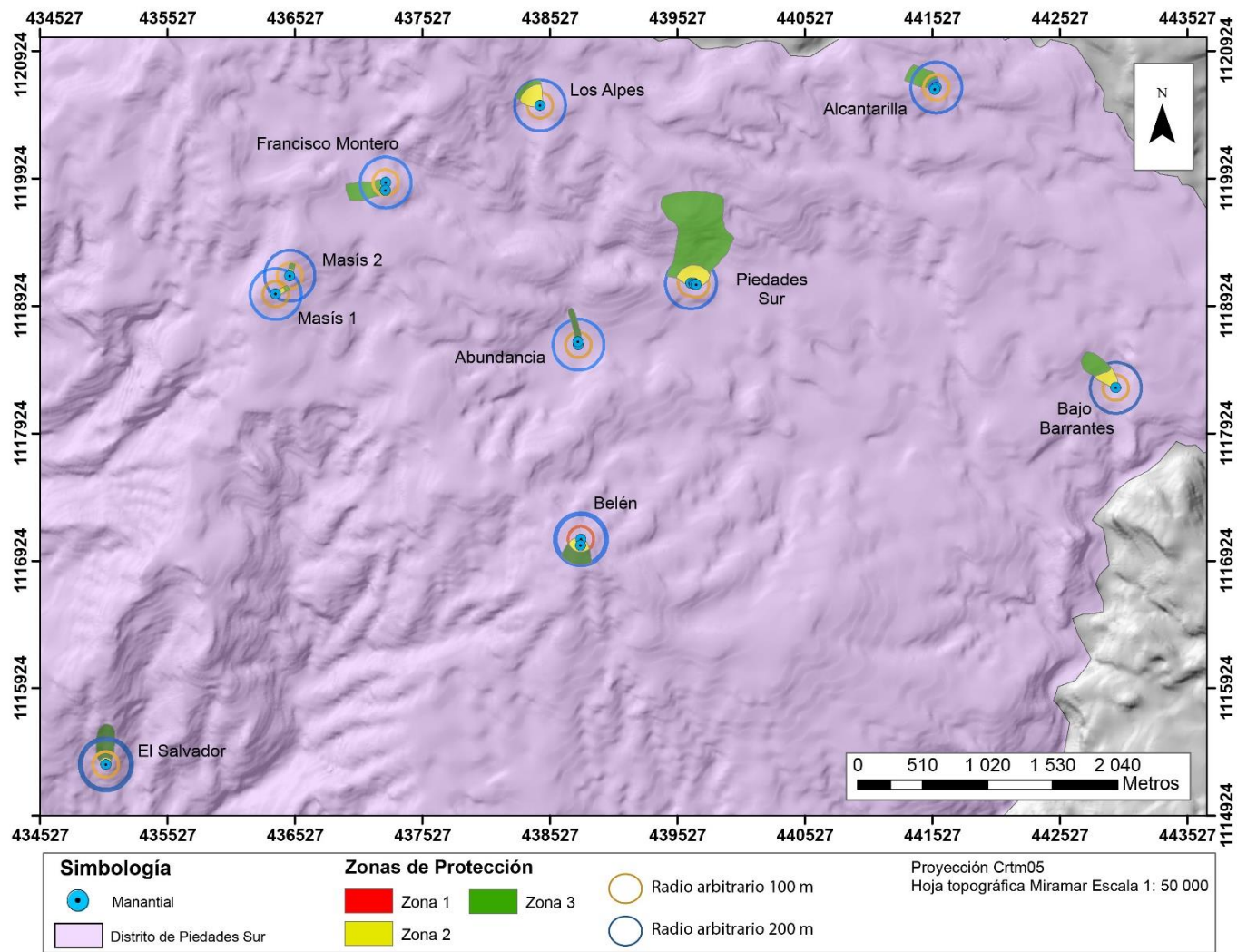


Figura 8: Mapa resume de las zonas de protección establecidas para los manantiales seleccionados en Piedades Sur de San Ramón.

Recomendaciones

Es necesario, divulgar los resultados de este estudio ante las diversas ASADAS beneficiadas para que; comprendan la importancia del origen del agua, clasificación y medidas de protección efectiva que promuevan el mantenimiento de la calidad y cantidad del agua, reconociendo su valor como fuente de abastecimiento público de un alto porcentaje de nuestra población.

El delimitar las zonas de protección de los manantiales tiene como objetivo regular el uso del suelo, con el fin de procurar mantener las condiciones de recarga y calidad del agua de los mismos, para ello se recomienda lo siguiente:

- La zona de protección Z1, debe ser el área operacional o zona de protección interna de carácter absoluto. Su forma debe ser circular y su extensión está limitada por la zona de captura definida previamente en cada caso. En esta zona Z1, se debe prohibir todo tipo de actividad antrópica, debe ser protegida con una cerca perimetral para restringir el acceso de terceros y promover la reforestación con especies nativas de la zona que vengán a favorecer la recarga potencial. Solamente se deben permitir las actividades propias para la operación de la naciente.
- La zona de protección Z2 es denominada como zona de inspección sanitaria, relacionada al control de contaminación microbiológica, que corresponde con el área de protección externa del manantial, en ella solamente se debe permitir el uso de suelo forestal y restringir todas las actividades que puedan generar coliformes fecales, entre ellas: instalación de tanques sépticos, uso del suelo para ganadería, entre otros.
- La zona de protección Z3, se debe considerar como el límite de la zona de captura del manantial, donde toda la recarga del acuífero, ya sea por infiltración de agua de lluvia o de flujos de escorrentía superficial, será captada por la naciente. En esta zona, se debe favorecer el uso forestal y restringir el tipo de actividades antrópicas. Posterior a un estudio técnico específico, se podría permitir solamente aquellas prácticas que no generen algún tipo de contaminación o impermeabilización del suelo, por ejemplo actividades recreativas o turísticas de muy bajo impacto.

- En los sectores aledaños y por fuera de las zonas de captura de los manantiales estudiados, se deben regular las actividades de desarrollo urbanístico futuro, en función de la densidad de población y el área de construcción, así como las actividades agrícolas sobre todo por el uso de agroquímicos. Para ello, se requiere de un estudio hidrogeológico completo que tome en cuenta el grado de vulnerabilidad del acuífero, así como el riesgo por diversas actividades potencialmente contaminantes. Así mismo; es necesario restringir la utilización de agroquímicos, permitiendo solamente aquellos de baja toxicidad, persistencia y movilidad, así como incentivar buenas prácticas para la conservación de suelos.

La delimitación de las zonas de protección efectiva de las nacientes, debe contribuir específicamente a mantener la calidad y cantidad de agua, y sirve como insumo para la gestión de los acueductos comunales a partir de la compra de tierras que favorezcan dicha protección. Por tal motivo, se insta a las Juntas Directivas de las ASADAS, a realizar las gestiones necesarias para la consecución y protección de las tierras aledañas a las nacientes que se han incluido dentro de las zonas de protección establecidas. Se recomienda valorar diversas fuentes de financiamiento, entre ellas: INDER, Tarifa Hídrica de la ARESEP, Instituto Nectandra.

En el mismo orden de ideas, es necesario que aquellas ASADAS que ya han comprado terrenos alrededor de las nacientes evaluadas, realicen un ejercicio comparativo para determinar cuanta área de su propiedad está dentro de las zonas de protección técnica de la naciente establecidas en este estudio.

Otras recomendaciones generales que aplican en función de las características de cada ASADA son:

- Realizar análisis bacteriológicos del sistema de acueducto de cada ASADA, según lo establece el Reglamento de Calidad de Agua Potable, con el fin de asegurar a los usuarios la potabilidad del agua que se brinda.
- Implementar o mantener en óptimas condiciones el sistema de cloración del agua y regular el cloro residual en el sistema de acueducto.
- Es indispensable continuar con el programa mensual de aforos, iniciado en este proyecto, y ampliarlo para el resto de manantiales captados por las ASADAS beneficiadas.

- Mejorar, cuando corresponda, la infraestructura de captación de la fuente. En su lugar, brindar mantenimiento preventivo para mantener limpia y en buen funcionamiento la captación de agua.
- Normalizar el nombre utilizado en varias de las nacientes, ya que algunas de ellas son conocidas con diferentes nombres, lo cual tiende a confundir, situación que se ve reflejada incluso en los nombres reportados en las instituciones estatales.

Es necesario que las ASADAS gestionen los recursos necesarios para continuar con los estudios de aquellos otros manantiales que administran y que en esta oportunidad no fueron seleccionados para la determinación de las zonas de protección.

Es necesario continuar con el estudio del (los) acuíferos que abastecen de agua a cada uno de los manantiales seleccionados, por lo tanto se requiere en un corto - mediano plazo:

- El análisis de riesgo de contaminación por coliformes fecales, producto de la utilización de tanques sépticos y actividades agrícolas para cada una de sus nacientes, considerando para ello el flujo vertical del agua.
- El estudio de balance de masas, para determinar la densidad de población que soporta el acuífero, en función de la concentración de nitratos.
- El estudio específico para determinar el grado de vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero.
- Un inventario detallado de las diversas fuentes potenciales de contaminación (puntual, lineal y difusa).
- El estudio de riesgo de contaminación hidrogeológica.

Se recomienda establecer una comunicación efectiva con el gobierno local, pues las corporaciones municipales tienen un papel de primer orden en la protección y conservación de las aguas subterráneas a través de una serie de instrumentos indirectos, como la Ley de Planificación Urbana que les impone el deber de promulgar un plan regulador para planificar y controlar el desarrollo urbano y los reglamentos de desarrollo urbano conexos (artículos 15 y siguientes). Dentro de ese plan regulador y el reglamento de zonificación, las Municipalidades deben identificar, a efecto de regular, controlar y restringir las actividades humanas (industrial, urbanística, agropecuaria, etc.), las áreas o zonas reservadas por ubicarse en las mismas un manto acuífero o su área de recarga o descarga.

Es necesario que este estudio, sea considerado dentro de los planes de ordenamiento territorial en el cantón; tomando en consideración que la escala de trabajo y el objetivo del estudio deben ser respetados. Es decir; que para diversas actividades específicas se debe presentar un estudio hidrogeológico local, que evalúe a mayor detalle el área de influencia de cada proyecto.

Las autoridades nacionales deben hacer valer la legislación ambiental establecida, especialmente en lo referente a las zonas de protección de los cuerpos de agua (quebradas y manantiales), con el fin de tener una zona de resguardo ante las actividades potencialmente contaminantes.

REFERENCIAS

- ARIAS, M.E., 2018: Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizados por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón. Plan de Trabajo Inicial, Informe interno. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica.
- ARIAS, M.E., 2018: Manantiales. Informe interno. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, Universidad de Costa Rica.
- DENGO, G., 1962a: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica.-En: ENGEL, A.E.J., JAMES, H.J. & LEONARD, B. F. (eds): A volume to honor A. F. Budington.- Geol. Soc. Amer. Spec. Vol.: 133-161.
- DENYER, P., AGUILAR, T & ALVARADO, G., 2003: Geología y estratigrafía de la hoja Barranca, Costa Rica.- Rica.-Rev. Geol. De Amér. Central, 29: 105-125.
- KUYPERS, E., 1979: Análisis sedimentológico de la Formación Punta Carballo (Mioceno), Costa Rica. -Informe Semestral IGN, 2: 77-94.
- MADRIGAL, R., 1970: Geología del mapa básico "Barranca", Costa Rica. - Inf. Téc. y Notas Geológicas, Dir. Geol. Minas y Petróleo 9(37):1-59.
- SPRECHMANN, P., 1984: Manual de Geología de Costa Rica.-Ed. UCR, San José, 320 pág.
- SENARA, 2018: Metodologías para la definición del área de Protección de pozos. Apéndice 8. Consultado vía web Abril 2018 - (http://www.senara.or.cr/acerca_del_senara/direcciones/direccion_de_investigacion_y_gestion_hidrica/Terminos_de_referencia_estudios_hidrogeologicos/Apendice%208_Disminucion%20del%20area%20proteccion%20del%20pozo.pdf)
- MUNICIPALIDAD DE SAN RAMÓN, 2018: Descripción del Distrito de Piedades Sur. <https://sites.google.com/sanramondigital.net/sanramongocr/servicios-en-l%C3%ADnea> (Consultado en agosto de 2018).
- ŽÁČEK, V., VOREL, T. KYCL, P., HUAYAPA, S., MIXA, P., GRYGAR, R., HAVLÍČEK, P., ČECH, S., HRAZDÍRA, P., METELKA, V., ŠEVCÍK, J. & PECSKAY, Z., 2012: Geología y estratigrafía de la Hoja 3646-II Miramar, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 47: 7-54.



ANEXOS

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



Programa Pequeñas Donaciones del FMAM



ASADA BUREAL

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



Programa Pequeñas Donaciones del FMAM

1 Información general Manantial Los Alpes, ASADA Bureal de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector montañoso del poblado de El Bureal, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1120497 N y 438449 E (figura 1), dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece en proceso de trámite ante la Dirección de Agua bajo el expediente 1286, bajo la cédula 3002642563, conocida como Naciente 1 Bureal.

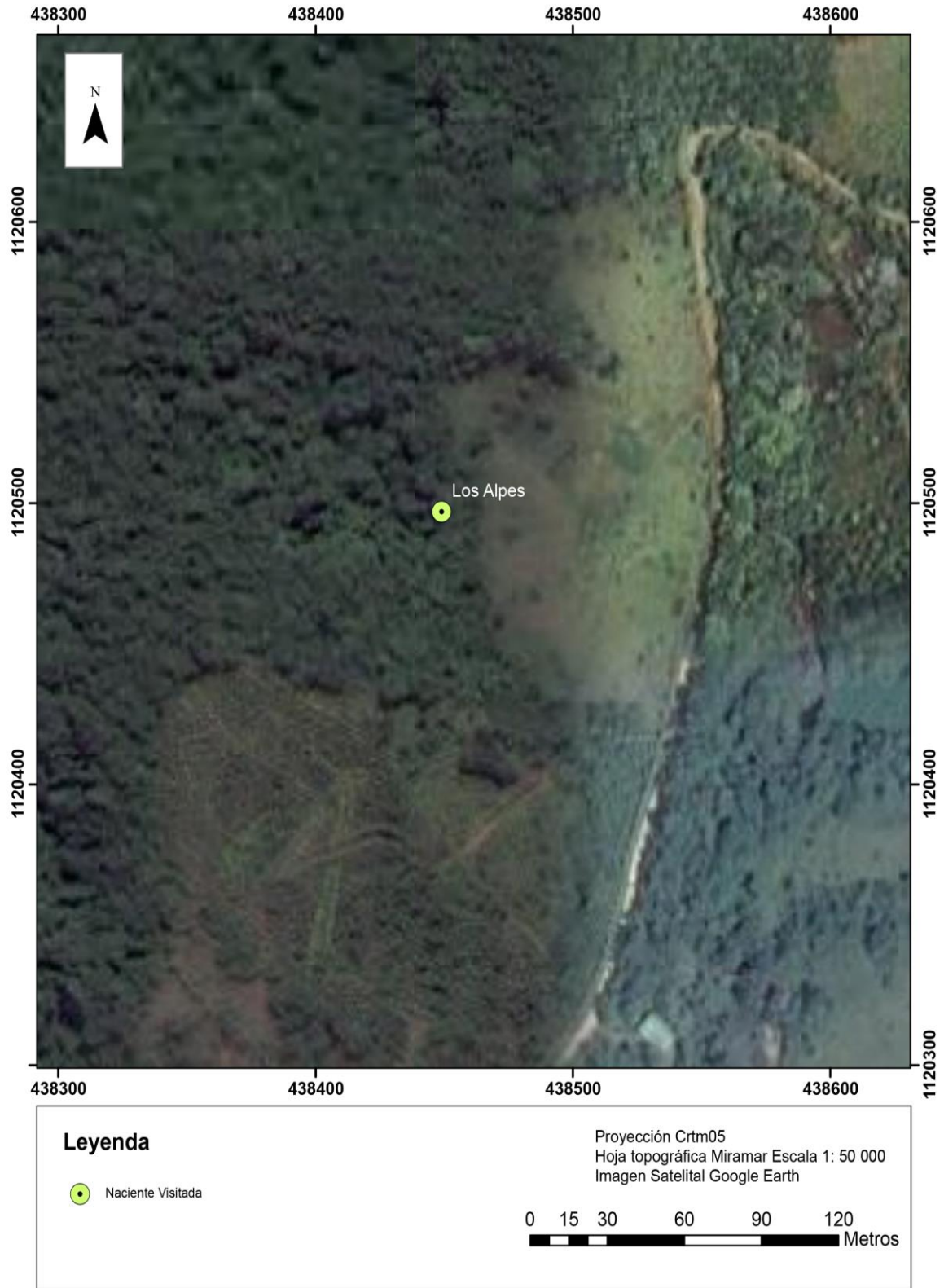


Figura 1: Mapa de ubicación Manantial Los Alpes, ASADA Boreal, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA Bureal, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente moderada entre los 20° y 30°. Se considera el estado de la captación como de Regular, con una pequeña estructura de cemento sin pintar, presenta tapas de hierro pintadas con candado.

No se cuenta con un dispositivo perimetral, ni tampoco se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

En la base de la captación se presenta una fuga en la estructura de cemento. Además se presenta caudal ecológico pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 2: Captación Manantial Los Alpes.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo en el cual los sectores oeste (aguas arriba de la captación), sur y noroeste se presenta un bosque de

tipo secundario en las cercanías al manantial, el cual se torna de tipo primario en los sectores más montañosos del área. Hacia el sector noreste y este del área la zona está cubierta por un uso destinado a pastos para ganadería, en esto sectores este uso se encuentra a unos 20 metros del manantial. Además a aproximadamente 100 metros al este del manantial se localiza la calle principal y algunas casas de habitación.



Figura 3: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector este, aguas abajo.



Figura 4: Vista desde el este del manantial, fotografía tomado desde la calle principal.

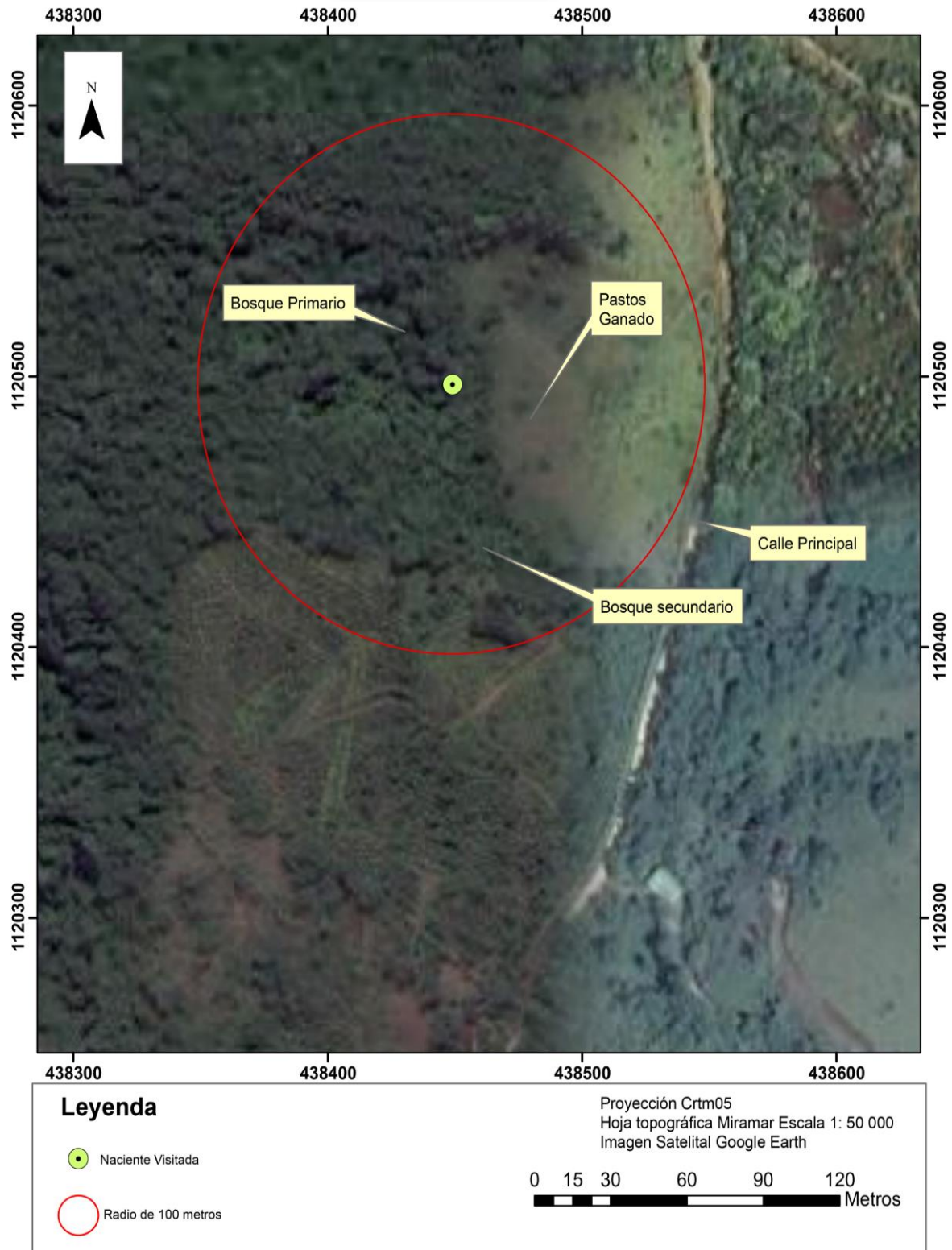


Figura 5: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Los Alpes.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 2,14 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sureste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

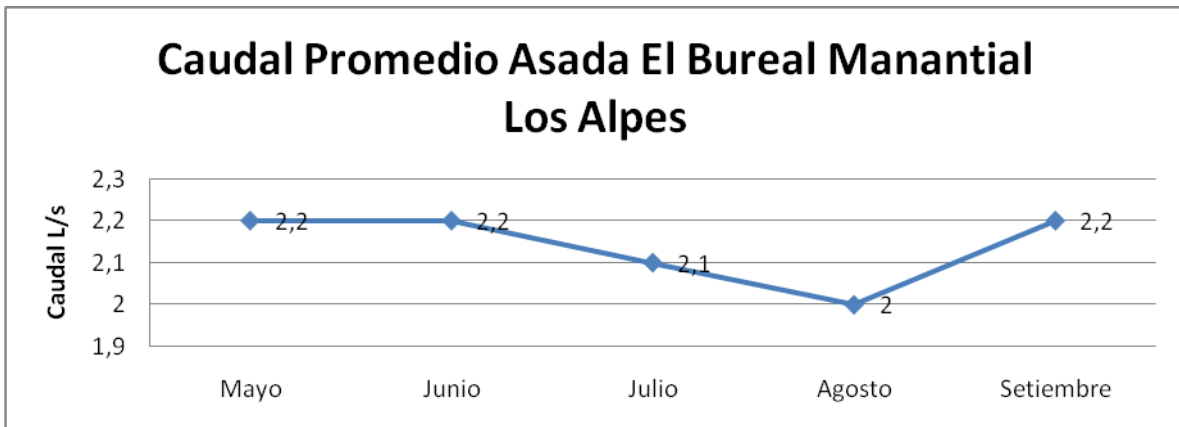


Figura 6: Tendencia del caudal mensual para el manantial Los Alpes.

Como se muestra en el gráfico anterior, la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 2 l/s y 2,2 l/s, siendo el valor más alto registrado en los meses de mayo, junio y setiembre y el menor en agosto. A nivel general la tendencia en el caudal para los meses estudiados es muy homogénea siendo las diferencias de volumen mínimas a la espera de los meses más lluviosos y secos.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento, por medio de pastillas y su distribución se realiza por medio de gravedad hacia 20 casas las cuales pagan una cuota fija por el uso de la misma.

Con respecto a la calidad del agua del manantial, cuenta con un análisis realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizado el día 8 de diciembre de 2017. En este manantial se analizaron menos parámetros en relación a otras captaciones, cabe mencionar un valor de pH 6,61. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología local

El agua del manantial brota al pie de monte de un coluvio, las rocas que lo componen conforman bloques métricos (30%) de hasta 2 metros de longitud de formas redondeadas los cuales se encuentran entre una matriz de suelo color negro (70%), los bloques presentan una composición monogenética poco meteorizados, son de alta dureza y elevada densidad, presentan una textura afanítica porfirítica, con una matriz de coloración gris (50%) en la cual se encuentran fenocristales de plagioclasa hinchados (25%) de hasta 0,5 mm, cuarzo (10%) y piriboles (15%) de hasta 1 mm.



Figura 7: Composición ígnea del clasto de los bloques encontrados.

1.2 Características de la zona no saturada

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 438450 E / 1120493 N, a unos 2 metros del manantial.

Además se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 76%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura Franco arcillo-Arenosa (clasificación USDA), con una densidad de $0,6 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $2,5 \text{ gr/cm}^3$.

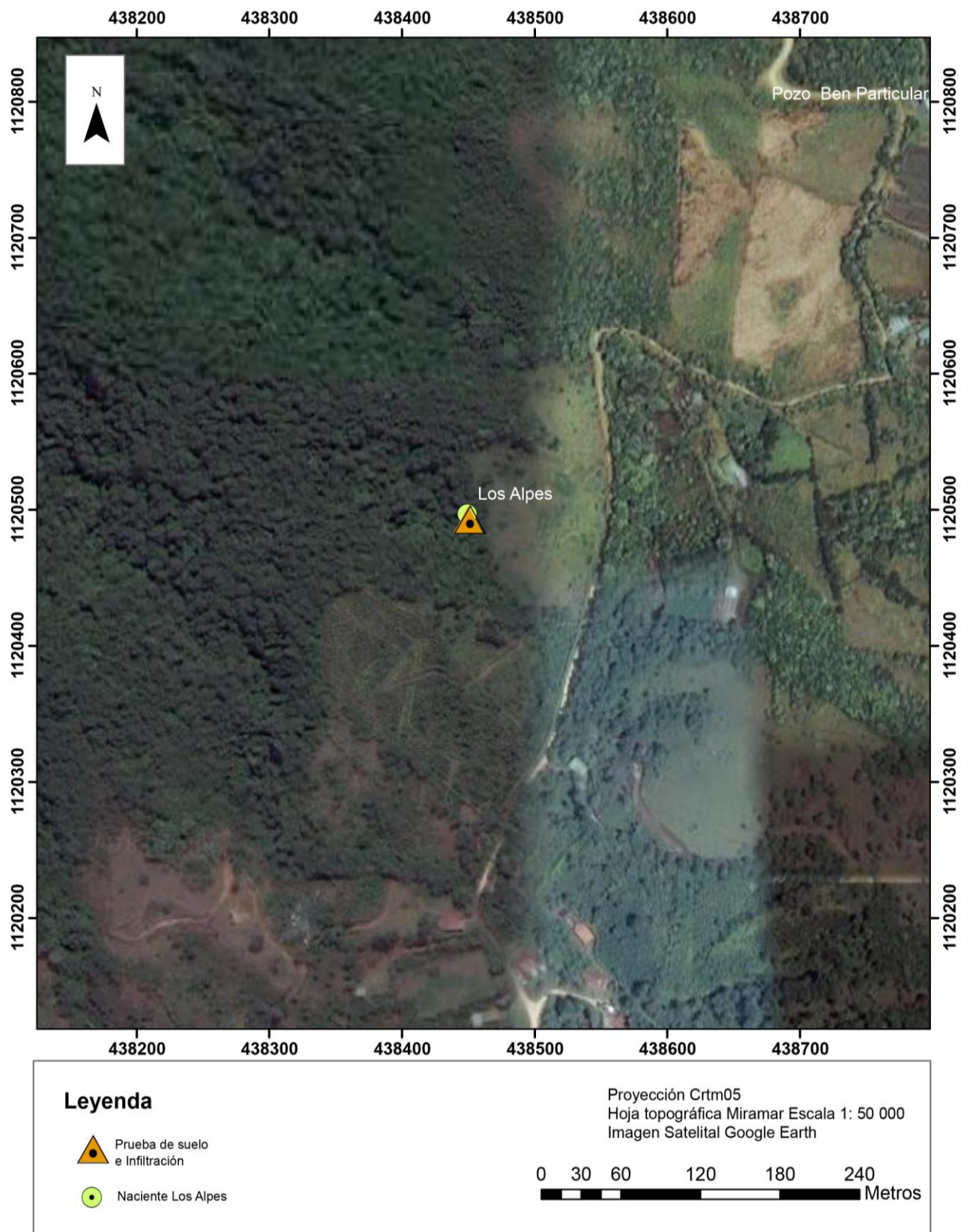


Figura 8: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.

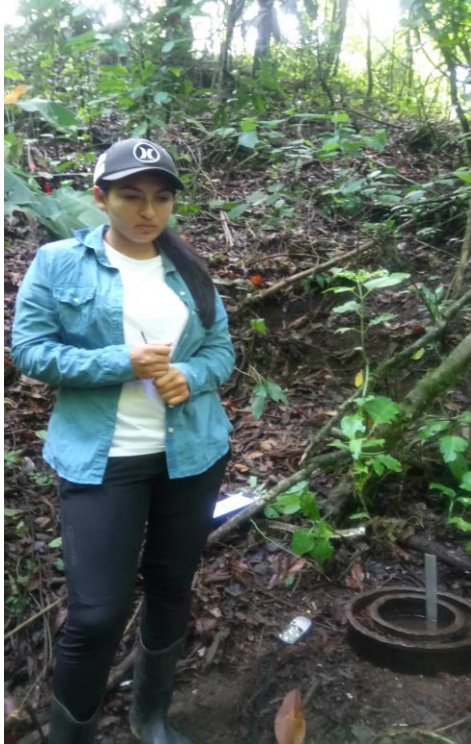


Figura 9: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Los Alpes.

El suelo en el sector presenta una coloración negro con alto contenido de materia orgánica, su plasticidad es baja.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,70 cm/min, lo que equivale a 10,08 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 90 minutos de iniciar con la prueba, esto se debe principalmente al alto contenido de materia orgánica y al contenido arenoso del suelo, lo que genera una alta tasa de infiltración que requirió mayor tiempo para estabilizarse.

Una velocidad de infiltración por día se puede considerar como alta. Dicha tasa de infiltración en la zona, tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permitiría una rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

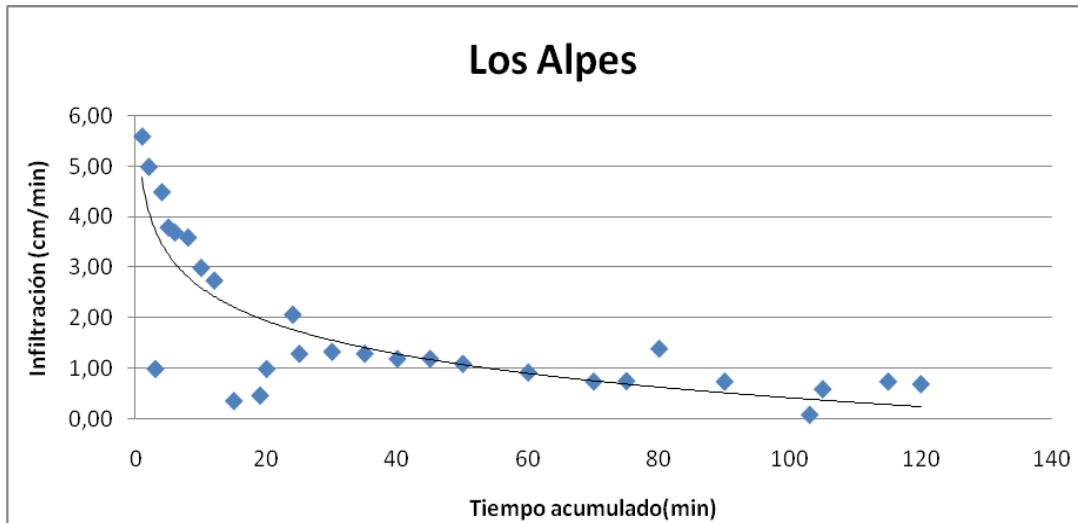


Figura 10: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la captación y a sus alrededores

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad ganadera, con lo cual es vulnerable a la contaminación bacteriana, producto de los desechos generados por los animales.

Debido a sus condiciones naturales (localizada dentro del cauce de una quebrada), la naciente puede presentar problemas de caída de árboles, tierra o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitarán los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomaron en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 2,14 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 185 m³/día.

Con base en el mapa de equipotenciales (figura 7) se ha calculado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,122, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H_1-H_2) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 411 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 10,08 m/d.

El siguiente cuadro resume los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros requeridos | Valores | | Origen de los valores |
|---|---------|-------------------|---|
| Q Caudal | 185 | m ³ /d | Información de la ASADA para época lluviosa |
| L Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 411 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad hidráulica | 10,08 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H ₁ -H ₂ | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados en las ecuaciones 1, 2 y 3 se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 1,07 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,06 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,02 metros aguas abajo del manantial. Como se observa en los resultados los valores obtenidos parecen ser insuficientes para crear una zona óptima de protección.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además el valor de 76% de porosidad utilizado se obtuvo de los muestreos realizados in situ.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos así como los resultados obtenidos para la metodología de isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Los Alpes.

| Manantial Los Alpes | |
|---|-------|
| Caudal (l/s) | 2,14 |
| Caudal m ³ /d | 185 |
| Gradiente hidráulico zona saturada (i) | 0,122 |
| Permeabilidad (k) (m/d) | 10,08 |
| Porosidad zona no saturada (n) | 0,76 |
| Porosidad porcentual (n%) | 76 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 113,3 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 161,8 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 809,1 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 161,8 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 809,1 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección, ésta posee una forma ancha tubular siguiendo la topografía, posee un área de 33 003 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (noroeste).

La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, la metodología de isócronas y la metodología de radio fijo.

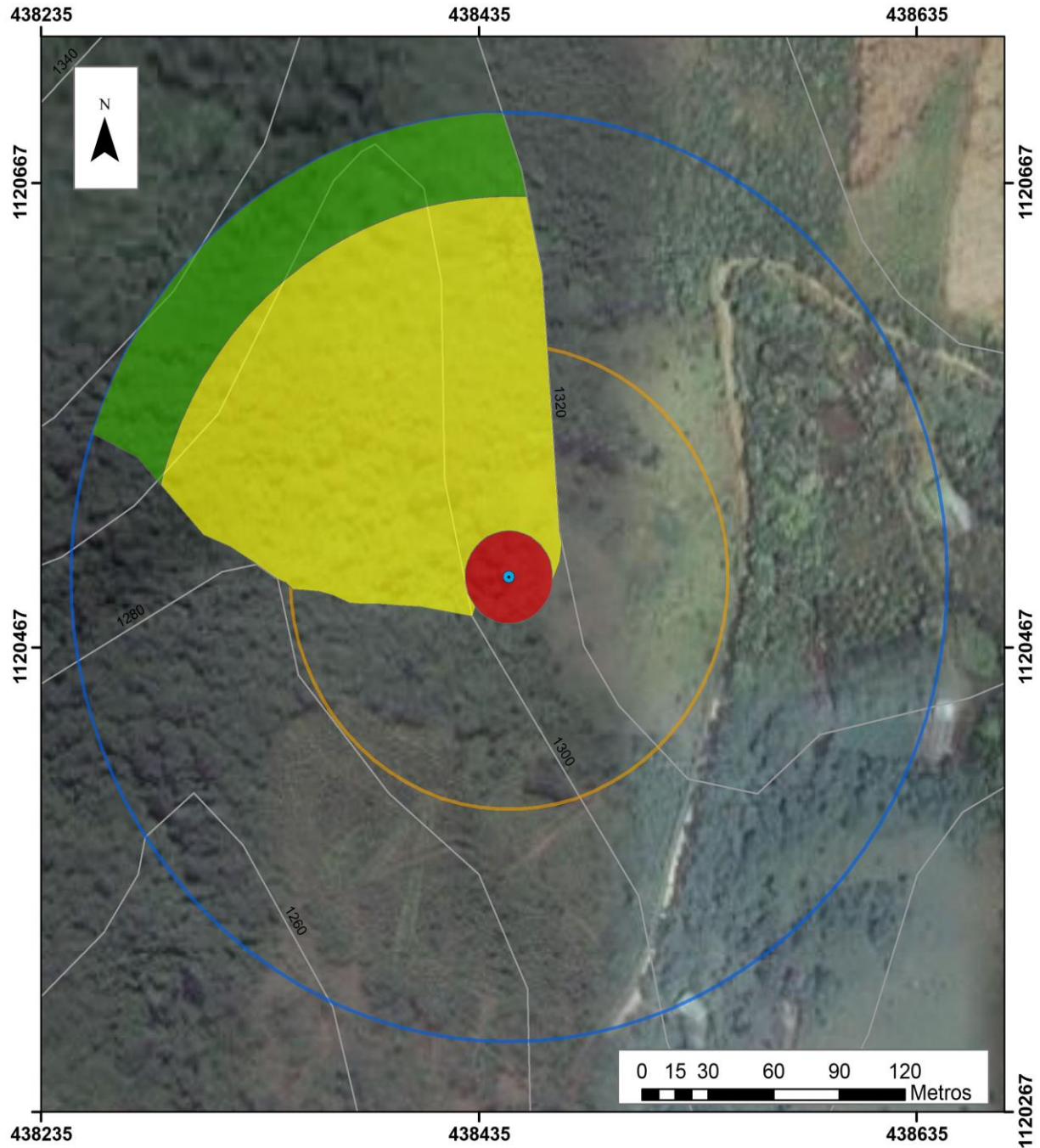
Con respecto a dichas subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (1 250 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo), este se ha basado en un valor definido por SENARA para la protección de las nacientes; le sigue la zona 2 (de color amarillo, 23 286 m²), definida por distancias hasta la isocrona de 100 días (161,8 metros).

Finalmente le sigue la zona 3 (color verde 8 467 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 500 días y que se ha culminado hasta el radio de 200 metros definidos por ley ya que el valor dado por la metodología de isócronas resultaba muy elevado para ser aplicado en la realidad.

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad de la misma y el sitio donde se realice. Para este caso se recomienda utilizar los terrenos aledaños para la reforestación y conservación.

En dado el caso de esto no ser posible se recomienda utilizar las zonas de protección de la siguiente forma:

- En la zona 3 (que corresponde con el tiempo de tránsito de contaminantes superior a 500 días) evitar generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos ó pesticidas), actividades agrícolas y ganaderas de bajo impacto son permitidas.
- En la zona 2 (las distancias hasta los 100 días), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generen contaminación bacteriológica (aguas negras, ganadería).
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA se debe evitar cualquier tipo de contaminación.



| | | | |
|-------------------|-------------------|--|------------------------|
| Simbología | | Proyección Crtm05 Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 | |
| | Manantial | | Zona 1 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 |
| | | | Zona 3 |
| | | | Radio arbitrario 100 m |
| | | | Radio arbitrario 200 m |

Figura 11: Zona de protección manantial Los Alpes.

1.5 Recomendaciones

La captación se debe de pintar ó si se desea se puede enchapar en cerámica, además se recomienda cambiar ó mejorar las tapas de captación, sustituyéndolas por tapas pintadas de acero inoxidable con candado, además se debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de protección, la cual debe de rotularse.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado o podrido o a punto de caer y sustituyéndolo por otros jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa. Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y poder saber con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.

Se recomienda cambiar el sistema de pago fijo por un sistema que incluya el uso de medidores.

2 Información general Manantial Francisco Montero, ASADA Bureal de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en una finca del Poblado de El Bureal, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1119892 N y 437238 E (figura 12) dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece inscrita ante la Dirección de Agua bajo el expediente 13031, con la cédula 3101453095, la naciente no posee nombre y su caudal de consumo no está registrado.

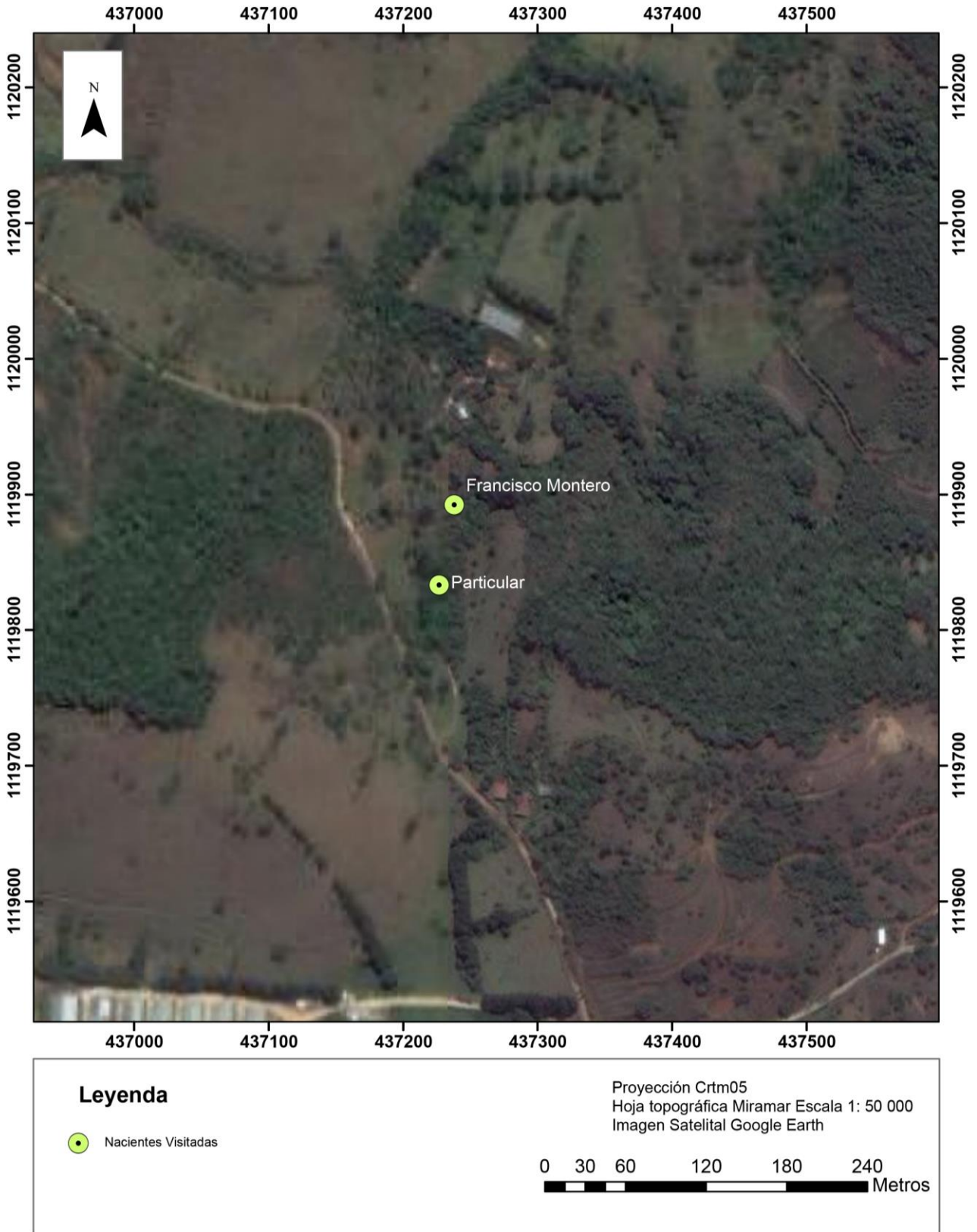


Figura 12: Mapa de ubicación Manantial Francisco Montero, ASADA Bureal, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA de El Bureal, abasteciendo a parte de la comunidad del mismo nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente plana con valor entre los 0° y 10°. Se considera el estado de la captación como de Regular, con una pequeña estructura de cemento sin pintar con tapa de hierro en malas condiciones.

No se cuenta con un dispositivo perimetral ni tampoco se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

No se presentan fugas, si se observa caudal ecológico, pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas. El área alrededor de la captación se encuentra con algunos desechos de una infraestructura cercana.



Figura 13: Captación Manantial Francisco Montero.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo destinado a las actividades finqueras, presenta a menos de 1 metro de distancia una siembra de plantas

de plátano, pasto recortado y árboles frutales es escasa proporción, el bosque ha sido cortado y solamente se observan troncos tumbados en los alrededores, a escasos 20 metros al oeste se localiza una antigua casa que se utiliza para guardar materiales y aves de la finca en la que se encuentra el manantial. Únicamente existe un pequeño parche boscoso ubicado a unos 25 metros al sur (aguas arriba) del manantial, este se ha preservado ya que en dicho sector se localizan al menos dos manantiales más que son utilizados por las fincas de la zona y las cuales generan una pequeña quebrada en la zona.



Figura 14: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector sur, aguas arriba de la captación.



Figura 15: Vista hacia el oeste del manantial.



Figura 16: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Francisco Montero.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 1,29 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el noroeste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

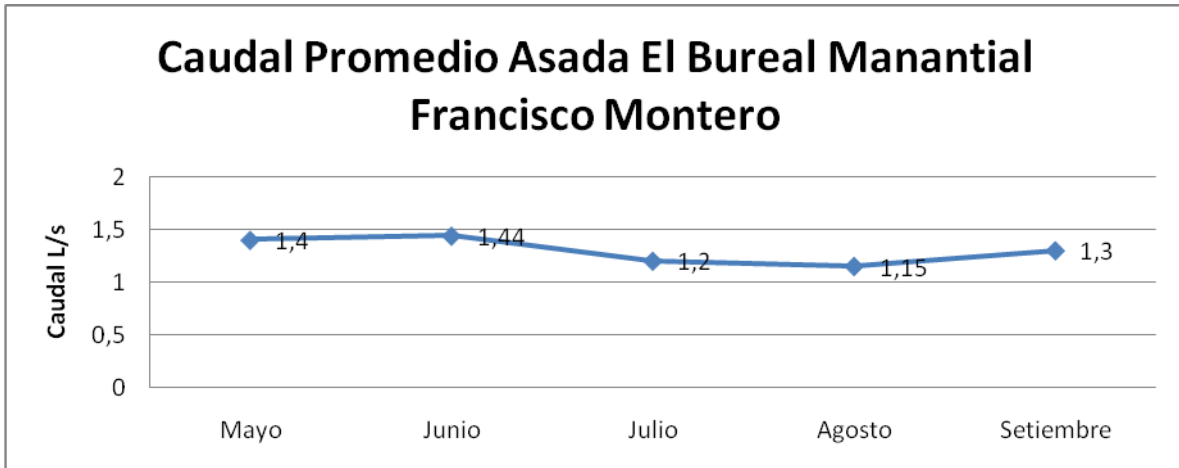


Figura 17: Tendencia del caudal mensual para el manantial Francisco Montero.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 1,15 l/s y 1,4 l/s, siendo el valor más alto registrado en los meses de mayo y junio y el menor en agosto. A nivel general el caudal para los meses estudiados ha tenido dos tendencias, al inicio de mayo el caudal presentaba un valor alto, el cual tendió a disminuir en los meses de julio y agosto, mientras que durante el mes de setiembre se nota una tendencia al aumento a la espera de los meses más lluviosos.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento, por medio de pastillas y su distribución se realiza por medio de gravedad hacia las casas, las cuales pagan una cuota fija por el uso de la misma.

Con respecto a la calidad del agua del manantial, cuenta con un análisis del Laboratorio Nacional de Aguas de Acueductos y Alcantarillados (AYA), realizado el día 7 de julio de 2017. Algunos de los parámetros analizados indican un pH ligeramente ácido de 6,21, una temperatura de 20,8° y una conductividad de 26 μ S/cm, estos valores implican un agua no contaminada, que junto con los otros muestreos indican según los análisis que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

2.1 Geología local

El agua del manantial brota en un sector plano en donde no se han observado afloramientos de roca ó bloques rodados, posiblemente esto pudieron ser removidos ya que la zona presenta cambios ambientales propios de las actividades que se pueden generar en una finca. El suelo presenta una coloración café claro, no se presenta cobertura con materia orgánica, su plasticidad es baja con posiblemente una fracción arenosa elevada.



Figura 18: Suelo presente en el manantial.

2.2 Características de la zona no saturada

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se

vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 437238 E / 1119894 N, a unos 2 metros del manantial.

Además se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 70%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café rojizo y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura Franco arcilloso (clasificación USDA), con una densidad de $0,9 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de 3 gr/cm^3 .



Figura 19: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 20: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Francisco Montero.

El suelo en el sector presenta una coloración claro con muy bajo contenido de materia orgánica, su plasticidad es baja.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,90 cm/min, lo que equivale a 12,96 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 100 minutos de iniciar con la prueba, esto se debe principalmente al uso de suelo (posiblemente muy removido) y al contenido arenoso del suelo, lo que genera una alta tasa de infiltración que requirió mayor tiempo para estabilizarse.

Una velocidad de infiltración por día se puede considerar como alta. Dicha tasa de infiltración en la zona, tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permitiría una rápida absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

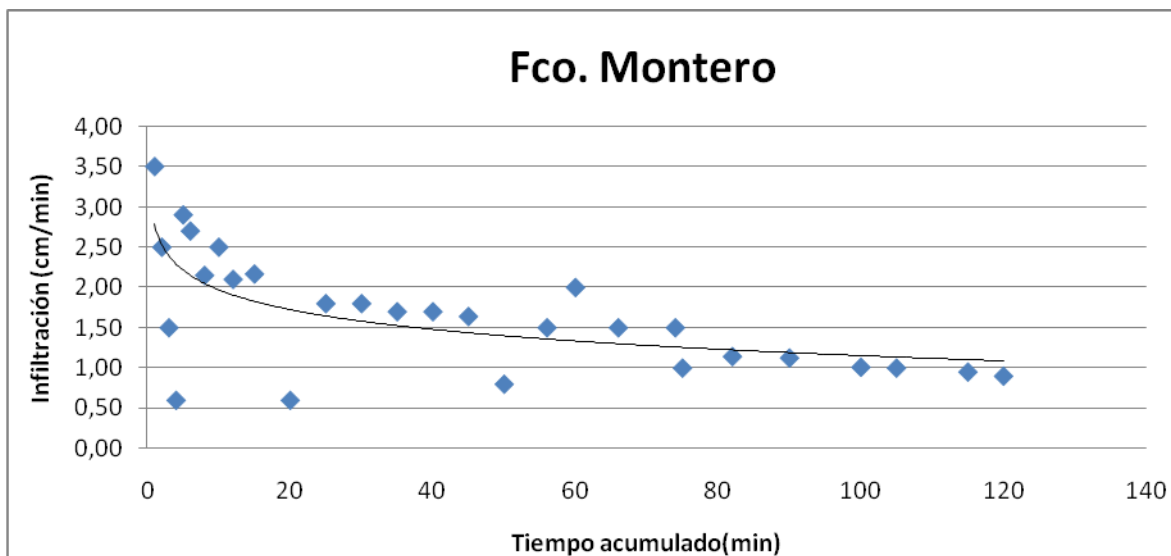


Figura 21: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

2.3 Amenazas a la captación y a sus alrededores

El manantial se localiza en un lugar en donde prácticamente carece de cobertura boscosa, se encuentra muy expuesto y no posee ningún tipo de dispositivo perimetral. Por lo que es vulnerable a daños y afectaciones por parte de terceras personas, además de ser susceptible a ser contaminados por sustancias utilizadas en las labores de la finca (desechos de animales, pesticidas, combustibles, entre otros).

En momentos de altas precipitaciones se puede presentar erosión del suelo debido a la falta de cobertura vegetal, lo que puede generar la acumulación de sedimentos en los tanques y contaminar el agua.

2.4 Determinación de las zonas de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomaron en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 1,29 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 111 m³/día.

Además; con base en el mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se ha determinado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,07, con una diferencia de

alturas del nivel de agua (H_1-H_2) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 1443 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 12,96 m/d.

El siguiente cuadro resume los valores utilizados.

Cuadro 3: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|---------|-------------------|---------------------------------|
| Q Caudal | 111 | m ³ /d | Aforo Volumétrico |
| Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 1443 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 12,96 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H_1-H_2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3 se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 7,6 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,4 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,13 metros aguas abajo del manantial.

Sin embargo de acuerdo a las condiciones topográficas y de uso de suelo que imperan en los alrededores del manantial, se considera que los valores obtenidos mediante dicha metodología no cumplen con criterios aplicables a la realidad por lo que la metodología analítica ha sido descartada.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla, asumiendo un medio poroso.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 4: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Francisco Montero.

| Manantial Fco. Montero | |
|---|--------|
| Caudal (l/s) | 1,29 |
| Caudal m ³ /d | 111 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada (i) | 0,034 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 12,96 |
| Porosidad zona no saturada (n) | 0,70 |
| Porosidad porcentual (n%) | 70 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 1 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 44,064 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 314 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 44 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 314 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Con aplicación de las metodologías anteriormente mencionadas, se ha delimitado la zona de protección del manantial con base en la metodología hidrogeomorfológica y las isócronas de 70 y 500 días respectivamente, ésta posee una forma tubular con un área de 44 724 m², la cual cubre desde la captación pendiente aguas arriba (Suroeste).

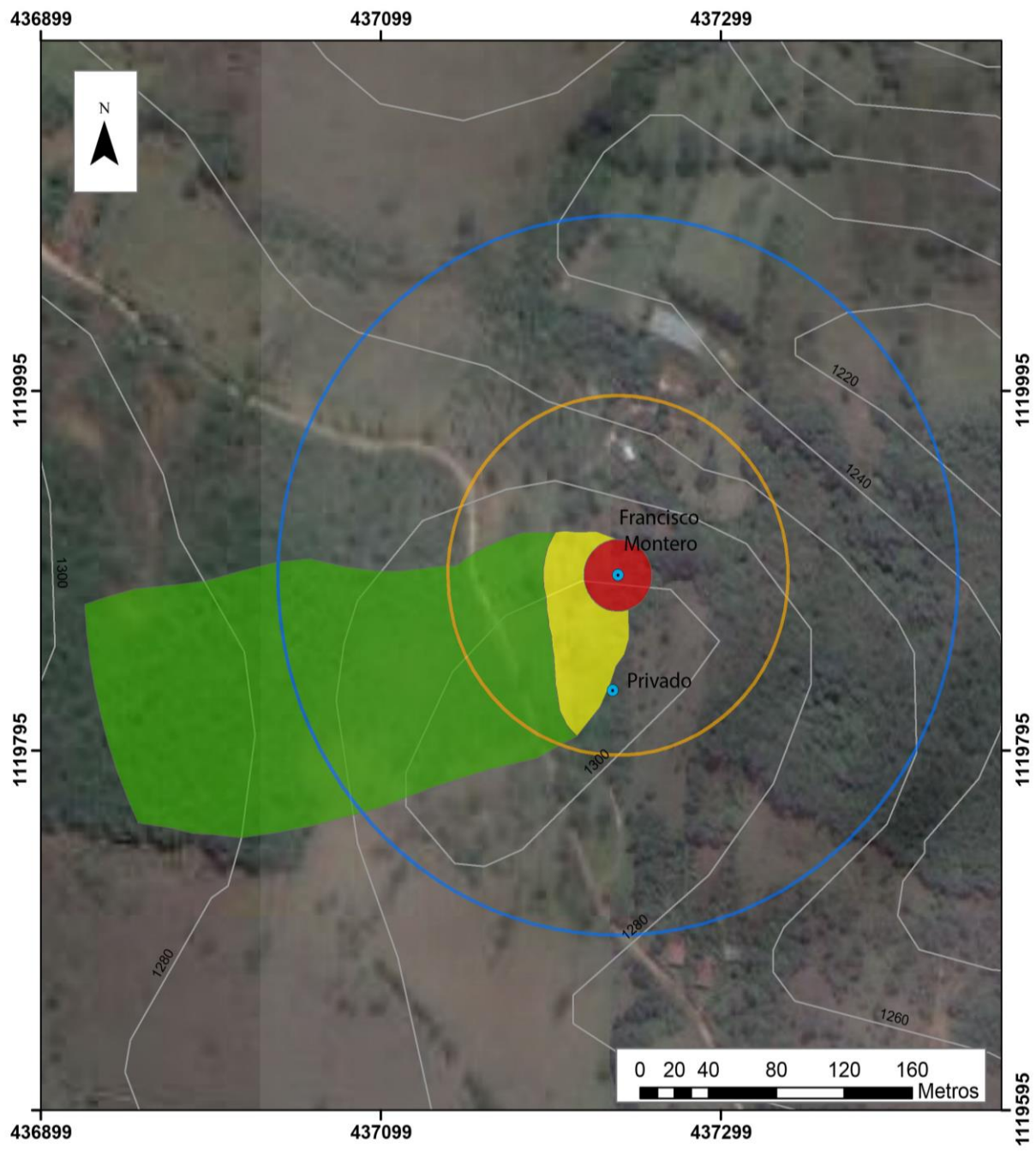
Su perímetro se ha conformado con base en la topografía de la zona y en los flujos de agua superficial que se presentan en el sector, así como el establecimiento de la dirección de flujo de agua tanto subterránea (por medio del mapa de equipotenciales y topografía). Cabe destacar que cerca del manantial de estudio, se presentan al menos 2 captaciones que están siendo aprovechadas por terceros unos 50 metros aguas arriba, para lo cual, la zona de protección las ha considerado contemplando que un impacto en ellas podría implicar un impacto directo al manantial.

Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (radio arbitrario establecido por SENARA, 1 249 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1

o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le sigue la zona 2 (de color amarillo, 3 479 m²), definida por la isócrona de 70 días y equivale a 44 metros agua arriba de los manantiales (incluyendo los otros que son utilizados por terceros), finalmente le sigue la zona 3 (color verde 39 996 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 70 días y limitada hasta la isócrona de 500 días equivalente a una distancia de 314 metros aguas arriba del manantial..

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad de la misma y el sitio donde se realice.

- En la zona 3 (que corresponde con la distancia mayor a la isócrona de 70 días) se pueden realizar actividades agropecuarias de bajo impacto mientras que las mismas no puedan generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2 (las distancias menores a 70 días, equivalentes a 44 metros), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generen contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganado), además se debe evitar la corta de árboles.
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA. No se permite ningún tipo de contaminación, ni intervención que pueda dejar basura ó cualquier tipo de contaminantes.



| | | | | |
|-------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|---|
| Simbología | | Zonas de Protección | | Proyección Crtm05 |
| | Manantial | | Zona 1 | Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 | |
| | | | Zona 3 | |
| | | | Radio arbitrario 100 m | |
| | | | Radio arbitrario 200 m | |

Figura 22: Zona de Protección Manantial Francisco Montero.

2.5 Recomendaciones

La captación se debe de pintar o si se desea se puede enchapar en cerámica, además se recomienda cambiar o mejorar la tapa de captación, sustituyéndolas por tapas pintadas de acero inoxidable con candado, además se debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de con protección la cual debe de rotularse.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar basura a un radio de 20 metros del manantial. También es necesario reforestar con árboles de la zona, los alrededores del manantial y evitar utilizar el sector para otro tipo de actividades.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y saber con el tiempo los periodos en donde se presentan el menor valor, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.

Se recomienda cambiar el sistema de pago fijo por un sistema que incluya el uso de medidores.



ASADA EL CARMEN

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



1 Información general Manantial Belén, ASADA El Carmen de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector montañoso cercano al poblado de El Carmen, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1117094 N y 438769 E (figura 1) a una altitud de 1173 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece inscrita ante la Dirección de Agua bajo el expediente 954, cédula 3002624660, conocida como Naciente Belén, con un caudal de consumo de 0,96 l/s.



Figura 1: Mapa de ubicación Manantial Belén, ASADA El Carmen, Piedades Sur de San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA de Barrio el Carmen, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente alta entre los 20° y 30°. Se considera el estado de la captación como de Regular, con una pequeña estructura de cemento la cual se encuentra cubierta de vegetación y sin pintar, presenta una tapa de hierro oxidada, con un candado oxidado que no funciona.

No se cuenta con un dispositivo perimetral ni tampoco se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

No se observaron fugas, se presenta caudal ecológico pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas. El área alrededor de la captación se encuentra con algunos desechos de un antiguo clorador que actualmente no se utiliza.



Figura 2: Captación Manantial Belén.



Figura 3: Vista interna del tanque de captación.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo dominado por el uso destinado a ganadería, el sector donde se encuentran los manantiales está cubierto por un bosque secundario de un radio de 30 metros de la naciente, dicho bosque se encuentra en regeneración principalmente en el sector sur del manantial (aguas arriba del manantial).



Figura 4: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector norte, aguas abajo.

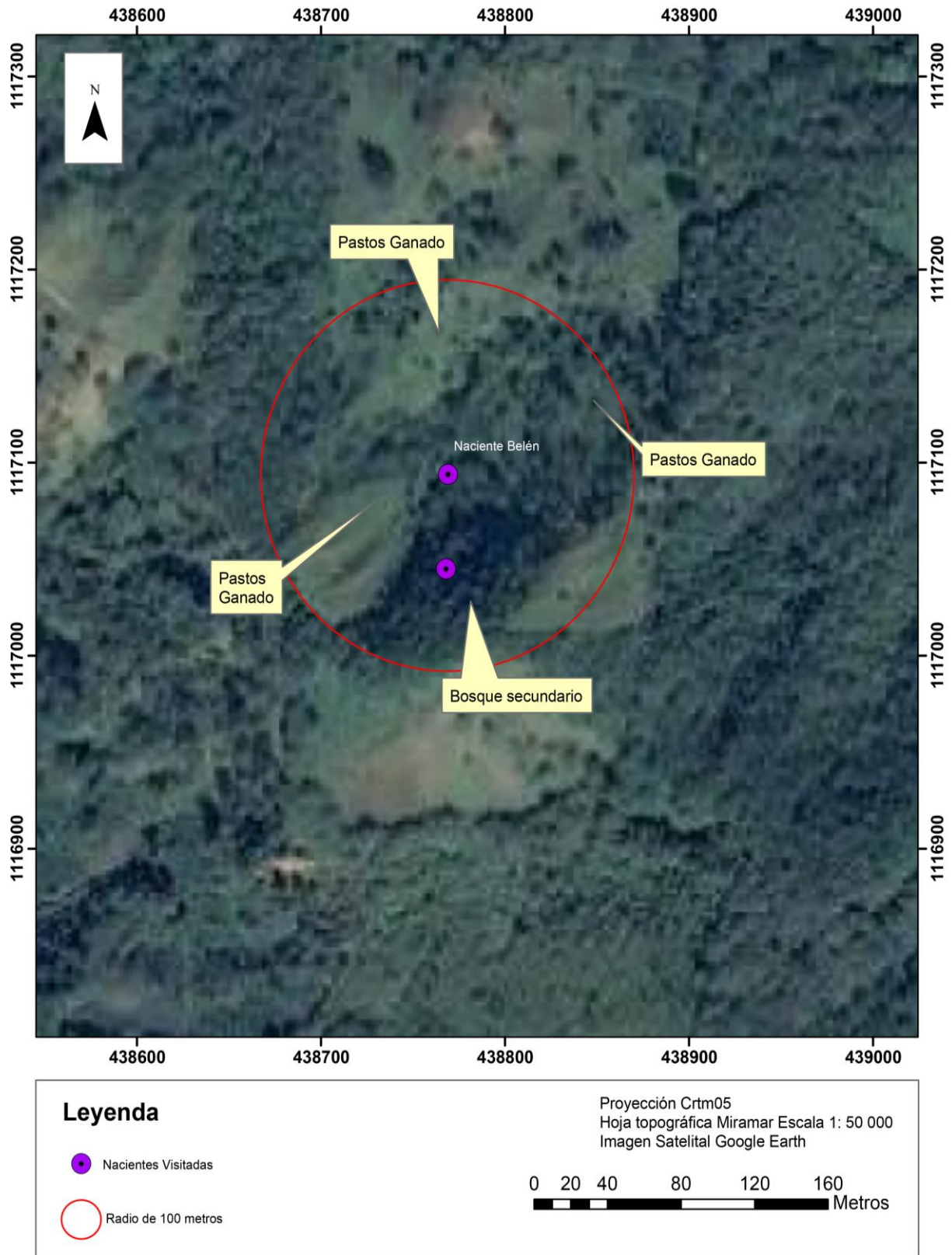


Figura 5: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Belén.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta agosto mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 0,5 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el norte. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

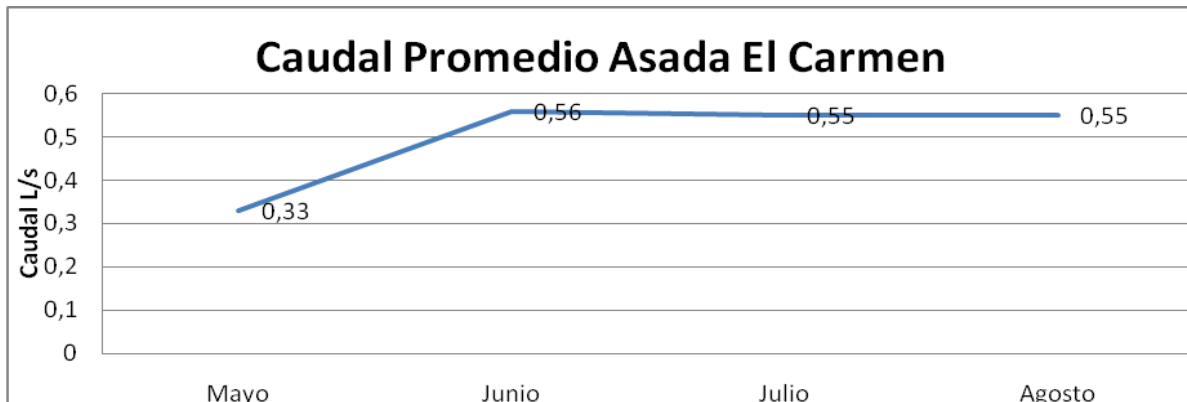


Figura 6: Tendencia del caudal mensual para el manantial Belén.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 0,33 l/s y 0,55 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de junio y el menor en mayo, aunque desde el mes de junio se muestra una tendencia constante del caudal a la espera de los meses más lluviosos.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento. La distribución de agua se realiza por medio de gravedad hacia los 42 abonados que poseen actualmente.

Con respecto a la calidad del agua del manantial, el Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) realizó un análisis el día 9 de febrero del 2018. Los parámetros analizados indican un pH neutro de 6,97, una temperatura de 20,4° y una conductividad de 58 μ S/cm. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología Local

El agua del manantial brota al pie de monte, compuesto por un coluvio altamente meteorizado, el cual genera un suelo color amarillo de textura areno-arcillosa, en algunos sectores muestra clastos muy alterados dentro de su matriz. Los clastos poseen una

forma redondeada a alargada, son de esfericidad alta, cuya génesis es indeterminada debido al alto grado de meteorización en que se observan. Se presentan clastos con fracturas arcillitizadas y oxidadas, lo que genera un aumento en el grado de meteorización de las rocas.



Figura 7: Geológicamente el manantial se compone de rocas muy alteradas.

1.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 438856,006 E / 1117155,879 N, a unos 80 metros al noreste del manantial. Debido a la alta pendiente el ensayo se realizó lejos de la captación. El siguiente mapa muestra la ubicación de la prueba.

Se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad, misma que fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica, el cual determinó un valor de porosidad de 54%. El suelo se caracteriza por poseer un color café y una plasticidad moderada, además el CIA determinó que posee una textura Franco arcillo Arenoso (clasificación USDA), con una densidad de 1,1 gr/cm³ y una densidad de partículas de 2,4 gr/cm³.



Figura 8: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y muestreo de suelo.



Figura 9: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Belén.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,20 cm/min, lo que equivale a 2,88 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 20 minutos de iniciar con el ensayo, esto se debe principalmente a que los suelos durante la visita se encontraban con un alto contenido de humedad producto de lluvias recientes, lo que aceleró el proceso de normalización de la infiltración.

Una velocidad de 2,88 metros por día se puede considerar como de moderada a alta. La infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

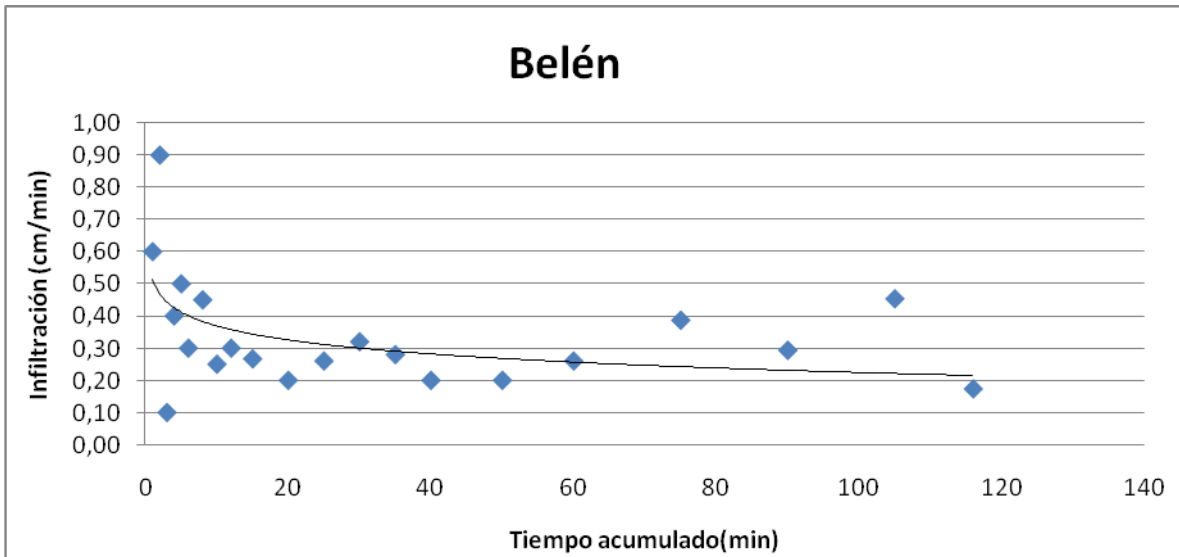


Figura 10: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad ganadera, con lo cual es vulnerable a la contaminación bacteriana, producto de los desechos generados por los animales. Los alrededores de la captación presentan una pendiente entre los 15 y 45°, los cuales han sido deforestados para cambiar el uso de suelo por potreros. Factores como lluvias intensas o muy prolongadas pueden generar problemas de deslizamientos de rocas y suelo, teniendo como posibles consecuencias el sepultamiento de la captación o restringir el acceso al manantial.

Debido a sus condiciones naturales (localizada dentro del cauce de un río), la naciente puede presentar problemas de inundación, caída de árboles y/o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitarán los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura. El caudal del manantial es 0,5 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 43,2 m³/día.

Además, con base en el mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se ha determinado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,02, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H1-H2) de 50 m y una distancia entre las mismas de 2 261,15 m. El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 2,88 m/d. El siguiente cuadro resume de todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|---------|-------------------|---------------------------------|
| Q Caudal | 43,2 | m ³ /d | Aforos Volumétricos |
| L Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 2261,15 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 2,88 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 5,5 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,3 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,09 metros aguas abajo del manantial. En este caso los resultados tienden a ser poco prácticos debido a sus bajos valores, los cuales debido a la topografía y uso de suelo de la zona se han descartado.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla. El siguiente cuadro resume los valores requeridos, así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Belén.

| Manantial Belén | |
|--|-------|
| Caudal (l/s) | 0,5 |
| Caudal m ³ /d | 43,2 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada (i) | 0,02 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 2,88 |
| Porosidad zona no saturada (n) | 0,54 |
| Porosidad porcentual (n%) | 54 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito igual a 100 días | 10,66 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito igual a 500 días | 53,33 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 10,66 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 53,33 metros. Para el caso de contaminantes que perduran hasta 5 años, deben ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 194,67.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente, zonas con potencial a deslizarse y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial. Esto genera una estructura alargada y curvada delimitada por los cauces de ríos de la zona y la geomorfología de las colinas que conforman el sector estudiado.

La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, el flujo de agua superficial, la metodología de isócronas y uso actual del suelo.

De acuerdo con las metodologías utilizadas, se estableció un área de 37 013 metros cuadrados, la cual posee una forma tubular con rumbo aguas arriba del manantial (Suroeste), girando por topografía y presencia de ríos hacia el suroeste. Esta forma se ha definido con base en la topografía de la zona, y los cursos de agua superficial.

Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (1 250 m²) alrededor de la naciente, considerada como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo), este se ha basado en el valor definido por el radio arbitrario de 20 metros definido por SENARA, ya que las isócronas dan valores muy bajos. Le sigue la zona 2 (de color amarillo, 12 124 m²), definida por el radio arbitrario del SENARA debido a que las isócronas dan muy bajas (100 m).

Finalmente le sigue la zona 3 (color verde 23 638 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 5 años y que se ha delimitado con el radio arbitrario del SENARA de 200 metros y delimitado con la divisoria de aguas, así como en los límites de quebradas ubicadas en los alrededores.

Las limitantes en el uso del suelo estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad y el sitio donde se realice. Para el caso de la naciente Belén, al encontrarse en una zona de bosque de alta pendiente, se identifican sectores con potencial a deslizarse, por lo tanto se recomienda destinar el área de protección en su totalidad para la conservación.

En dado el caso de no ser posible se recomienda utilizar las zonas de protección de la siguiente forma:

- En la zona 3, evitar generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2, no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación.
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA se debe evitar la contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras por ganado).

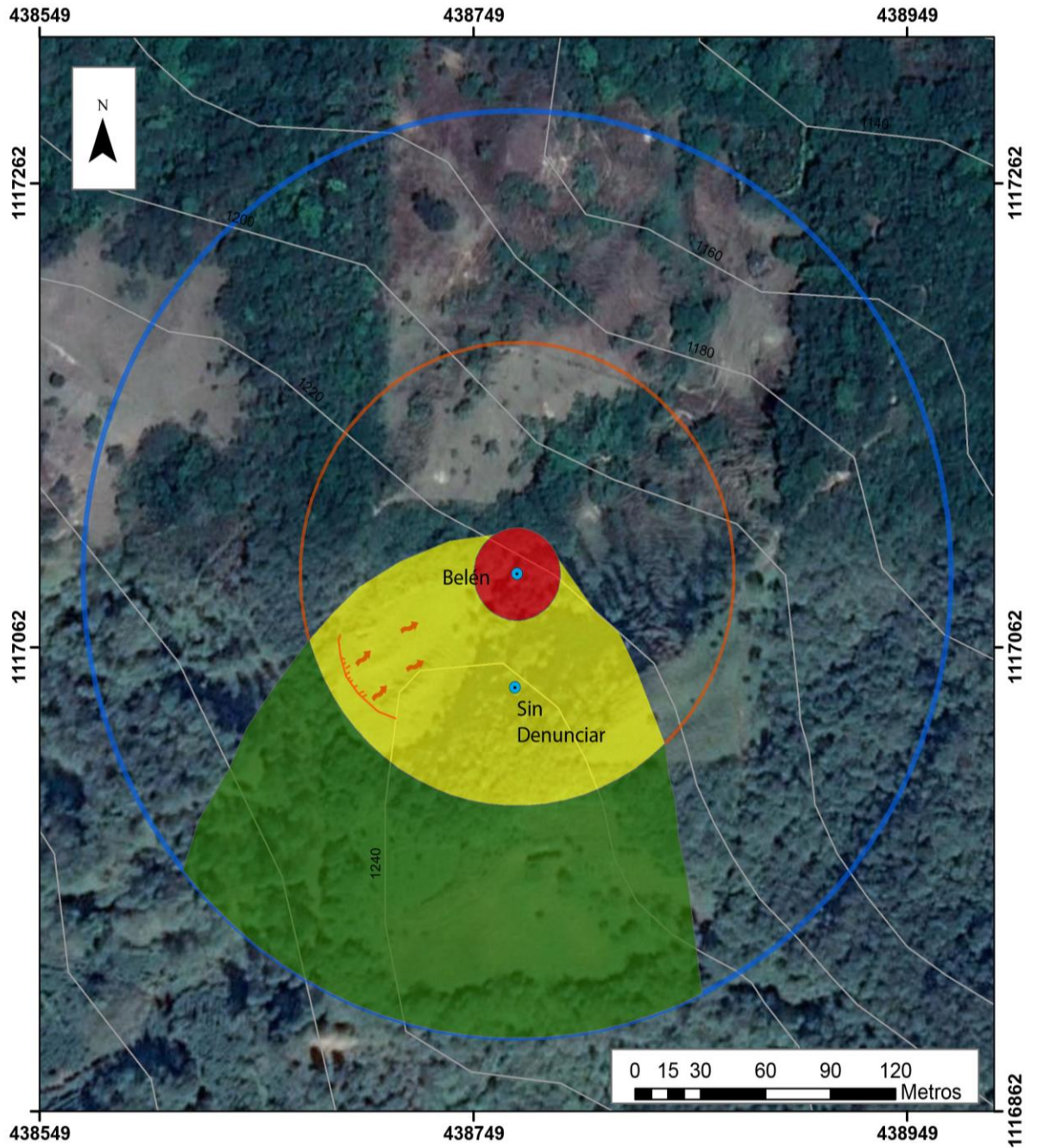


Figura 11: Zona de protección manantial Belén, ASADA El Carmen.

1.5 Recomendaciones

La captación se debe de pintar o si se desea se puede enchapar en cerámica, se recomienda cambiar las tapas de captación, sustituyéndolas por tapas pintadas de acero inoxidable con candado, además se debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de protección con la respectiva rotulación para evitar daños.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado, podrido o a punto de caer, para luego sustituirlo por árboles jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se debe iniciar un proceso de reforestación en las partes altas del manantial, tratando de disminuir los procesos erosivos de la zona.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes, para determinar con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, su relación con las sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.



ASADA EL SALVADOR

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



1. Información general Manantial el Salvador, ASADA El Salvador de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector montañoso del Poblado de El Salvador, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1115328 N y 435042 E (figura 1), a una altura de 684 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece inscrita ante la Dirección de Agua bajo el expediente 869, con la cédula 4000042138, conocida como Naciente Lizano, con un caudal autorizado de consumo de 1,75 l/s.



Figura 1: Mapa de ubicación Manantial El Salvador, ASADA El Salvador, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA El Salvador, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente moderada entre los 15° y 25°. Se considera el estado de la captación como de Regular, con una pequeña estructura de cemento pintada (sin embargo se debe volver a pintar), presenta tapas de hierro oxidadas cubiertas por latas de zinc y rocas.

No se cuenta con un dispositivo perimetral ni tampoco se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

No se observaron fugas, se presenta caudal ecológico pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 2: Captación Manantial El Salvador.



Figura 3: Tapa de metal oxidada.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo variable, hacia el norte y sureste hasta un radio de 100 metros se presenta un bosque primario el cual se encuentra distribuido a lo largo de un cauce de río. Hacia el oeste a unos 20 metros del manantial el uso de bosque cambia a ser de pastoreo para ganado, de la misma forma hacia el este del manantial a unos 60 metros el uso cambia de bosque a pasto.

Cabe mencionar que a unos 30 metros aguas arriba del manantial se localiza un sendero o trocha, el cual se utiliza para llevar el ganado de una finca a otra, condición que pidió el dueño de la finca a la hora de ayudar a la ASADA a captar el agua del manantial.



Figura 4: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector norte, aguas arriba



Figura 5: Uso del suelo a unos metros al oeste del manantial.

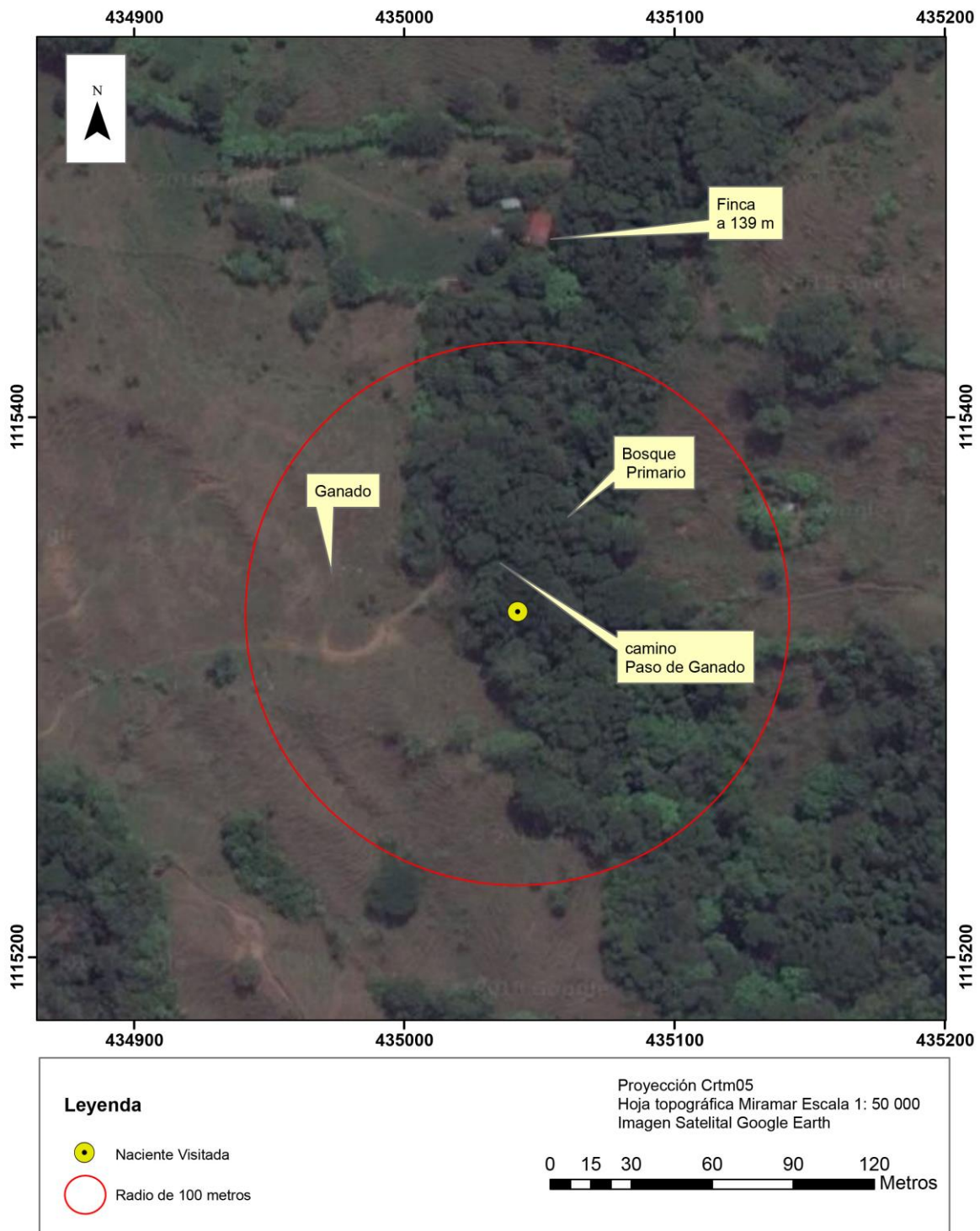


Figura 6: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial el Salvador.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico indicó un valor promedio de de 5,47 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sureste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

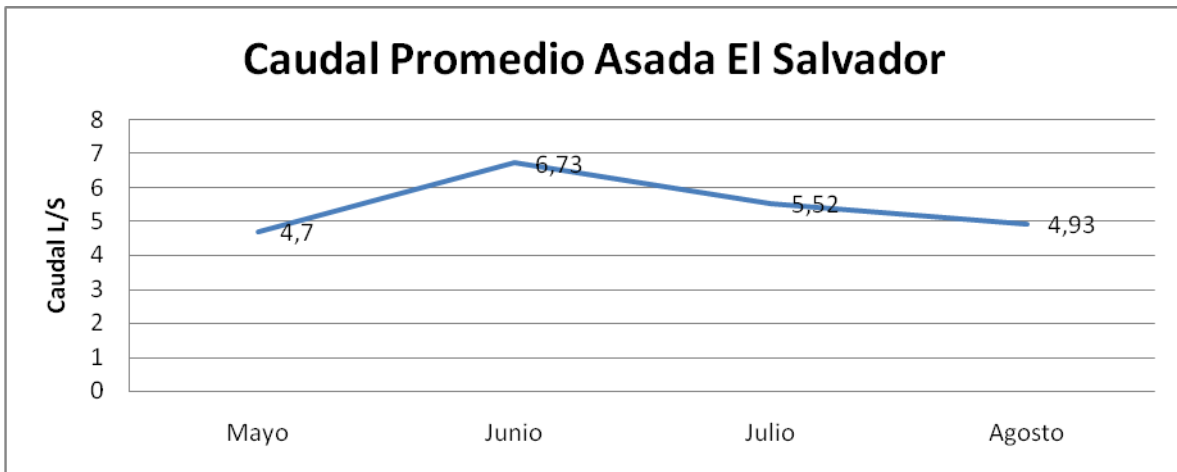


Figura 7: Tendencia del caudal mensual para el manantial El Salvador.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 4,7 l/s y 6,73 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de junio y el menor en mayo, aunque durante los meses de julio y agosto se muestra una tendencia a la disminución del caudal a la espera de los meses más lluviosos.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento, por medio de 1 pastilla cada 3 días. La distribución de agua se realiza por medio de gravedad hacia las 85 pajas que poseen actualmente (todas con medidor).

Con respecto a la calidad del agua del manantial, el Laboratorio Nacional de Aguas de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) realizó un análisis el día 9 de febrero del 2018. Los parámetros analizados indican un pH de 6,69, temperatura de 24,3° y una conductividad de 127 μ S/cm. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología Local

El agua del manantial brota al pie de monte de un coluvio, las rocas que lo componen conforman bloques métricos de hasta 2 metros de longitud los cuales se encuentran entre una matriz de suelo color negro (35%), los bloques son de formas redondeadas y elongadas (65%), presentan una composición monogenética, son de alta dureza y elevada densidad, textura afanítica porfirítica, con una matriz de coloración negra (65%) en la cual se encuentran fenocristales de plagioclasa arcillitizados (25%) de hasta 0,5 mm y piriboles (10%).



Figura 8: Roca junto a la cual se construyó la captación, se observa un clasto redondeado incrustado en la misma.



Figura 9: Composición de los bloques de roca encontrados.

1.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 434983 E / 1115320 N, a unos 60 metros al oeste del manantial. El ensayo se realizó lejos de la captación debido al exceso de bloques de roca que impedían la colocación de los anillos en el suelo. El siguiente mapa muestra la ubicación de la prueba.

Se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad. Fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica, el cual determinó un valor de porosidad de 61%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café claro y una plasticidad moderada, además el CIA determinó que posee una textura Franco arcillo arenoso (clasificación USDA), con una densidad de $0,9 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $2,3 \text{ gr/cm}^3$.

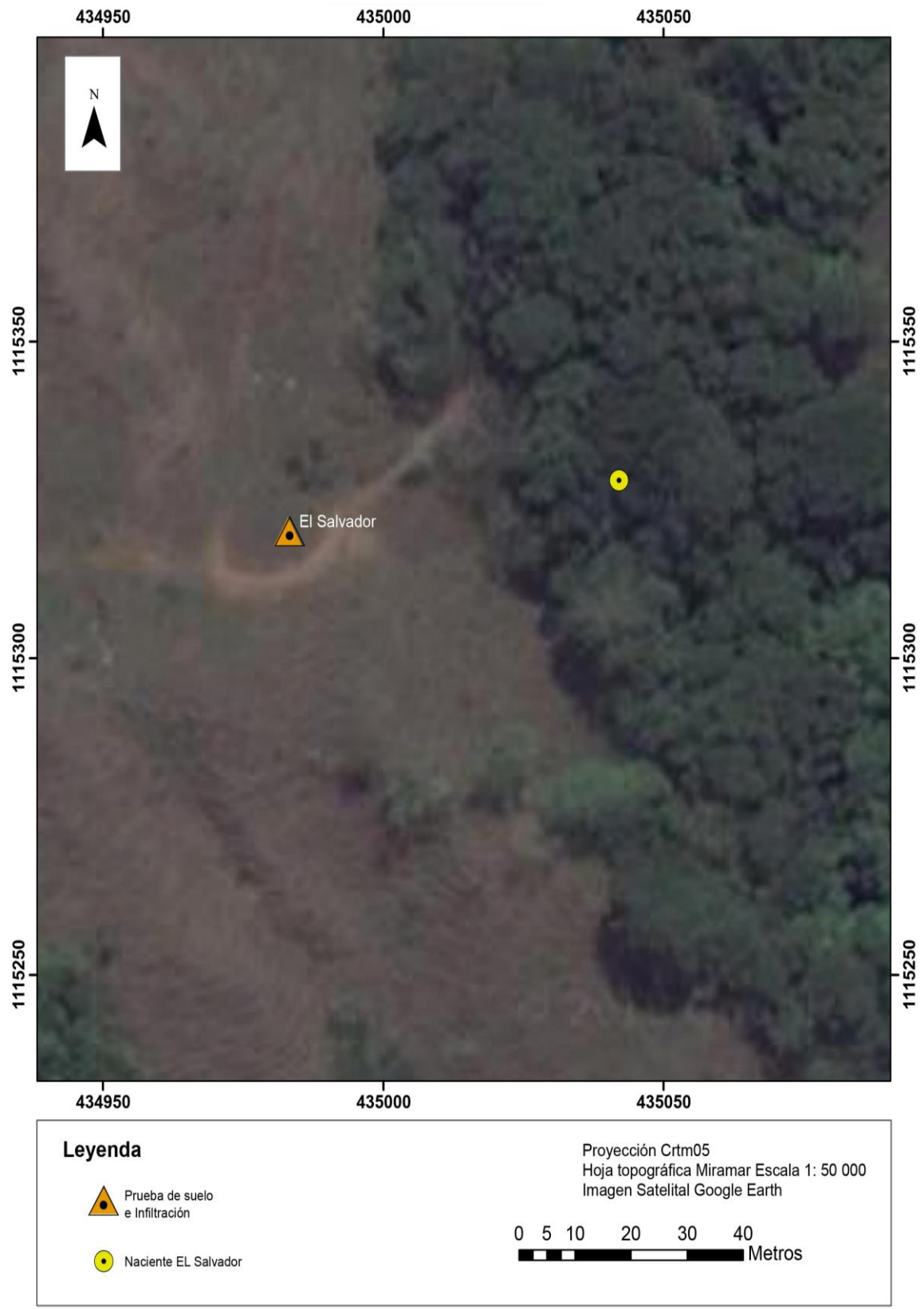


Figura 10: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 11: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial El Salvador.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,15 cm/min, lo que equivale a 2,16 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 20 minutos de iniciar el ensayo, esto se debe principalmente a que los suelos durante la visita se encontraban con un alto contenido de humedad producto de lluvias recientes, lo que aceleró el proceso de normalización de la infiltración.

Una velocidad de 2,16 metros por día se puede considerar como moderada. La infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

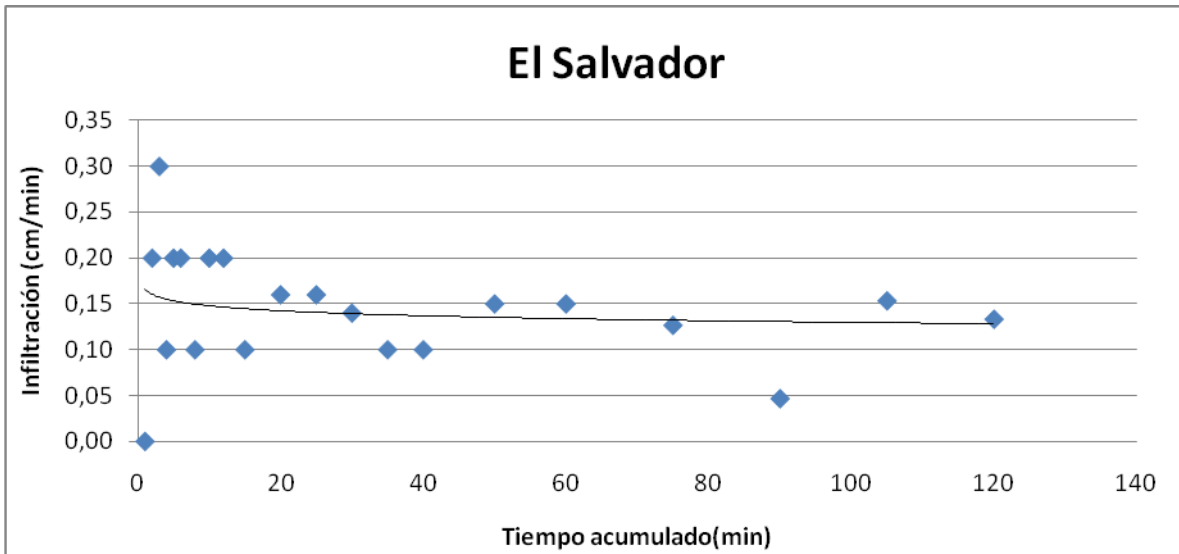


Figura 12: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad ganadera, con lo cual es vulnerable a la contaminación bacteriana, producto de los desechos generados por los animales. Los alrededores de la captación presentan una pendiente entre los 15 y 45°, los cuales han sido deforestados para cambiar el uso de suelo por potreros. Factores como lluvias intensas o muy prolongadas pueden generar problemas de deslizamientos de rocas y suelo, teniendo como posibles consecuencias el sepultamiento de la captación o restringir el acceso al manantial.

Debido a sus condiciones naturales (localizada dentro del cauce de un río), la naciente puede presentar problemas de inundación, caída de árboles y/o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitarán los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomaron en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura. El caudal del manantial es 5,47 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 472 m³/día.

En base al mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se determinó un gradiente hidráulico para el manantial de 0,15 con una diferencia de alturas del nivel de agua (H1-H2) de 50 m y una distancia entre puntos de 346 m. El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 2,16 m/d.

El siguiente cuadro resume de todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|----------------|-------------------|---------------------------------|
| Q Caudal | 472 | m ³ /d | Aforos Volumétricos |
| L Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 346,00 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 2,16 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 32 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 1,77 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,56 metros aguas abajo del manantial. En este caso los resultados tienden a ser poco prácticos debido a sus valores bajos, los cuales debido a la topografía y uso de suelo de la zona se han descartado.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos, así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial El Salvador.

| Manantial El Salvador | |
|--|--------|
| Caudal (l/s) | 5,47 |
| Caudal m ³ /d | 472 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada (i) | 0,15 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 2,16 |
| Porosidad zona no saturada (n) | 0,61 |
| Porosidad porcentual (n%) | 61 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito igual a 70 días | 37 |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito igual a 100 días | 53,11 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito igual a 500 días | 265,57 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 53,11 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser vertidos aguas arriba a una distancia menor a 265,57 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial. Esto genera una estructura alargada y curvada delimitada por los cauces de ríos de la zona y la geomorfología de las colinas que conforman el sector estudiado.

La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, el flujo de agua superficial, la metodología de isócronas y uso actual del suelo.

De acuerdo con las metodologías utilizadas, se estableció un área de 41 052 metros cuadrados, la cual posee una forma tubular con rumbo aguas arriba del manantial (norte). Esta forma se ha definido con base en la topografía de la zona, y los cursos de agua superficial.

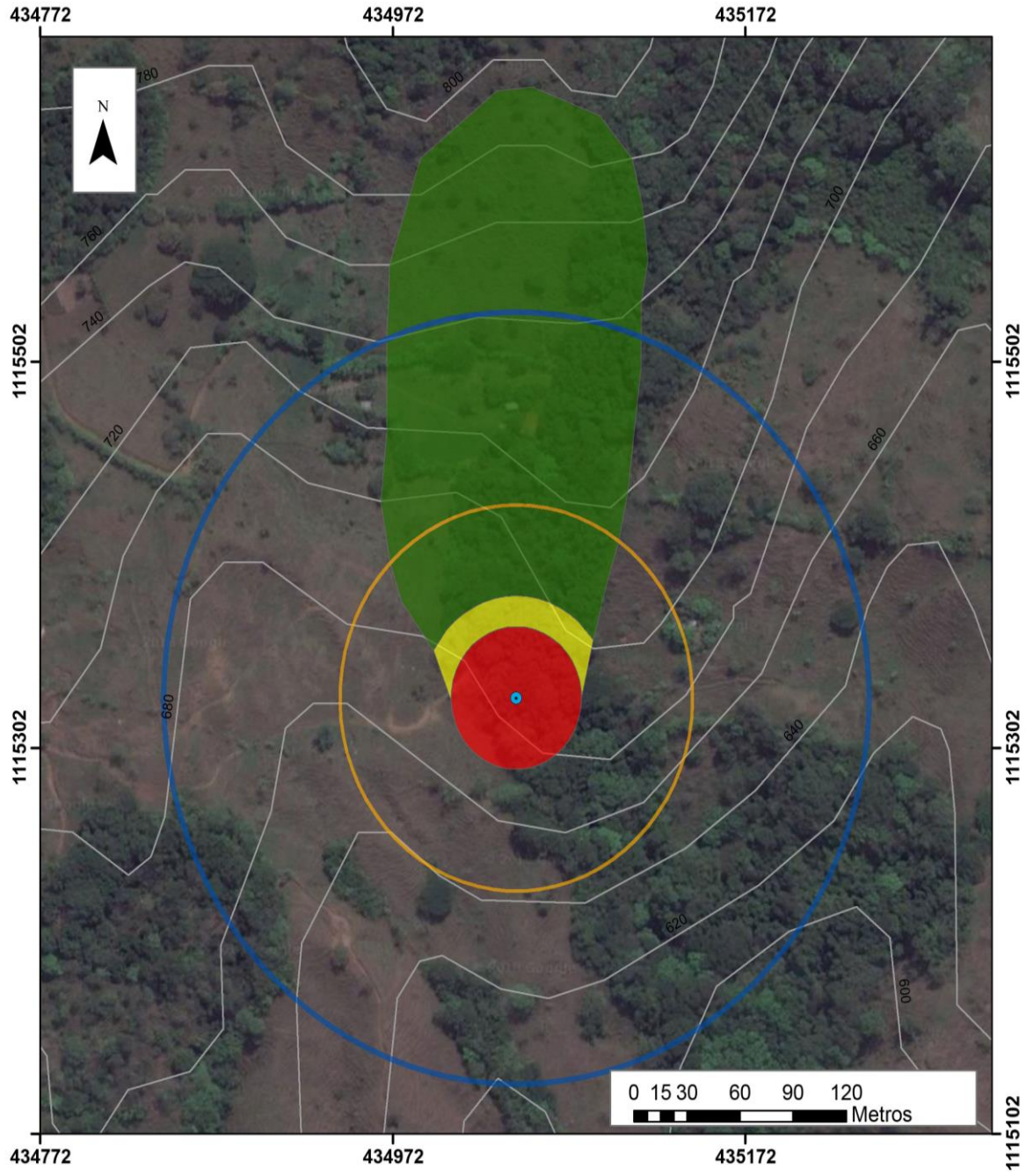
Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 37 metros (4 285,55 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo), este se ha basado en el valor definido por la isócrona de 70 días

agrandando así el radio arbitrario de 20 metros definido por SENARA. Le sigue la zona 2 (de color amarillo, 1 748,45 m²), definida por distancias aproximadas a la isócrona de 100 días (distancia de 53,11 m).

Finalmente, la zona 3 (color verde 35 018 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 100 días y que se en un cambio de pendiente abrupto aguas arriba ubicado a 315 m de distancia, así como en los límites de quebradas ubicadas en los alrededores.

Las limitantes en el uso del suelo estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad y el sitio donde se realice.

- En la zona 3 (que corresponde con el tiempo de tránsito de contaminantes superior a 500 días), evitar generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2 (las distancias hasta los 100 días), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación.
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA se debe evitar la contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, por ganado).



| | | | |
|-------------------|-------------------|--|------------------------|
| Simbología | | Proyección Crtm05 Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 | |
| | Manantial | | Zona 1 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 |
| | | | Zona 3 |
| | | | Radio arbitrario 100 m |
| | | | Radio arbitrario 200 m |

Figura 13: Zona de Protección manantial el Salvador.

1.5 Recomendaciones

Evitar la permanencia del ganado en el camino que se localiza aguas arriba del manantial. De no ser posible de impedir el paso de los animales, se recomienda que se delimite el camino con algún tipo de cerca (alambre de púas preferiblemente) para evitar que los animales se desvíen y así lograr que el paso sea lo más rápido posible.

La captación se debe de pintar o si se desea se puede enchapar en cerámica, se recomienda cambiar las tapas de captación, sustituyéndolas por tapas pintadas de acero inoxidable con candado, además se debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de protección con la respectiva rotulación para evitar daños.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado, podrido o a punto de caer, para luego sustituirlo por árboles jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes, para determinar con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, su relación con las sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.



ASADA LA GUARIA, QUEBRADILLA Y SAN FRANCISCO DE PIEDADES SUR

**Estudio de las zonas de protección de las fuentes de
abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector
de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.**



1 Información general Manantial La Abundancia, ASADA La Guaria, Quebradilla y San Francisco de Piedades Sur, de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector cercano al Poblado de La Guaria, en el distrito de Piedades Sur, del cantón de San Ramón, en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1118619 N y 438750 E (figura 1), a una altura de 1086 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece inscrita ante la Dirección de Agua bajo el expediente 780, con la cédula 3002204924, conocida como Naciente 2, con un caudal de consumo de 5,35 l/s.

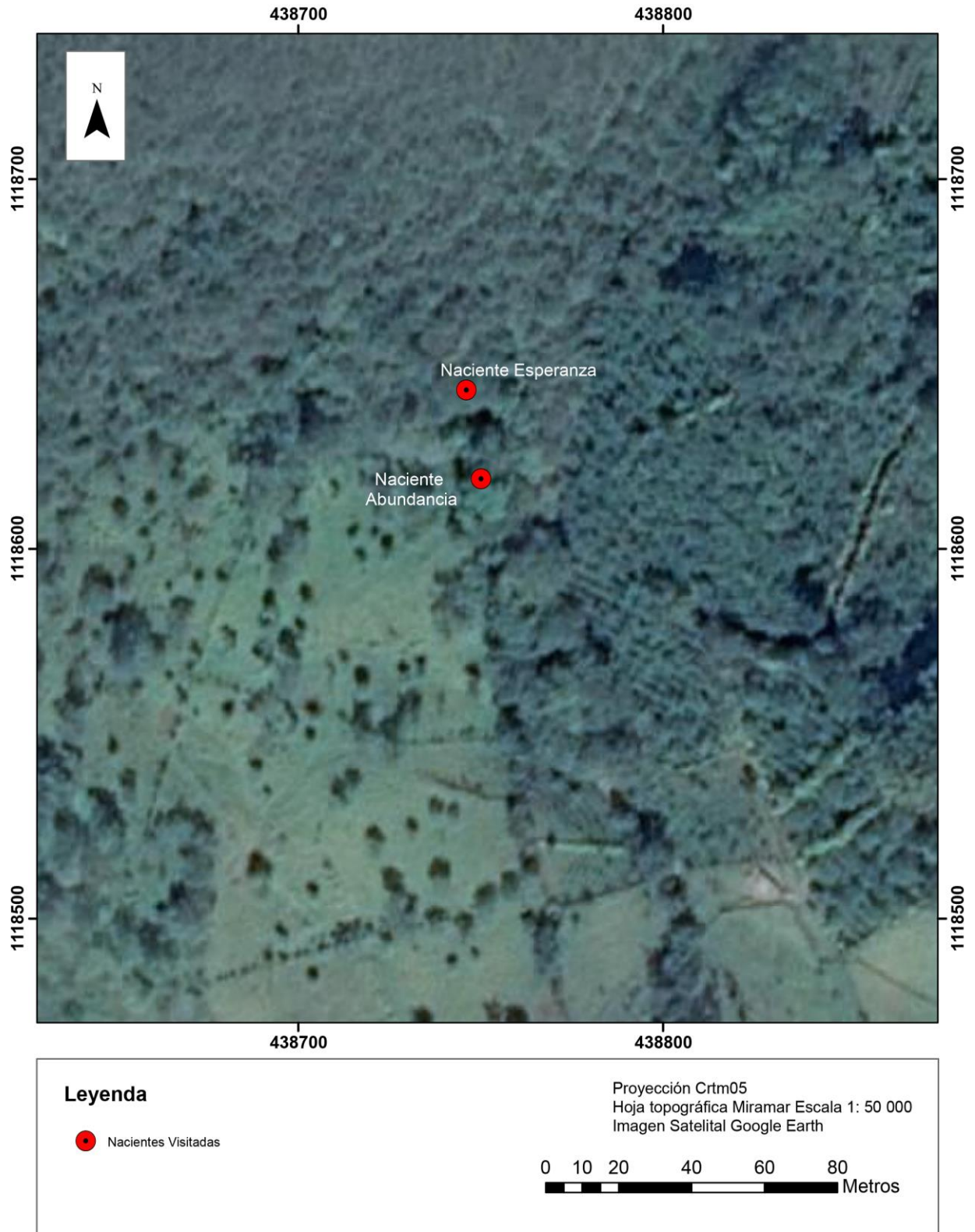


Figura 1: Mapa de ubicación Manantial La Abundancia, ASADA La Guaria, Quebradilla y San Francisco de Piedades Sur.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA La Guaria, Quebradilla y San Francisco de Piedades Sur, abasteciendo a las comunidades del mismo nombre, para un total de 330 abonados.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente plana a muy plana entre los 0° y 10°. Se considera el estado de la captación como Buena, con una pequeña estructura de cemento pintada y con tapas de acero inoxidable, y con candado en buenas condiciones.

Además, se cuenta con un dispositivo perimetral, rotulación preventiva, y desvío de aguas pluviales. No se observaron fugas, se presenta caudal ecológico. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 2: Captación Manantial La Abundancia.



Figura 3: Sistema de cloración con pastilla, junto al manantial.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo variable, hacia el norte y con un radio mayor a 100 metros de distancia, se presenta un bosque secundario destinado a la protección con un área de 5 hectáreas pertenecientes a la ASADA. Hacia el oeste y este a unos 25 metros del manantial el uso de bosque cambia a ser de pastoreo para ganado (al oeste) y cafetales (hacia el este).



Figura 4: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector noroeste.



Figura 5: Uso del suelo a unos 25 metros hacia el sureste del manantial, predomina el uso del café.

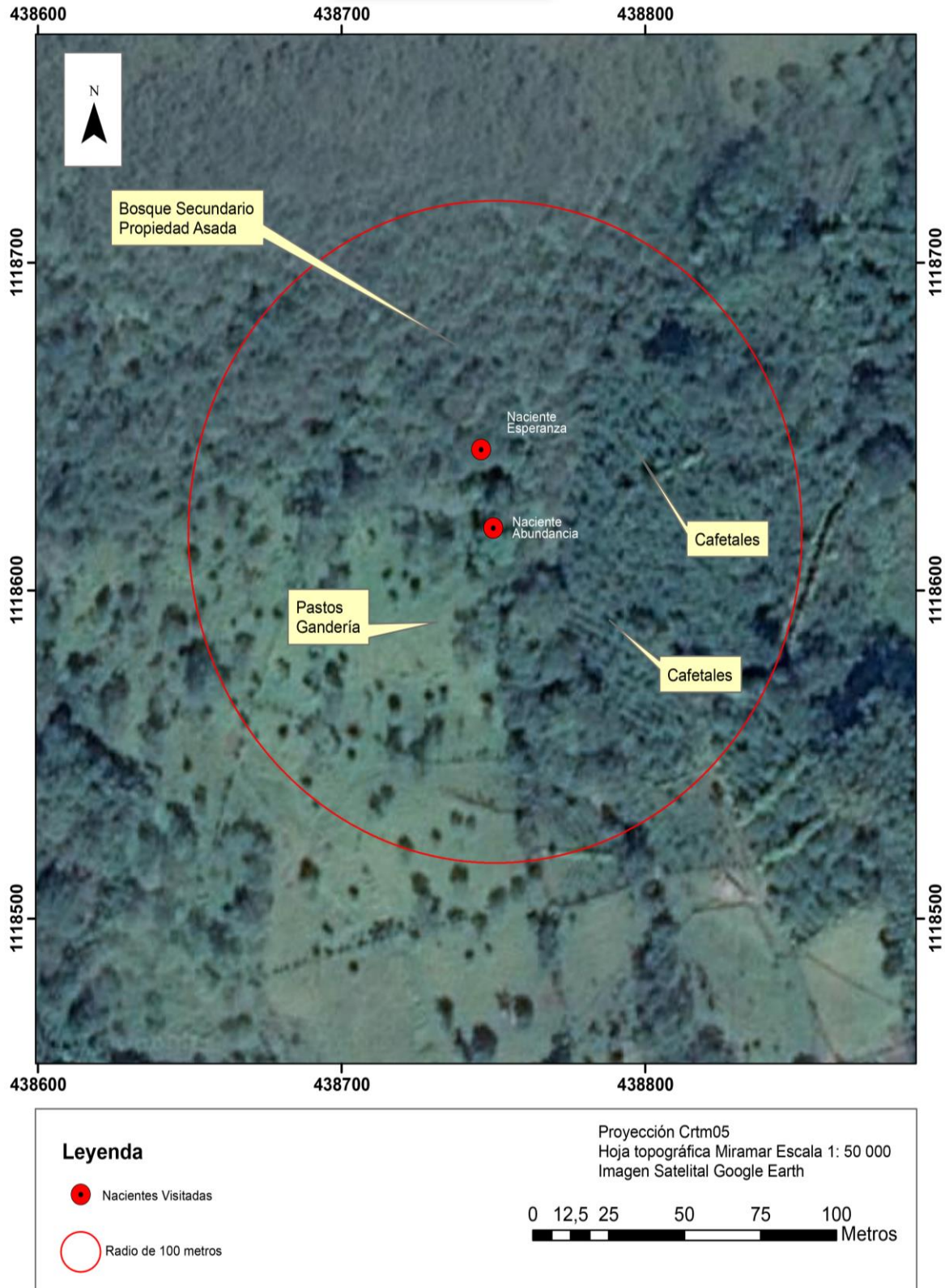


Figura 6: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial La Abundancia.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 4,3 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sureste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

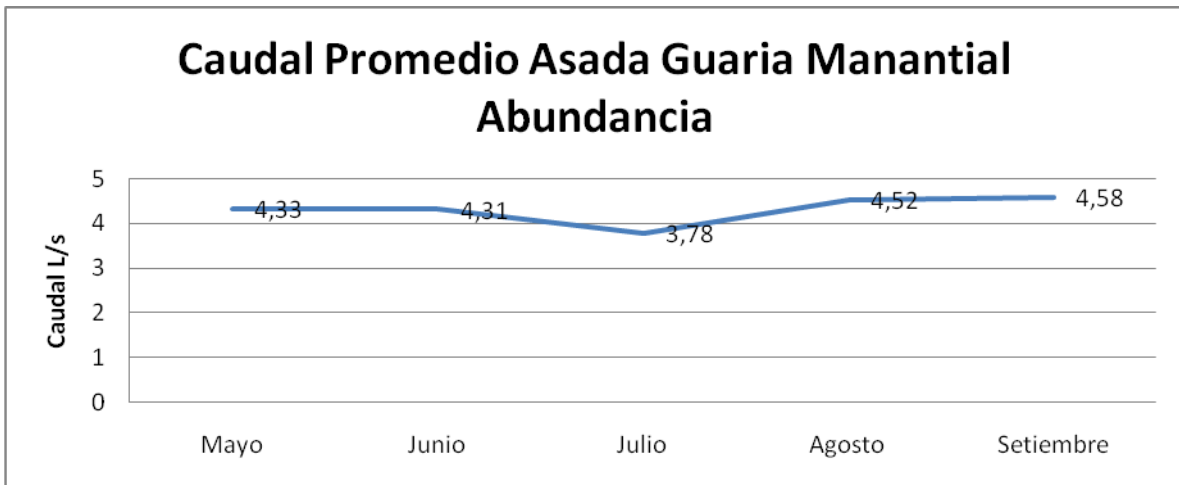


Figura 7: Tendencia del caudal mensual para el manantial Abundancia.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 3,78 l/s y 4,58 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de setiembre y el menor en julio, a nivel general se muestra una tendencia muy homogenizada del caudal, con diferencias muy sutiles en la mayoría de los meses estudiados.

La cloración se realiza cerca del manantial, por medio de 2 y media pastillas, cada 3 días. La distribución de agua se realiza por medio de gravedad, hacia los 330 abonados que poseen actualmente (todos con medidor).

Con respecto a la calidad del agua del manantial cuenta con un análisis realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizado el día 1 de febrero de 2018. Algunos de los parámetros analizados indican un pH neutro de 7,18, una temperatura de 21,6° y una conductividad de 88 μ S/cm. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología Local

El agua del manantial brota al pie de monte de un coluvio, las rocas que lo componen conforman bloques métricos de hasta medio metro de longitud los cuales se encuentran entre una matriz de suelo color negro (80%), los bloques son de formas redondeadas y esféricas (20%), los bloques presentan una composición monogenética, presentan una textura afanítica porfírica, con una matriz de coloración grisácea (60%) en la cual se encuentran fenocristales de plagioclasa (30%) de hasta 0,3 mm y piríboles (10%).

1.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 438751,474 E / 1118623,911 N, a unos 10 metros al este del manantial.

Además, se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 67%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura Franco arcillo Arenosa (clasificación USDA), con una densidad de 0,5 gr/cm³ y una densidad de partículas de 1,5 gr/cm³.

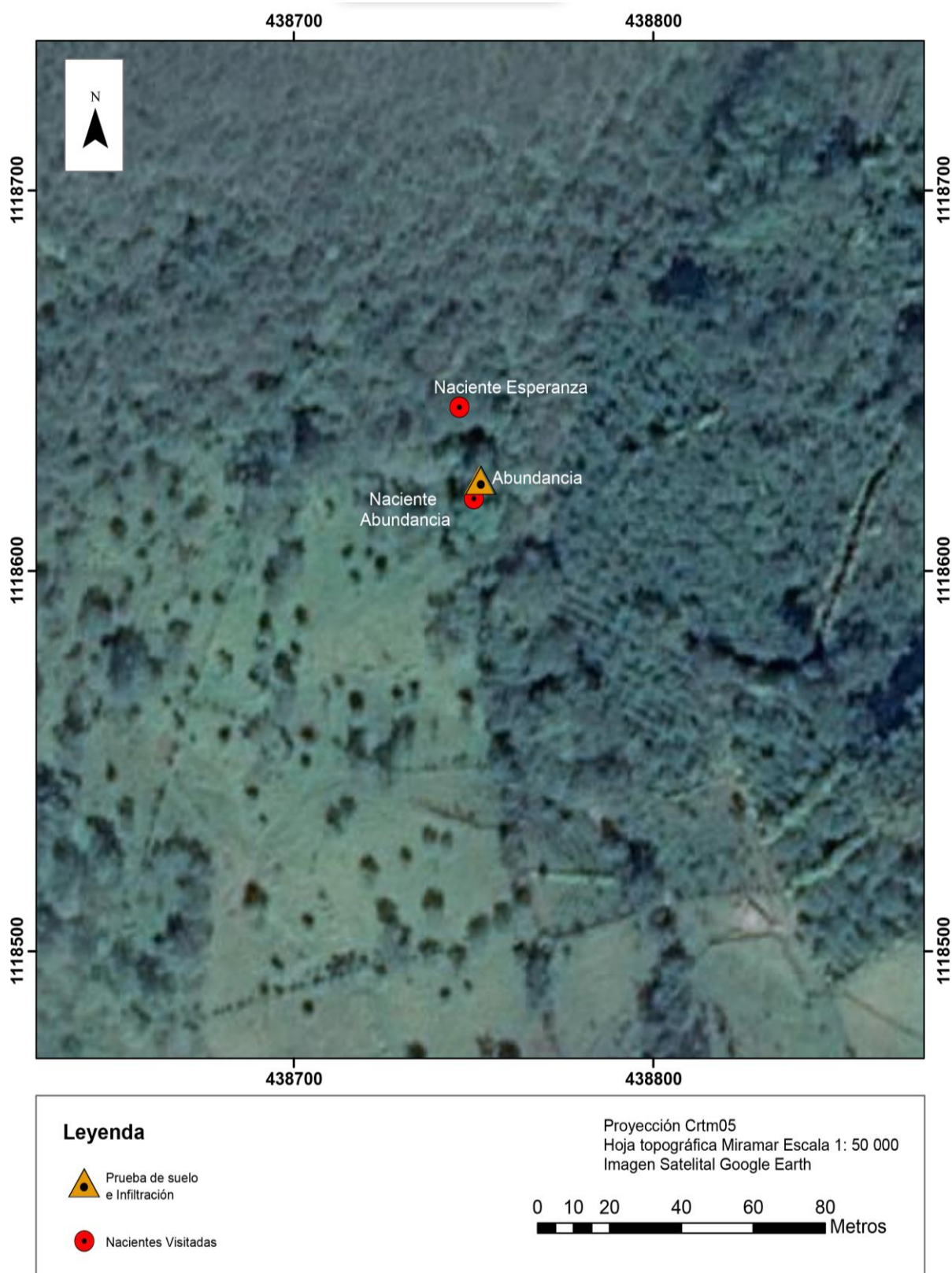


Figura 8: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 9: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial La Abundancia.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,25 cm/min, lo que equivale a 3,6 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 20 minutos de iniciar con la prueba, esto se debe principalmente a que los suelos durante la visita se encontraban con un alto contenido de humedad producto de lluvias recientes, lo que aceleró el proceso de normalización de la infiltración.

Una velocidad de 3,6 metros/día se puede considerar como alta, por lo cual la infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

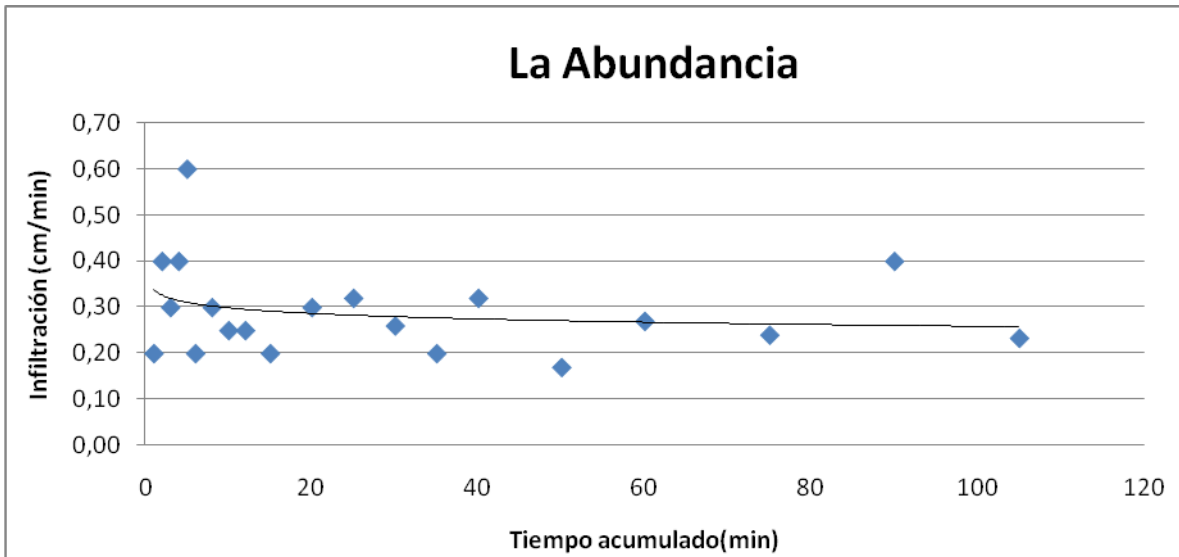


Figura 10: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad ganadera y cafetalera, con lo cual es vulnerable a la contaminación bacteriana ó de pesticidas.

Debido a sus condiciones naturales (localizada dentro del cauce de un río), la naciente puede presentar problemas de caída de árboles o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes en intensas).

1.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitarán los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomaron en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es de 4,3 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 371,52 m³/d.

Además con base en el mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se ha determinado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,11, con una diferencia de

alturas del nivel de agua (H1-H2) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 450 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 3,6 m/d.

El siguiente cuadro resume de todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|--|----------------|------------------------|--|
| Q Caudal | 371 | m³/d | Información de la ASADA para época Lluviosa |
| L = Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 450 | m | Mapa de isofreáticas |
| K = Conductividad Hidráulica | 3,6 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 13,8 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,7 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,24 metros aguas abajo del manantial. Los resultados obtenidos muestran valores muy bajos y poco prácticos para ser utilizados debido al uso del suelo de la zona, por lo tanto, la metodología analítica no ha sido contemplada para la elaboración de la zona de protección.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además el valor de la porosidad utilizado asumiendo un medio compuesto por clastos de lava sin matriz será de 1% (Rodríguez, 1994).

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos, así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Abundancia.

| | |
|--|--------------|
| Manantial Abundancia | |
| Caudal (l/s) | 4,3 |
| Caudal m³/d | 371 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada(i) | 0,11 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 3,6 |
| Porosidad zona saturada(n) | 0,67 |
| Porosidad porcentual (n%) | 67 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 41,37 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 59,10 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 295,5 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 41,37 metros aguas arriba del manantial, para contaminantes que perduran hasta 100 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 59,10 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 295,5 metros aguas arriba del manantial.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente, uso de suelo y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección, la cual posee una forma tubular, siguiendo la topografía definida la colada de lava, posee un área de 14 405,64 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (Norte).

La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, la metodología de isócronas y uso actual del suelo.

Se definió un radio fijo arbitrario de 20 metros (1 250,39 m²) alrededor del manantial considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le

sigue la zona 2 (de color amarillo, 1 919,39 m²), definida por distancias inferiores a 59,1 metros equivalentes a la isócrona de 100 días y finalmente le sigue la zona 3 (color verde 11 236 m²) que corresponde con las distancias inferiores a 295,5 metros equivalente a la isócrona de 500 días.

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por la densidad y tipo de actividad del sitio donde se realice. Se recomienda respetar los siguientes parámetros:

- En la zona 3 (que corresponde con distancias superiores a 59,1 metros) se pueden realizar actividades agropecuarias de muy bajo impacto. Tomando en cuenta que esta zona está destinada a la protección de la naciente por medio de un bosque secundario de 5 hectáreas se recomienda no cambiar el uso del suelo para evitar la contaminación del manantial con agroquímicos y/o plaguicidas.
- En la zona 2 (las distancias hasta los 59,1 metros aguas arriba), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generen contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganadería, etc.). Además, es importante colocar rotulación preventiva prohibiendo la contaminación.
- En la zona 1 (zona operacional del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA, no se debe generar ningún tipo de contaminación.

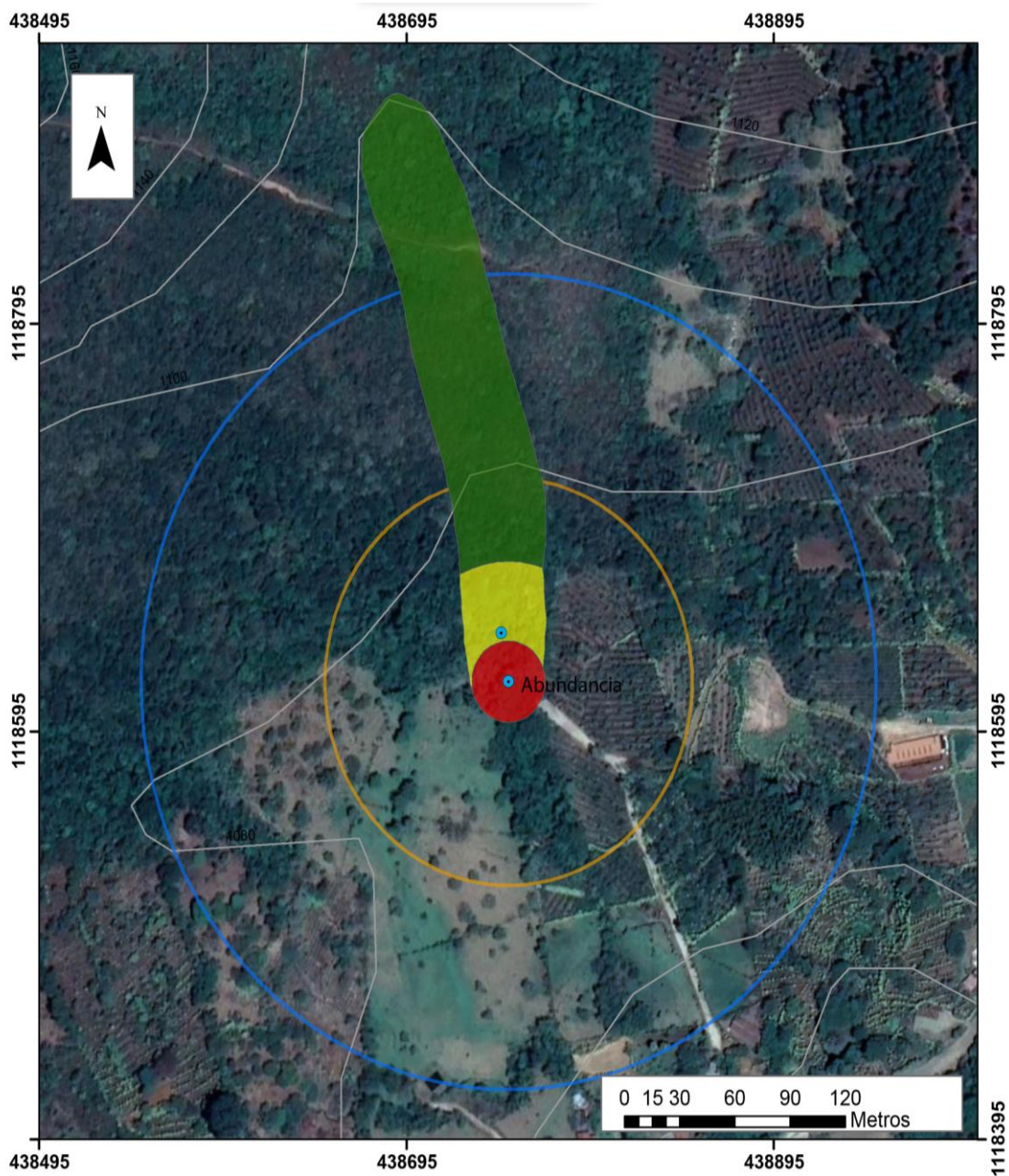


Figura 11: Zona de protección manantial Abundancia, ASADA La Guaria, Quebradilla y San Francisco de Piedades Sur.

1.5 Recomendaciones

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado o podrido o a punto de caer y sustituyéndolo por otros jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y poder saber con el tiempo los periodos donde se presentan los menores valores, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.



ASADA PIEDADES SUR

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



Programa Pequeñas Donaciones del FMAM

1 Información general de los Manantiales de la ASADA de Piedades Sur de San Ramón

Se trata de una serie de 4 manantiales alineados, ubicados a una longitud menor de 50 metros, se encuentran localizados en medio de una finca de 5 hectáreas destinada a la reforestación perteneciente a la ASADA Piedades Sur, en el distrito del mismo nombre en el cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1119101 N y 439656 E (figura 1), a una altura de 1062 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Los manantiales aparecen inscritos ante la Dirección de Agua bajo el expediente 4042, con la cédula 310205597835, conocida como Naciente Piedras.



Figura 1: Mapa de ubicación Manantiales Piedades Sur, ASADA Piedades Sur, San Ramón.

Los manantiales se encuentran actualmente administrado y captado por la ASADA de Piedades Sur de San Ramón, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre, y algunos barrios aledaños.

Las nacientes se encuentran en un terreno con una pendiente plana a ondulada de aproximadamente 15° de inclinación. Se considera el estado de las captaciones como Muy Buenas, con estructuras de cemento pintadas y con tapas de acero inoxidable también pintadas, con candado en buenas condiciones.

Además se cuentan con un dispositivo perimetral, rotulación preventiva, desvío de aguas pluviales y techos de plástico.

No se observaron fugas, se presenta caudal ecológico. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 2: Captación de Manantiales de Piedades Sur.



Figura 3: Vista del dispositivo de cloración.

El área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo constituido principalmente por bosques de tipo primario y secundario, esto gracias al proceso de reforestación que posee la ASADA principalmente aguas arriba del manantial. A unos 50 metros al oeste de la primera captación y separados por una quebrada se presentan fincas utilizadas como potreros, y hacia el norte a unos 100 metros de distancia se observan algunos cultivos de café. Cabe señalar la presencia de una granja de pollos, la cual se encuentra a más de 100 metros de distancia de los manantiales, además ésta se localiza aguas abajo y separada por el río Piedras, por lo que no representa una afectación directa a los manantiales.



Figura 4: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector norte (aguas arriba) de las captaciones.



Figura 5: Uso del suelo hacia el sur del manantial.

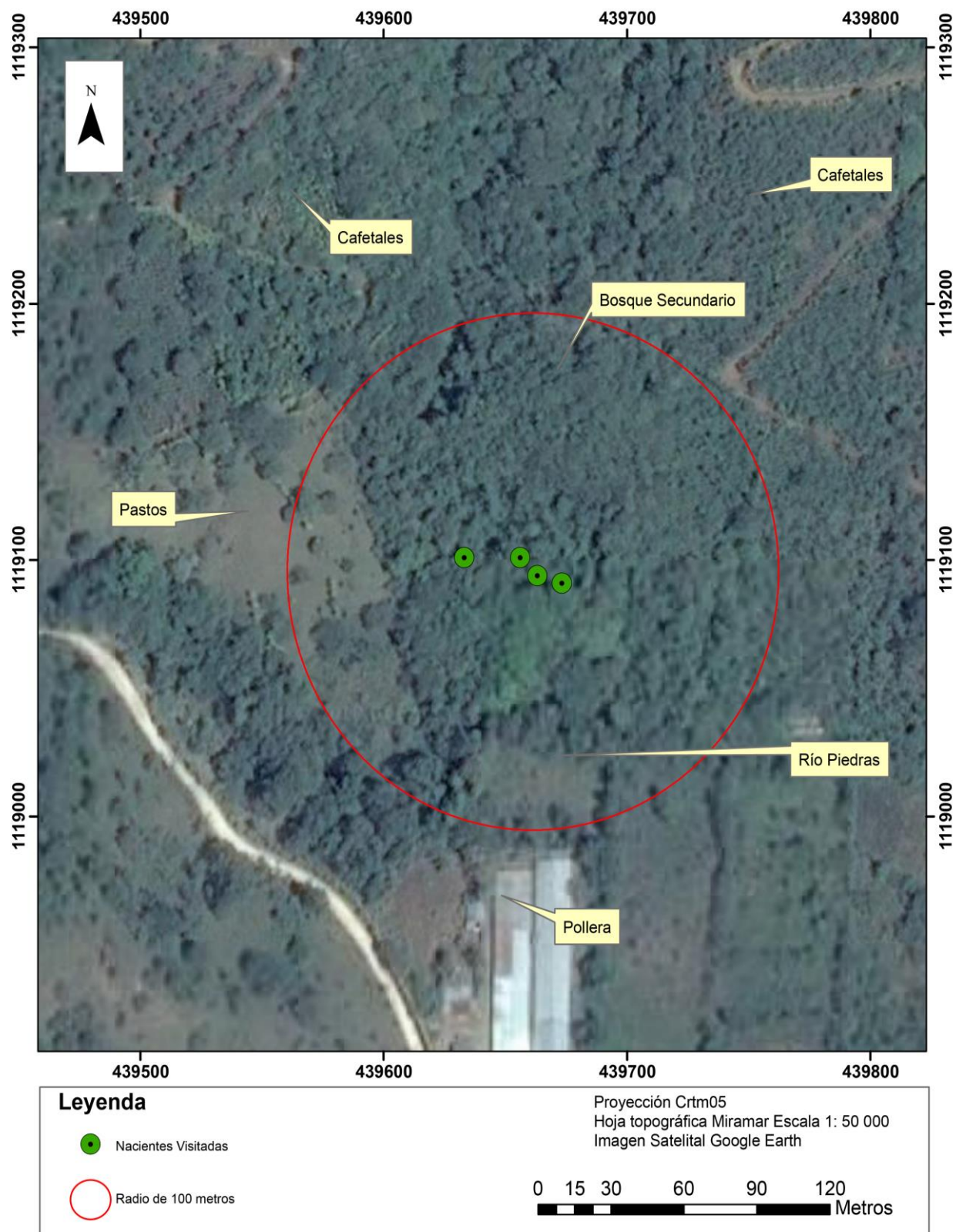


Figura 6: Distribución de usos de suelo en los alrededores de los manantiales.

El caudal promedio de las cuatro nacientes obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor de 9,63 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sur. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

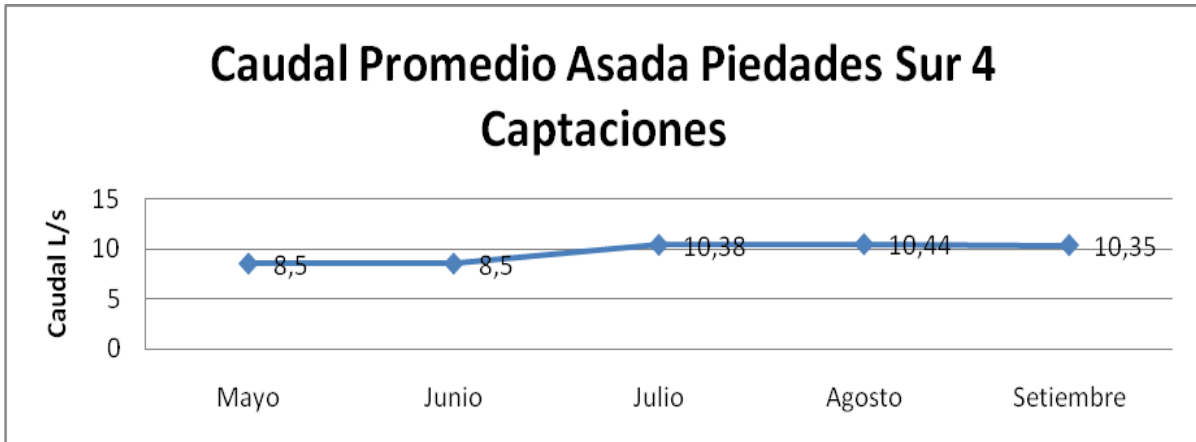


Figura 7: Tendencia del caudal mensual para los cuatro manantiales ASADA Piedades Sur.

Como se muestra en el gráfico anterior, la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 8,5 l/s y 10,35 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de setiembre y el menor en mayo. La tendencia general indica un considerable aumento del caudal a partir del mes de julio aumentando en dos litros por segundo, tornándose muy constante luego de este mes y hasta la medición realizada en setiembre.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento por medio pastillas (dos cada 2 días), la distribución de agua se realiza por medio de gravedad, hacia los abonados (todos con medidor).

Con respecto a la calidad del agua del manantial, se cuenta con un análisis realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizado el día 1 de febrero de 2018. Algunos de los parámetros analizados indican un pH cercano a la neutralidad de 6,76, una temperatura de 21,7° y una conductividad de 144 μ S/cm. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología local

La geología de la zona está conformada por lavas fracturadas, cuyos planos de fracturamiento son principalmente horizontales (en los sectores de los manantiales por donde aflora el agua), los cuales generan una serie de estructuras que asemejan una estratificación sedimentaria. La roca posee textura afanítica porfirítica, con fenocristales de plagioclasa hinchados (45%) de hasta 2 mm, piríboles (5%) de hasta 0,5 mm, envueltos en una matriz color gris (50%).

La roca presenta en los planos de fractura pátinas de coloración café, con algunos minerales oxidados y fantasmas de plagioclasa. Se interpreta la zona como un frente de colada por donde aflora el agua subterránea por medio de sus fracturas.



Figura 8: Afloramiento de roca presente en una quebrada a unos 30 metros de las captaciones.

1.2 Características de la zona no saturada

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de

metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 439658 E / 1119106 N, a unos 3 metros aguas arriba de la captación 3.

Además se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 50%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café oscuro y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura Franco arcilloso (clasificación USDA), con una densidad de $1,2 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $2,4 \text{ gr/cm}^3$.

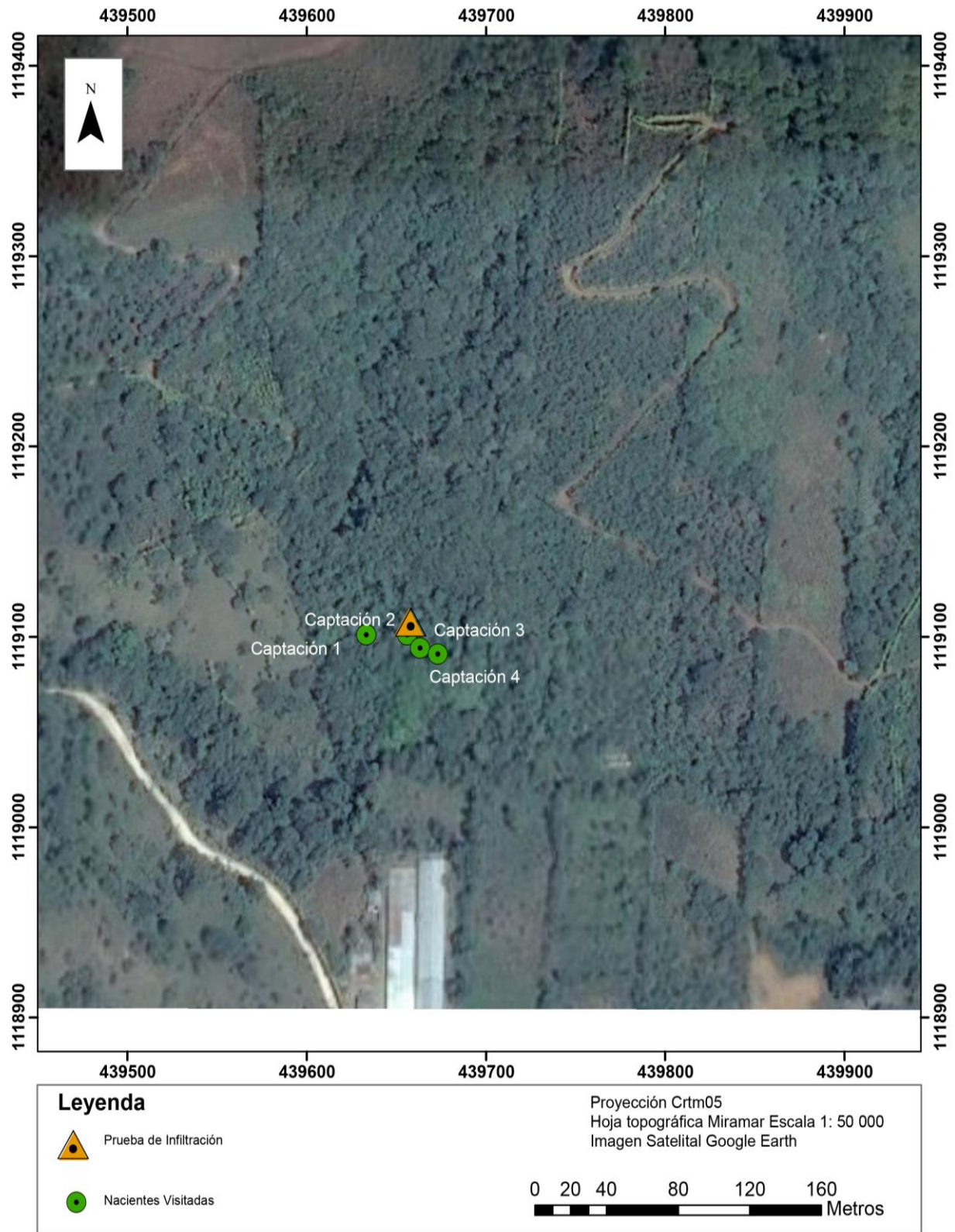


Figura 9: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 10: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías de la captación 3.

El suelo en el sector presenta una coloración café claro, con una plasticidad de tipo baja.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,63 cm/min, lo que equivale a 9 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 80 minutos de iniciar con la prueba, esto se debe principalmente al alto contenido de materia orgánica y a la textura de suelo presente en los alrededores, lo que genera suelos muy porosos de alta conductividad, por lo que se requirió tiempo para lograr estabilizar la prueba, esto a pesar de que en la zona las precipitaciones han sido constantes.

Una velocidad de 9 metros/día se puede considerar como alta, por lo cual la infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

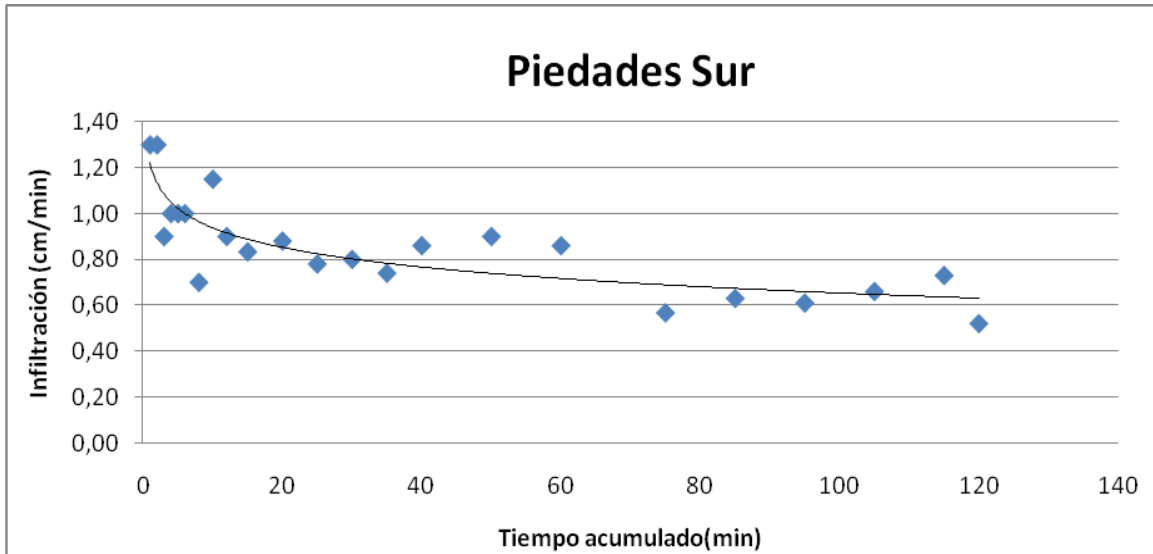


Figura 11: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la captación y a sus alrededores

Debido a sus condiciones naturales (localizada cerca del cauce de un río), las nacientes pueden presentar problemas de caída de árboles o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitaron los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomaron en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es de 9,63 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 832 m³/d.

Además con base en el mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se ha determinado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,08, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H_1-H_2) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 605 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 9 m/d. El siguiente cuadro resume de todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|---------|-------------------|---|
| Q Caudal | 832 | m ³ /d | Información de la ASADA para época lluviosa |
| L Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 605 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 9 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H ₁ -H ₂ | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 9,07 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,49 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,15 metros aguas abajo del manantial. Los resultados obtenidos muestran valores muy bajos y poco prácticos para ser utilizados debido al uso del suelo de la zona, por lo tanto la metodología analítica no ha sido contemplada para la elaboración de la zona de protección.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además el valor de la porosidad utilizado asumiendo un medio compuesto por clastos de lava sin matriz será de 1% (Rodríguez, 1994).

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Piedades Sur.

| Manantial Piedades Sur | |
|---|-------|
| Caudal (l/s) | 9,63 |
| Caudal (m ³ /d) | 832 |
| Gradiente hidráulico zona saturada (i) | 0,08 |
| Permeabilidad (k) (m/d) | 9 |
| Porosidad zona saturada (n) | 0,5 |
| Porosidad porcentual (n%) | 50 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 100,8 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 144 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 720 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 144 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 720 metros aguas arriba del manantial.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente, uso de suelo y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección, la cual posee una forma tubular, siguiendo la topografía definida por el frente de la colada de lava, posee un área de 285798,7 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (norte).

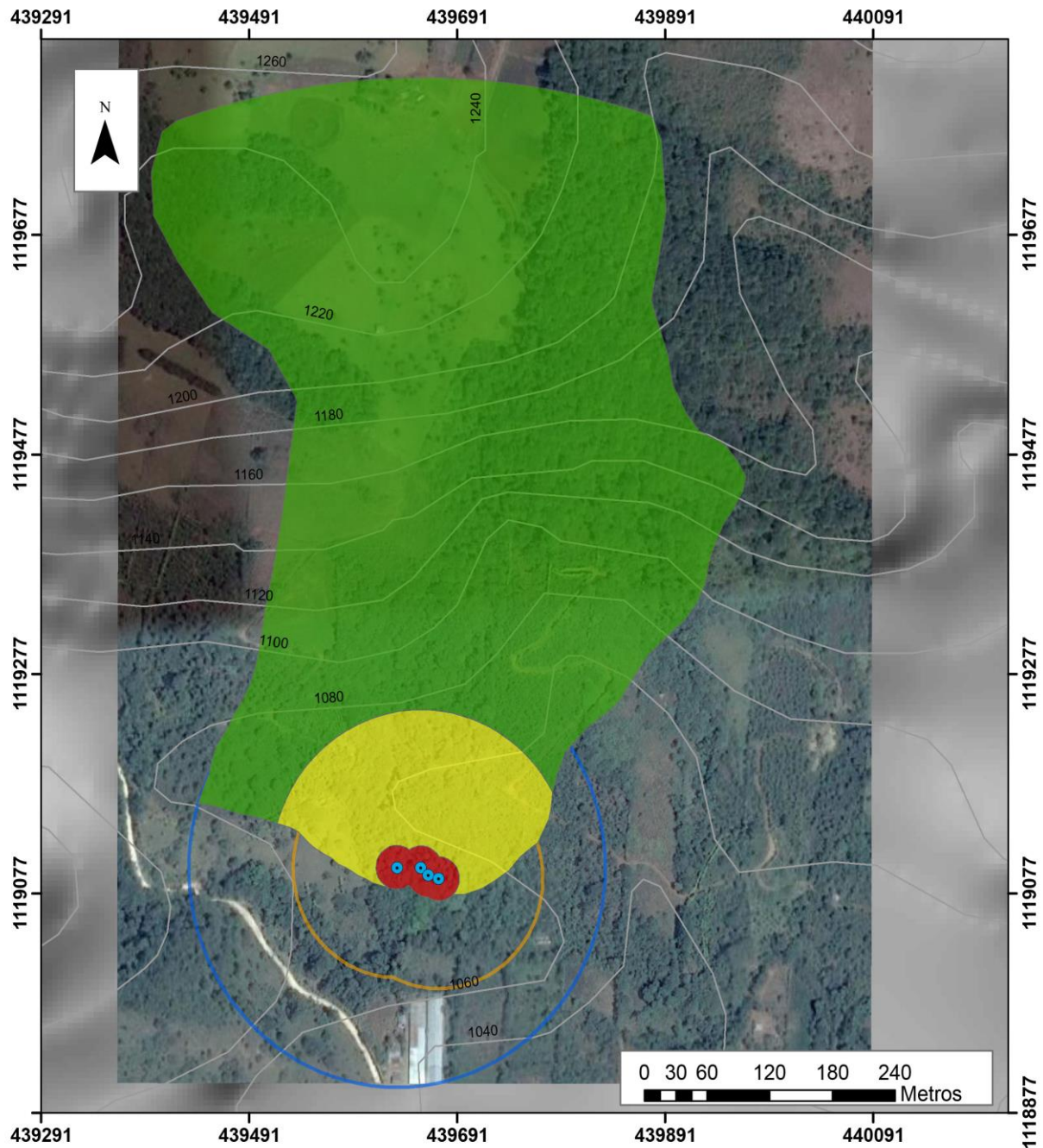
La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, la metodología de isócronas y uso actual del suelo.

Se definió un radio fijo arbitrario de 20 metros (2 926,7 m²) alrededor de las cuatro nacientes considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le sigue la zona 2 (de color amarillo, 29186,3 m²), definida por distancias inferiores a 144 metros equivalentes a la isócrona de 100 días y finalmente le sigue la zona 3 (color verde 253 685,7 m²) que corresponde con las distancias superiores a 144

metros y que se ha culminado en el límite de la isócrona de 500 días, la cual corresponde con distancias inferiores a los 720 m .

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por la densidad y tipo de actividad del sitio donde se realice. Se recomienda respetar los siguientes parámetros:

- En la zona 3 (que corresponde con distancias superiores a 144 metros) se pueden realizar actividades agropecuarias de muy bajo impacto. Tomando en cuenta que esta zona abarca sitios dedicados al cultivo de café y a la ganadería, se recomienda no usar agroquímicos ni plaguicidas para evitar la contaminación de los manantiales, además mantener el uso de suelo en las zonas con cobertura boscosa.
- En la zona 2 (las distancias hasta los 144 metros aguas arriba), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganadería). Además es importante colocar rotulación preventiva prohibiendo la contaminación.
- En la zona 1 (zona operacional del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA, no se debe generar ningún tipo de contaminación.



| | | | |
|-------------------|-------------------|--|------------------------|
| Simbología | | Proyección Crtm05 Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 | |
| | Manantiales | | Zona 1 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 |
| | | | Zona 3 |
| | | | Radio arbitrario 100 m |
| | | | Radio arbitrario 200 m |

Figura 12: Zona de protección de los cuatro manantiales de Piedades Sur.

1.5 Recomendaciones

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y poder saber con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.



ASADA POTRERILLOS

Estudio de las zonas de protección de las fuentes de abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.



1 Información general Manantial Masis 1, ASADA Potrerillos de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector montañoso del Poblado de Potrerillos, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1119017 N y 436375 E (figura 1), dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Realizando una investigación en la base de datos de la Dirección de Agua, no se ha podido localizar el expediente en el cual estaría inscrito el manantial, por lo cual se recomienda a los miembros de la Junta Directiva de la ASADA verificar el estado legal del manantial.



Figura 1: Mapa de ubicación Manantial Masís 1, ASADA Potrerillos, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA de Potrerillos, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente moderada entre los 10° y 20°. Se considera el estado de la captación Regular, con una pequeña estructura de cemento sin pintar y cubierta de vegetación, presenta una tapa de cemento sin presencia de candado o de algún sistema de seguridad. Cabe mencionar que parte de la tubería antigua es de metal y se encuentra oxidada.

No se cuenta con un dispositivo perimetral, además no se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

La captación no posee fugas, presenta un pequeño caudal ecológico, pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas, además se observó que el tanque de la captación presentaba acumulación de sedimentos. El área alrededor de la captación se encuentra con mucha vegetación producto de la caída de árboles y falta de limpieza de materia vegetal.



Figura 2: Captación Manantial Masis 1.

En los sectores aledaños a la captación el uso de suelo se caracteriza por la dominancia de un bosque de tipo secundario altamente recuperado. De la captación 50 metros al sur y 150 metros al este, se da un cambio de uso del suelo en las fincas cercanas por pastos para ganado y actividades agrícolas.

Es importante mencionar que a aproximadamente 180 metros al noreste de la captación, se localiza el manantial Masis 2 (descrito más adelante).



Figura 3: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector suroeste, aguas abajo

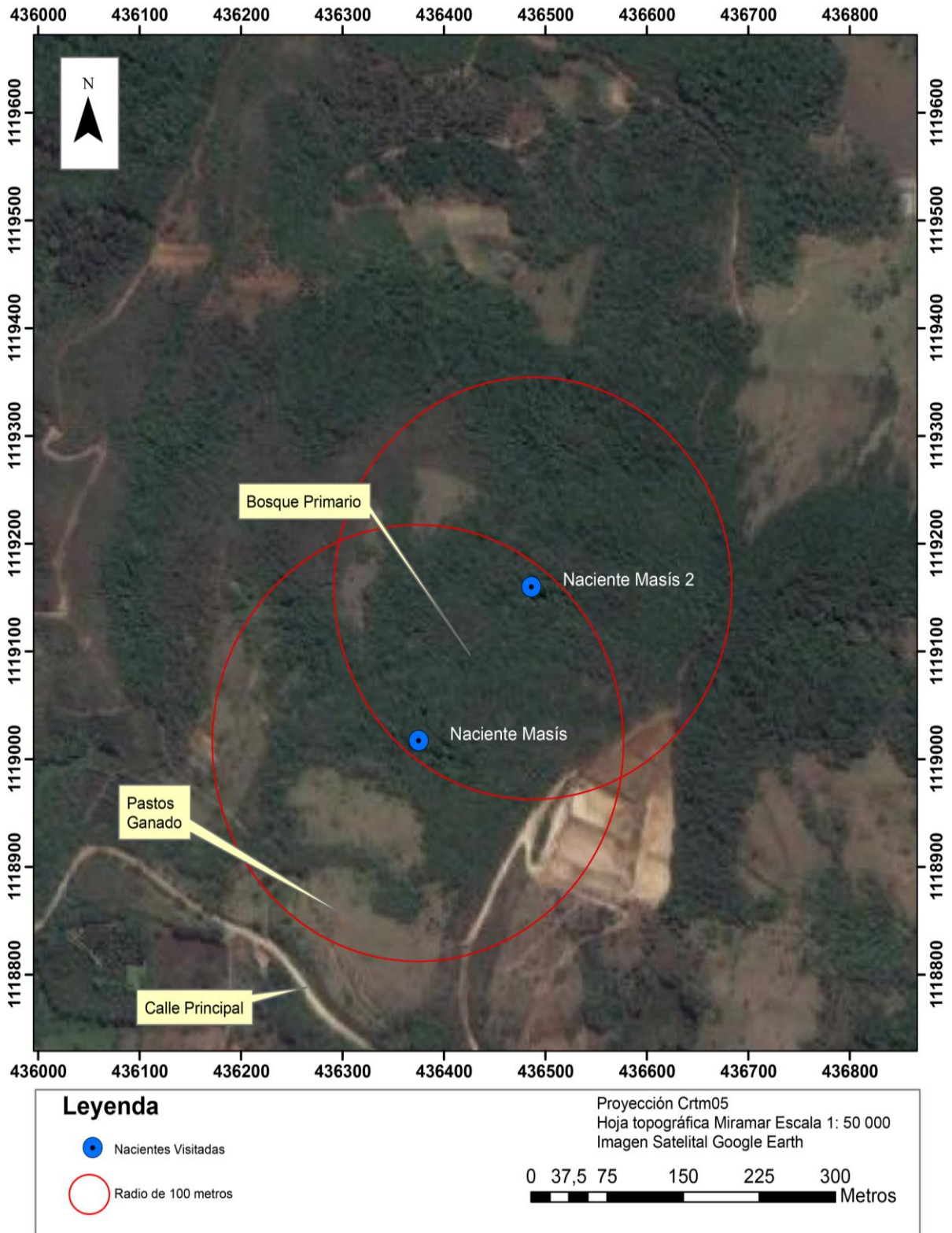


Figura 4: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Masís 1.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre (falta información de agosto) mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 0,23 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el suroeste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

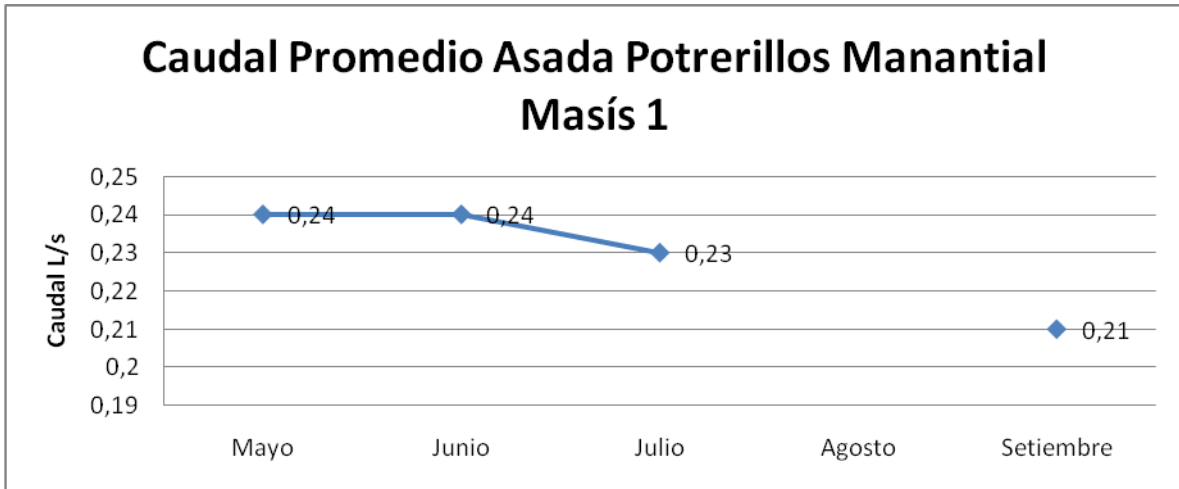


Figura 5: Tendencia del caudal mensual para el manantial Masís 1.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 0,21 l/s y 0,24 l/s, siendo el valor más alto registrado en los meses de mayo y junio y el menor en setiembre. A nivel general, la tendencia en el caudal es muy homogénea variando únicamente en tres décimas en los meses estudiados.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento por medio de pastillas, sin embargo se desconoce la cantidad de cloro que debe ser suministrada, además se carece de análisis fisicoquímicos en las aguas. La distribución se realiza por medio de gravedad.

Con respecto a la calidad del agua del manantial, se realizó un análisis el día 1 de febrero del 2018 por el Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Los parámetros analizados indican un pH de 6,67, temperatura de 21,1° y una conductividad de 32 μ S/cm. Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

1.1 Geología Local

El agua del manantial brota al pie de monte de un coluvio, las rocas que lo componen conforman bloques decimétricos (30%) de hasta medio metro de longitud, las formas de los bloques son redondeadas, los cuales se encuentran entre una matriz de suelo color café (70%), los bloques presentan una composición monogenética aparentemente andesítica, se encuentran muy meteorizados a suelo.

1.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 436394 E / 1119002 N, a unos 3 metros del manantial.

Se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad. Fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 71%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café rojizo y una plasticidad moderada, además el CIA determinó que posee una textura Franco arcilloso (clasificación USDA), con una densidad de $0,8 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $2,8 \text{ gr/cm}^3$.



Figura 6: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 7: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Masís 1.

El suelo en el sector presenta una coloración café claro, plasticidad baja y un contenido de materia orgánica alto.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,43 cm/min, lo que equivale a 6,192 m/día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 80 minutos de iniciar con el ensayo, esto se debe principalmente al alto contenido de materia orgánica y al contenido arenoso del suelo, lo que genera una alta tasa de infiltración que requirió mayor tiempo para estabilizarse.

Una velocidad de infiltración por día se puede considerar como alta. Dicha tasa de infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permitiría una rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

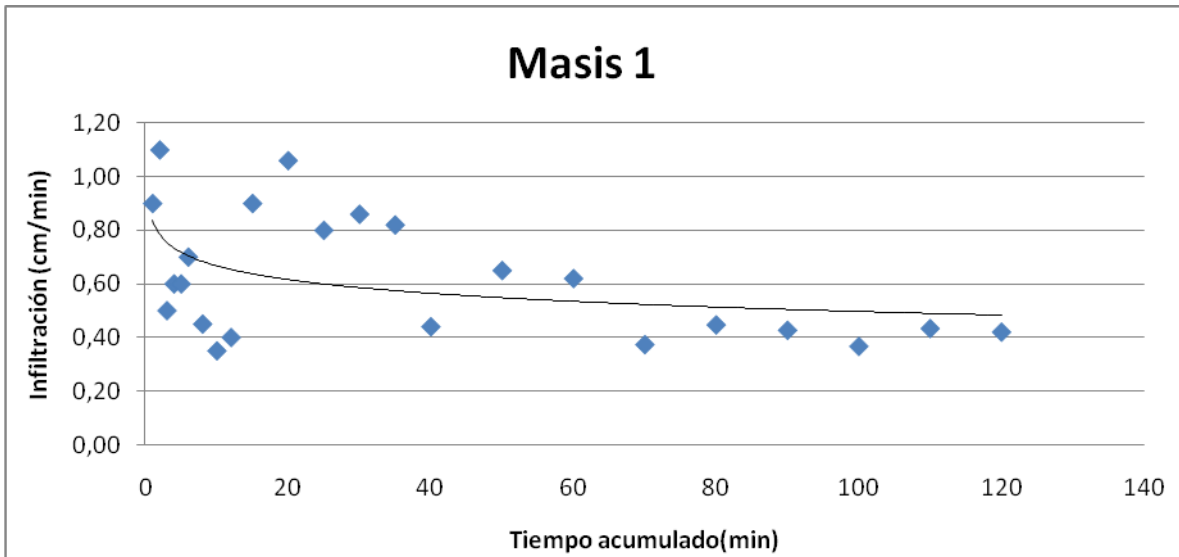


Figura 8: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad ganadera, por ende es vulnerable a la contaminación bacteriana producto de los desechos generados por los animales. Debido a sus condiciones naturales el manantial puede presentar problemas de caída de árboles, sedimentos o bloques de roca sobre la captación, como consecuencia de eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de las zonas de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 0,23 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 19,87 m³/día.

En base al mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se determinó el gradiente hidráulico para el manantial de 0,13, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H1-H2) de 50 metros y una distancia entre los puntos de 377 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 6,19 m/d. El siguiente cuadro resume todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|----------------|-------------------|---|
| Q Caudal | 19,87 | m ³ /d | Información de la ASADA para época Lluviosa |
| Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 370 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 6,19 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 0,18 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,010 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,003 metros aguas abajo del manantial. Sin embargo de acuerdo a las condiciones topográficas y de uso de suelo que imperan en los alrededores del manantial, se considera que los valores obtenidos mediante dicha metodología no cumplen con criterios aplicables a la realidad por lo que la metodología analítica ha sido descartada.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla, asumiendo un medio poroso.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Masis 1.

| Manantial Masís 1 | |
|---|-------|
| Caudal (l/s) | 0,23 |
| Caudal m3/d | 19,87 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada(i) | 0,13 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 6,19 |
| Porosidad zona no saturada(n) | 0,71 |
| Porosidad porcentual(n%) | 71 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 1 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 79 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 113 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 79 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 100 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 113 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se trató de delimitar la zona con base en la topografía del sector pero debido a una falta de mejor resolución de las curvas de nivel se optó por delimitar un perímetro utilizando la pendiente y flujos de agua subterránea provenientes del mapa de equipotenciales.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección del manantial en base a la metodología hidrogeomorfológica y las isócronas de 70 y 100 días respectivamente. Posee una forma tubular con un área de 5 224 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (Noreste). A nivel general se muestra una zona de protección más pequeña que la definida por las metodologías de radios arbitrarios, debido principalmente al escaso caudal que se presenta en el área. Cabe señalar que las zonas de protección definidas por los radios arbitrarios de 100 y 200 metros se solapan con las zonas de protección arbitrarias del manantial Masis 2.

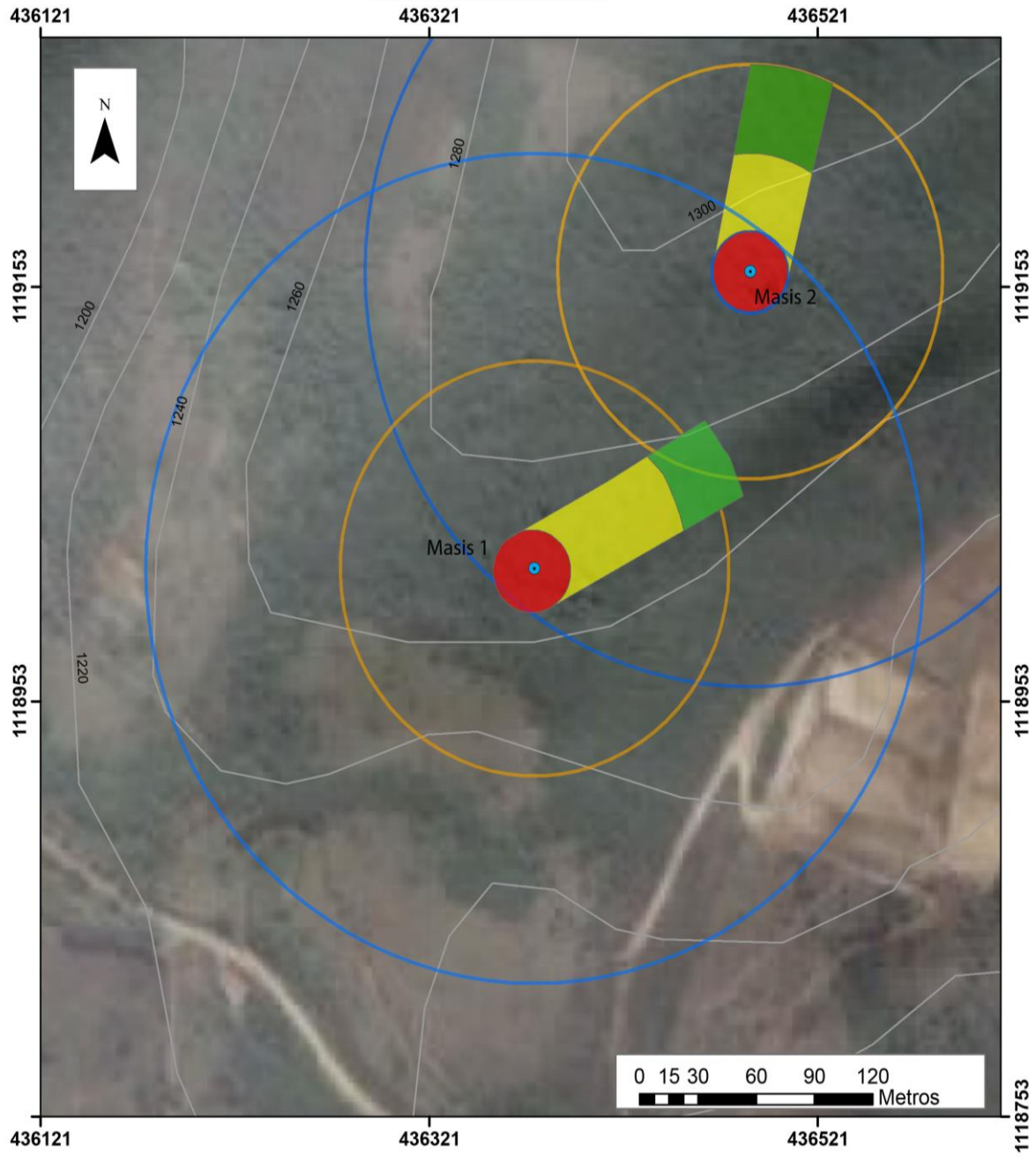
El perímetro de la zona de protección se ha conformado en base a la pendiente de la zona y en los flujos de agua superficial que se presentan en el sector, así como el establecimiento de la dirección de flujo de agua tanto subterránea (por medio del mapa de

equipotenciales y topografía). Cabe destacar que debido a una falta de información topográfica detallada el ancho de tubo de flujo se ha definido de 20 metros a ambos lados del manantial correspondiendo con una extensión del radio arbitrio definido por SENARA como la zona operacional.

Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (radio arbitrario establecido por SENARA, 1 249 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le sigue la zona 2 (de color amarillo, 2 577 m²), definida por la isócrona de 70 días y equivale a 79 metros agua arriba del manantial , finalmente la zona 3 (color verde 1 397 m²), corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 70 días y limitada hasta la isócrona de 100 días equivalente a una distancia de 113 metros aguas arriba del manantial.

Las limitantes en el uso del suelo estarán dadas por el tipo de actividad, densidad y el sitio donde se realice. En el caso de la zona de estudio, debido a la fuerte pendiente del área se recomienda utilizar toda su extensión para conservación, en caso de no poderse debido a diversos factores se recomienda:

- En la zona 3 (que corresponde con la distancia mayor a la isócrona de 70 días) se pueden realizar actividades agropecuarias de bajo impacto mientras generen contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2 (las distancias menores a 70 días, equivalentes a 79 metros), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganado), además se debe evitar la corta de árboles
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA. No se permite ningún tipo de contaminación, ni intervención que pueda dejar basura o cualquier tipo de contaminantes.



| | | | |
|-------------------|-------------------|--|------------------------|
| Simbología | | Proyección Crtm05 Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 | |
| | Manantiales | | Zona 1 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 |
| | | | Zona 3 |
| | | | Radio arbitrario 100 m |
| | | | Radio arbitrario 200 m |

Figura 9: Zona de protección manantial Masis 1.

1.5 Recomendaciones

La captación se debe de pintar o si se desea se puede enchapar en cerámica, se recomienda cambiar las tapas de captación, sustituyéndolas por tapas pintadas de acero inoxidable con candado, además se debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de protección con la respectiva rotulación para evitar daños. Es importante realizar análisis bacteriológicos y químicos para conocer la calidad del agua captada.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado, podrido o a punto de caer, para luego sustituirlo por árboles jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes, para determinar con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, su relación con las sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.

Se recomienda lavar con mayor regularidad el tanque de la captación para disminuir la acumulación de sedimentos, además se debe cambiar la tubería de metal oxidada por una tubería de PVC o similar.

2 Información general Manantial Masis 2, ASADA Potrerillos de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en un sector montañoso del Poblado de Potrerillos, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1119160 N y 436486 E (figura 10), dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Realizando una investigación en la base de datos de la Dirección de Agua, no se ha podido localizar el expediente en el cual estaría inscrito el manantial, por lo cual se recomienda a los miembros de la Junta Directiva de la ASADA verificar, el estado legal del manantial.



Figura 10: Mapa de ubicación Manantial Masís 2, ASADA Potrerillos, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA de Potrerillos, abasteciendo a la comunidad del mismo Nombre.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente moderada entre los 10° y 20°. Se considera el estado de la captación Regular, consiste en una tubería ranurada cubierta por grava y rocas, la cual recolecta agua de un sector a lo largo de uno 10 metros de un talud, dicha agua es depositada en un estañón de plástico para luego se distribuida.

No se cuenta con un dispositivo perimetral, ni tampoco se observó algún tipo de rotulación preventiva o informativa en la zona del manantial.

La captación no posee fugas, presenta un pequeño caudal ecológico, pero no existe infraestructura cementada de desviación de aguas. El área alrededor de la captación se encuentra con mucha vegetación producto de la caída de árboles, sedimentos y bloques, reflejando la presencia de un deslizamiento de pequeñas proporciones en la zona.



Figura 11: Captación Manantial Masis 2.



Figura 12: Captación del manantial.

El uso del suelo en los alrededores de la captación corresponde principalmente por bosque secundario y en algunos sectores bosque primario. Es importante mencionar que a aproximadamente 180 metros al noreste de la captación, se localiza el manantial masis 2.



Figura 13: Uso del suelo alrededor del manantial vista aguas abajo.

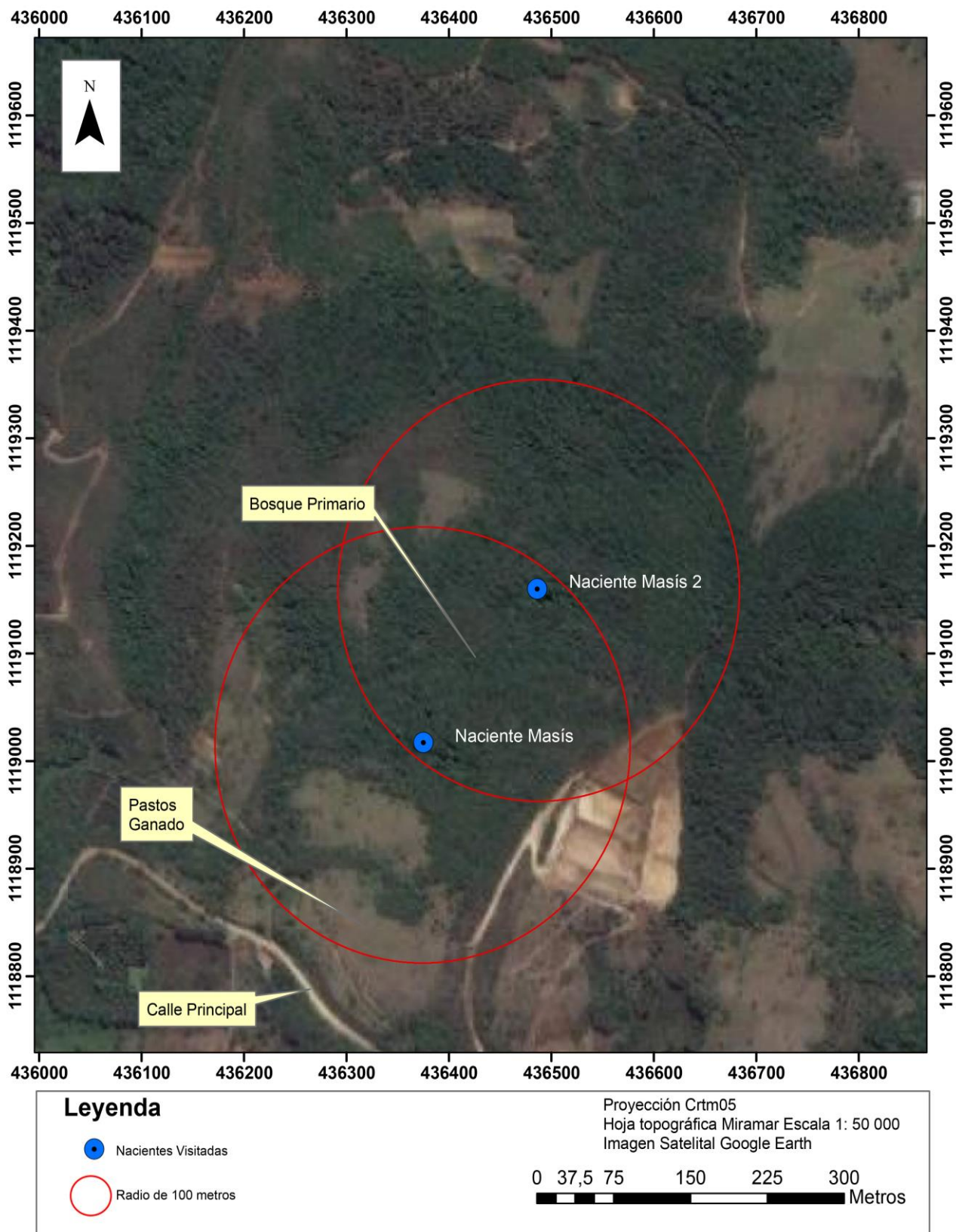


Figura 14: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Masis 2.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre (excepto agosto) mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 0,24 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el suroeste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

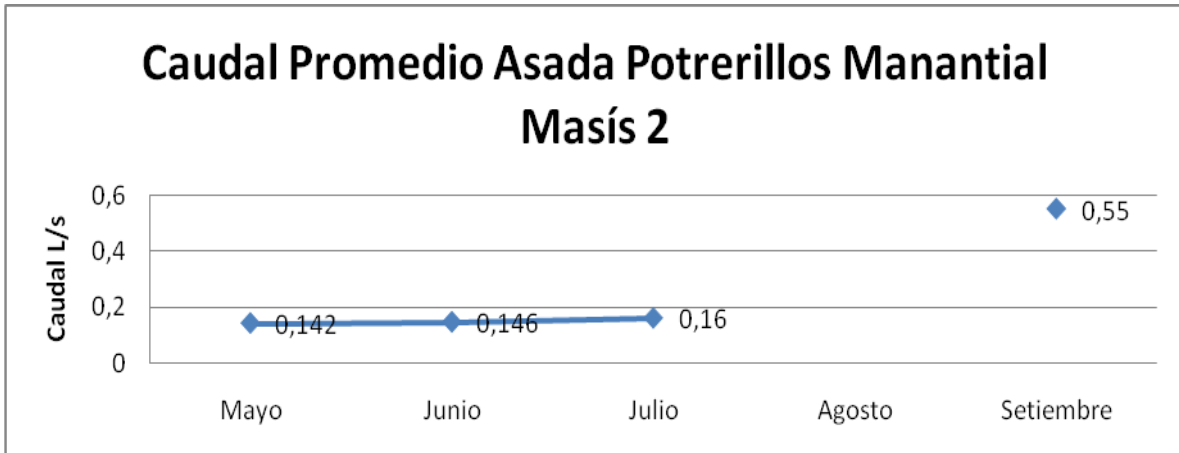


Figura 15: Tendencia del caudal mensual para el manantial Francisco Montero.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 0,142 l/s y 0,55 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de setiembre y el menor en mayo. A nivel general la tendencia en el caudal para los meses estudiados ha sido al aumento, durante los tres primeros meses el aumento ha sido mínimo, sin embargo durante setiembre se ha notado un aumento importante de 300 ml en el caudal, logrando llegar al medio litro por segundo.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento por medio de pastillas, sin embargo se desconoce la cantidad de cloro que debe ser suministrada, además se carece de análisis fisicoquímicos en las aguas. La distribución se realiza por medio de gravedad.

Con respecto a la calidad del agua del manantial, se realizó un análisis el día 1 de febrero del 2018 por el laboratorio Nacional de Aguas de Acueductos y Alcantarillados (AYA). Los parámetros analizados indican un pH de 6,68, temperatura de 20,3° y una conductividad de 53 μ S/cm Con estos resultados se ratifica que el agua no está contaminada, ya que junto con los otros muestreos se indica que el agua muestreada cumple con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S (cabe señalar que el análisis no implicó un estudio bacteriológico).

2.1 Geología Local

El agua del manantial brota en una capa de roca muy arcillosa coloración café claro. La roca se encuentra totalmente meteorizada y es difícil su identificación, sin embargo se observan lo que aparentemente son plagioclasas hinchadas (hidratadas), por lo cual se intuye que la roca corresponde a lavas muy meteorizadas.



Figura 16 : Sector donde se observa la roca por donde aflora el agua captada.

2.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central,

conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 436478 E / 1119157 N, a unos 10 metros del manantial.

Se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad. Fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 73%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café rojizo y una plasticidad moderada, además el CIA determinó que posee una textura Franca (clasificación USDA), con una densidad de $0,8 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $3,0 \text{ gr/cm}^3$.



Figura 17: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 18: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Masis 2.

El suelo presenta una coloración café claro con contenido alto de materia orgánica y plasticidad es alta.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,01 cm/min, lo que equivale a 0,144 metros por día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante al iniciar el ensayo, lo cual indica que los suelos en el sector se encontraban ya con alto contenido de humedad, ya cercanos al punto de saturación.

La velocidad de infiltración por día se puede considerar como muy baja. Dicha tasa de infiltración en la zona, desfavorece al proceso de recarga de agua, pero a su vez evitaría una rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

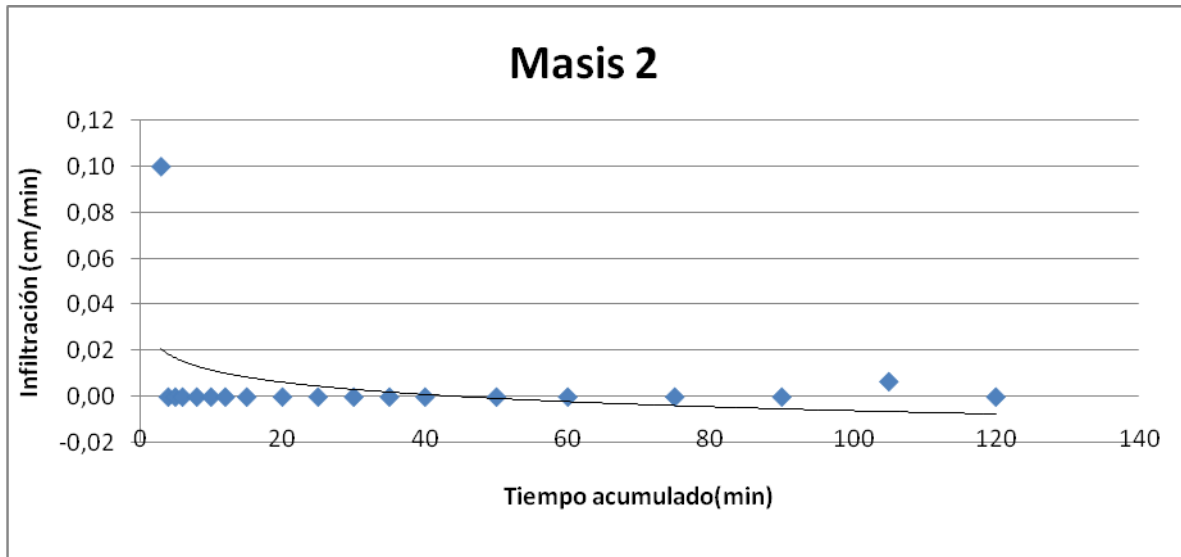


Figura 19: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

2.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

Debido a sus condiciones naturales, la naciente puede presentar problemas de caída de árboles, sedimentos y/o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

2.4 Determinación de las zonas de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 0,24 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 20,73 m³/d.

En base al mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se determinó un gradiente hidráulico para el manantial de 0,16 con una diferencia de alturas del nivel de agua (H1-H2) de 4,93 m y una distancia entre puntos de 30 m. El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 0,144 m/d.

El siguiente cuadro resume todos los valores utilizados.

Cuadro 3: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|----------------|-------------------|---|
| Q Caudal | 20,73 | m ³ /d | Información de la ASADA para época Lluviosa |
| Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 30 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 0,144 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 4,96 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1,2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia 17 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,97 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,3 metros aguas abajo del manantial; se considera que los valores obtenidos mediante dicha metodología no cumplen con criterios aplicables a la realidad por lo que han sido descartados.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla, asumiendo un medio poroso.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos, así como los resultados obtenidos para la metodología de isocronas.

Cuadro 4: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Masis 2.

| Manantial Masís 2 | |
|---|-------|
| Caudal (l/s) | 0,24 |
| Caudal m ³ /d | 20,73 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada(i) | 0,16 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 0,144 |
| Porosidad zona no saturada(n) | 0,73 |
| Porosidad porcentual(n%) | 73 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 1 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 2,20 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 15,7 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito de 5 años (1825 días) | 57,6 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 2,20 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 100 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 15,7 metros. Las distancias tan cortas se deben principalmente a una velocidad de infiltración muy baja acompañada de un suelo con una porosidad alta de 73%. Considerando que la zona operacional del manantial es de 20 metros alrededor del manantial y que ésta cubre los resultados obtenidos para los tiempos de tránsito de 70 y 100 días, éstos se han descartado, aplicando entonces el resultado de la isócrona considerando 5 años equivalente a 1825 días, cuyo resultado indica un valor de 57,6 m aguas arriba del manantial.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó la zona en base a la pendiente y flujos de agua tanto superficial como subterránea.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección con base en las metodologías hidrogeomorfológica, isócronas de 5 años y el radio arbitrario de 100 metros. Ésta posee una forma tubular con un área de 4719 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (Noreste). A nivel general se muestra una zona de protección más pequeña que la definida por las metodologías de radios arbitrarios, esto se debe principalmente al escaso caudal que se presenta en el área. Cabe señalar que las zonas de protección definidas

por los radios arbitrarios de 100 y 200 metros se solapan con las zonas de protección arbitrarias del manantial Masis 1.

El perímetro de la zona de protección se ha conformado en base a la pendiente de la zona y en los flujos de agua superficial que se presentan en el sector, así como el establecimiento de la dirección de flujo de agua tanto subterránea (por medio del mapa de equipotenciales y topografía). Cabe destacar que debido a una falta de información topográfica detallada el ancho de tubo de flujo se ha definido de 20 metros a ambos lados del manantial correspondiendo con una extensión del radio arbitrio definido por SENARA como la zona operacional.

Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (radio arbitrario establecido por SENARA, 1 249 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le sigue la zona 2 (de color amarillo, 1 630 m²), definida por la isócrona de 5 años y equivale a 57 metros agua arriba del manantial, finalmente la zona 3 (color verde 1 849 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 5 años y limitada hasta el límite de 100 metros correspondiente con el radio arbitrario de 100 metros establecido en la ley.

Las limitantes en el uso del suelo estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad y el sitio donde se realice. En el caso de la zona de estudio, debido a la fuerte pendiente del área se recomienda utilizar toda su extensión para conservación, en caso de no poderse debido a diversos factores se recomienda:

- En la zona 3 (que corresponde con la distancia mayor a la isócrona de 5 años), se pueden realizar actividades agropecuarias de bajo impacto, siempre y cuando no generen contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2 (las distancias menores a 5 años, equivalentes a 57 metros), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganado), además se debe evitar la corta de árboles
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA. No se permite ningún tipo de contaminación, ni intervención que pueda dejar basura o cualquier tipo de contaminantes.

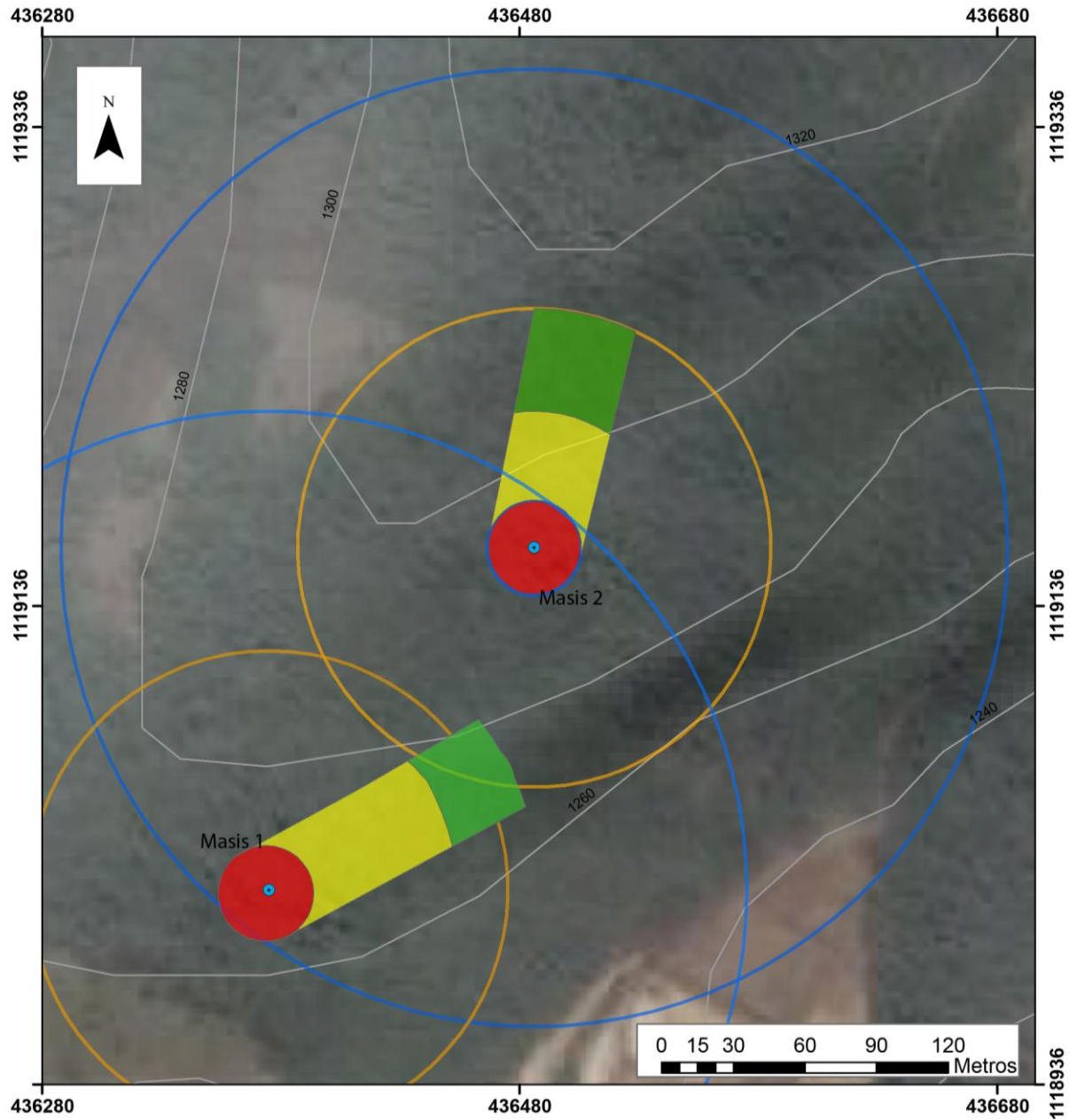


Figura 20: Zona de protección manantial Masis 2.

2.5 Recomendaciones

La captación a futuro se debe cementar además debe agregar un dispositivo perimetral como una malla de protección, la cual debe de rotularse. Es importante realizar análisis bacteriológicos y químicos para conocer la calidad del agua captada.

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado, podrido o a punto de caer, para luego sustituirlo por árboles jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes, para determinar con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, su relación con las sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.



ASADA SAN MIGUEL de PIEADAS SUR

**Estudio de las zonas de protección de las fuentes de
abastecimiento público utilizadas por las ASADAS en el sector
de Piedades Sur de San Ramón, Costa Rica.**



1 Información general Manantial Alcantarilla, ASADA San Miguel de Piedades Sur, San Ramón.

El manantial se encuentra localizado en medio de una finca destinada a la producción de caña, en el Poblado de San Miguel, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1120637 N y 441558 E (figura 1), a una altura de 1157 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente aparece inscrita ante la Dirección de Agua bajo el expediente 791, con la cédula 3002228019, conocida como Naciente La Alcantarilla.

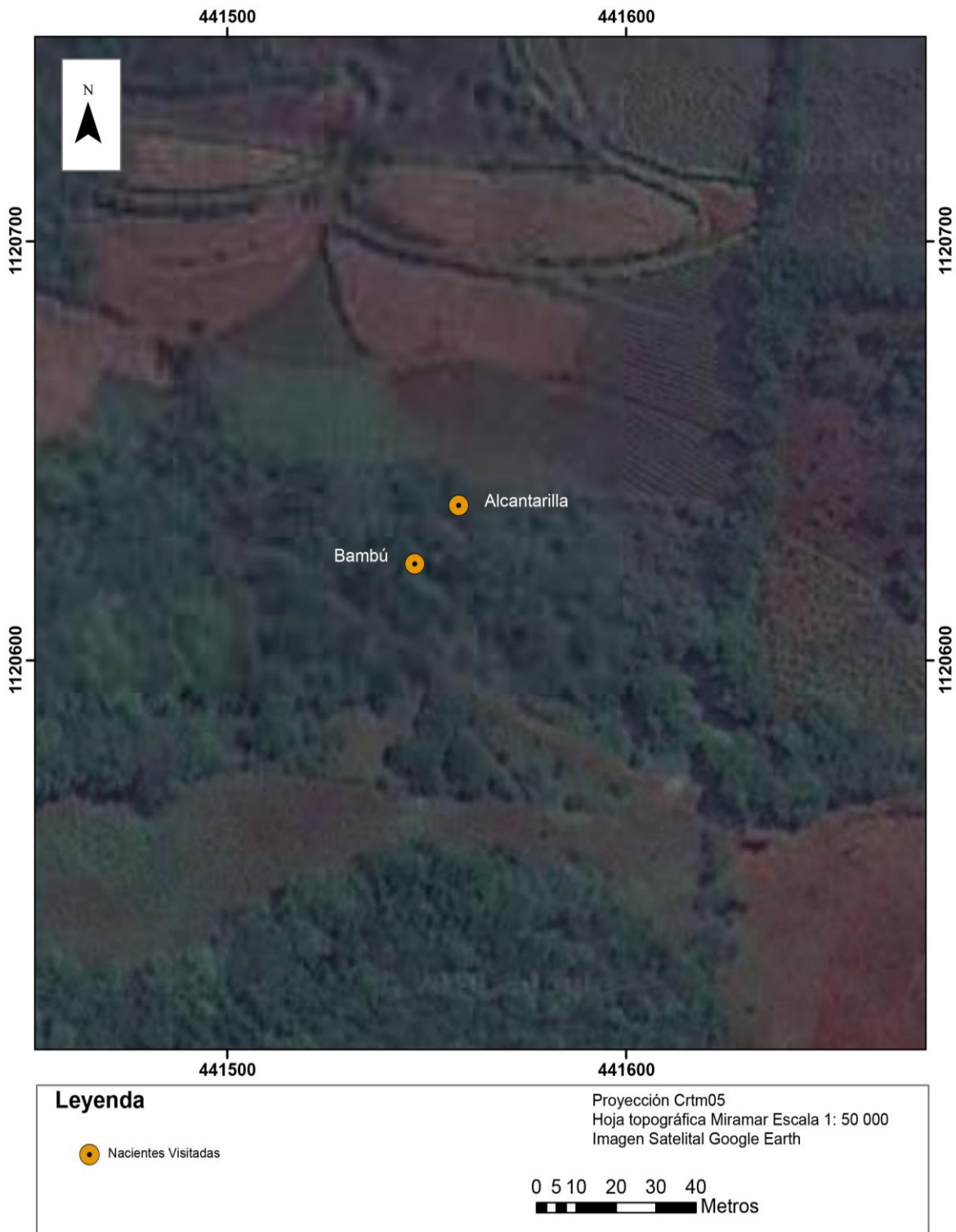


Figura 1: Mapa de ubicación Manantial La Alcantarilla, ASADA San Miguel, San Ramón.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA San Miguel de Piedades Sur de San Ramón, abasteciendo a la comunidad del mismo nombre, para un total de 154 previstas.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente plana a ondulada de aproximadamente 15° de inclinación. Se considera el estado de la captación como Buena, con una pequeña estructura de cemento pintada y con tapas de acero inoxidable, y con candado en buenas condiciones.

Además, se cuenta con un dispositivo perimetral, rotulación preventiva, y desvío de aguas pluviales.

No se observaron fugas, se presenta caudal ecológico. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 2: Captación del Manantial La Alcantarilla.



Figura 3: Vista de la captación.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo variable, hacia el norte, noreste y este, predomina el cultivo de caña el cual aparece a escasos 10 metros lineales del manantial, mientras que hacia el oeste, sur y sureste predominan la presencia de arbustos y bosque de tipo secundario, esto debido principalmente a que la ASADA posee dos hectáreas de terreno y se ha dedicado a la reforestación. Es importante mencionar la presencia del manantial El Bambú, perteneciente a la misma ASADA, el cual se ubica a unos 25 metros al suroeste de la naciente alcantarilla.



Figura 4: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector oeste de la captación



Figura 5: Uso del suelo a unos 25 metros hacia el este del manantial, zona alrededor de la quebrada formada por el manantial.

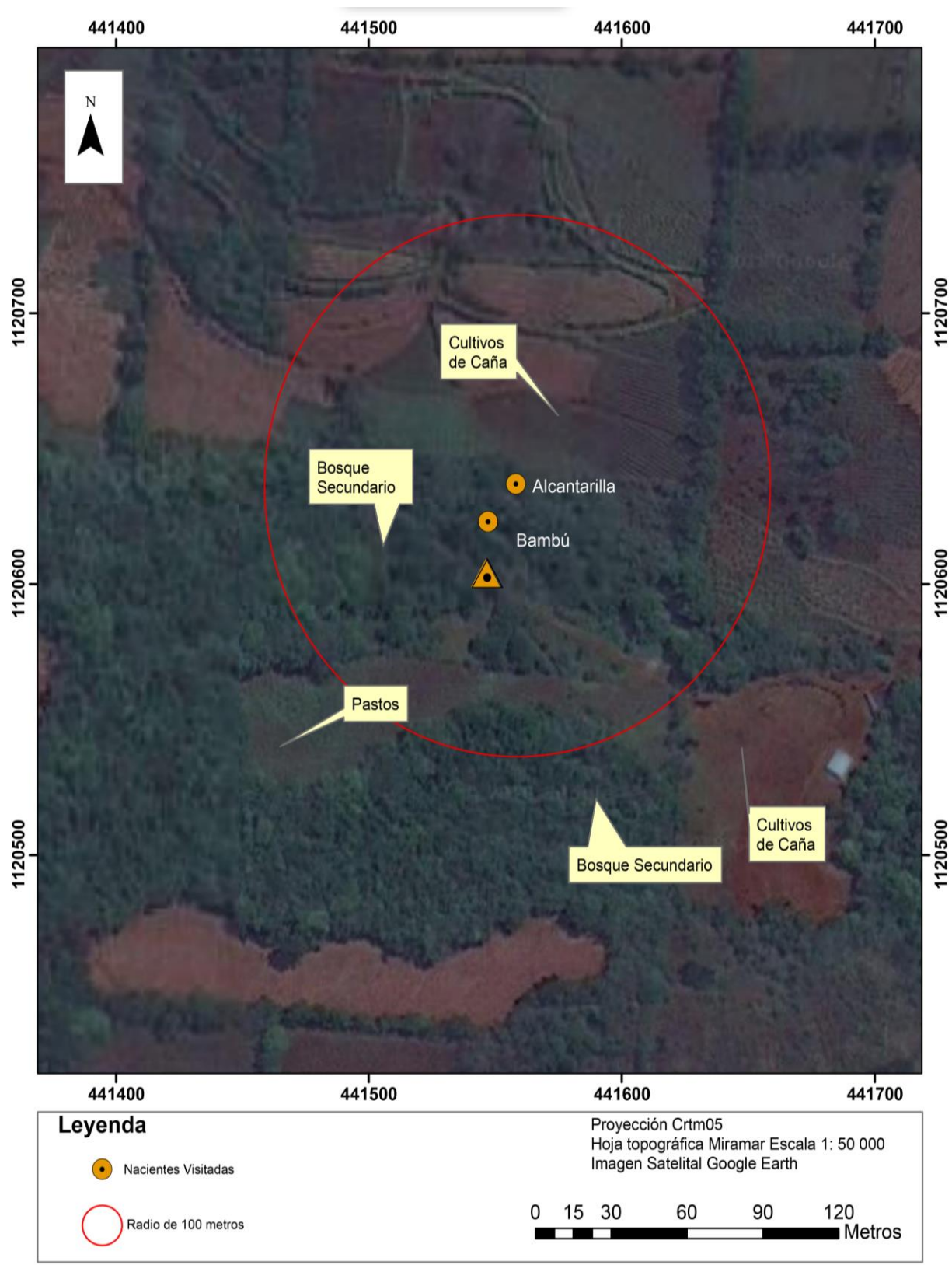


Figura 6: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial La Alcantarilla.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 2,4 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sureste. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

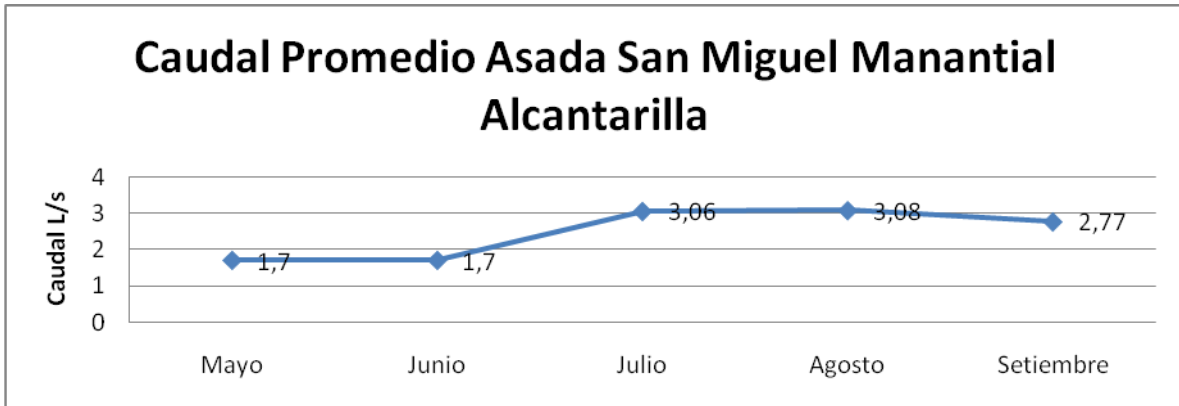


Figura 7: Tendencia del caudal mensual para el Manantial Alcantarilla.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 1,7 l/s y 3,08 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de agosto y el menor en mayo. A nivel general la tendencia en el caudal ah ido en aumento doblando en su caudal a partir del mes de julio y tornando nuevamente a disminuir en el mes de setiembre, se observan variaciones considerables en un periodo de tiempo relativamente corto, por lo que se podría a falta de más aforos, inferir una relación fuerte con una recarga superficial cercana, de manera que cambios abruptos en la recarga en los alrededores afectaría de forma directa e inmediata al caudal del manantial.

La cloración se realiza en un tanque de almacenamiento de 25 m³ medio pastillas, La distribución de agua se realiza por medio de gravedad, hacia los abonados (todos con medidor).

Con respecto a la calidad del agua del manantial, un análisis realizado en los tres manantiales ubicados a escasos metros unos de otros por el Laboratorio Nacional de Aguas de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), realizado el día 1 de febrero de 2018. Algunos de los parámetros analizados indican un pH ligeramente ácido de 6,23, una temperatura de 22° y una conductividad de 40 µS/cm, es importante señalar que los valores del elemento aluminio en la muestra indican valores elevados de este elemento. esto hace que la muestra no cumpla con el Reglamento para la Calidad

del Agua Potable 38924-S. En este caso se recomienda realizar un segundo muestreo en cada manantial con el fin de determinar si existe una fuente más exacta de donde provenga el elemento, o si se concentra de forma similar en los manantiales.

1.1 Geología Local

En los alrededores del manantial, no se ha observado ningún tipo de roca o afloramiento, se muestra un espesor de suelo de por lo menos 2 metros de textura arcillosa a arenosa de color café claro a rojizo.

1.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 441546 E / 1120604 N, a unos 30 metros al este del manantial.

Se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 56%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café rojizo y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura Franco arcillo arenoso (clasificación USDA), con una densidad de $0,8 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $1,8 \text{ gr/cm}^3$.

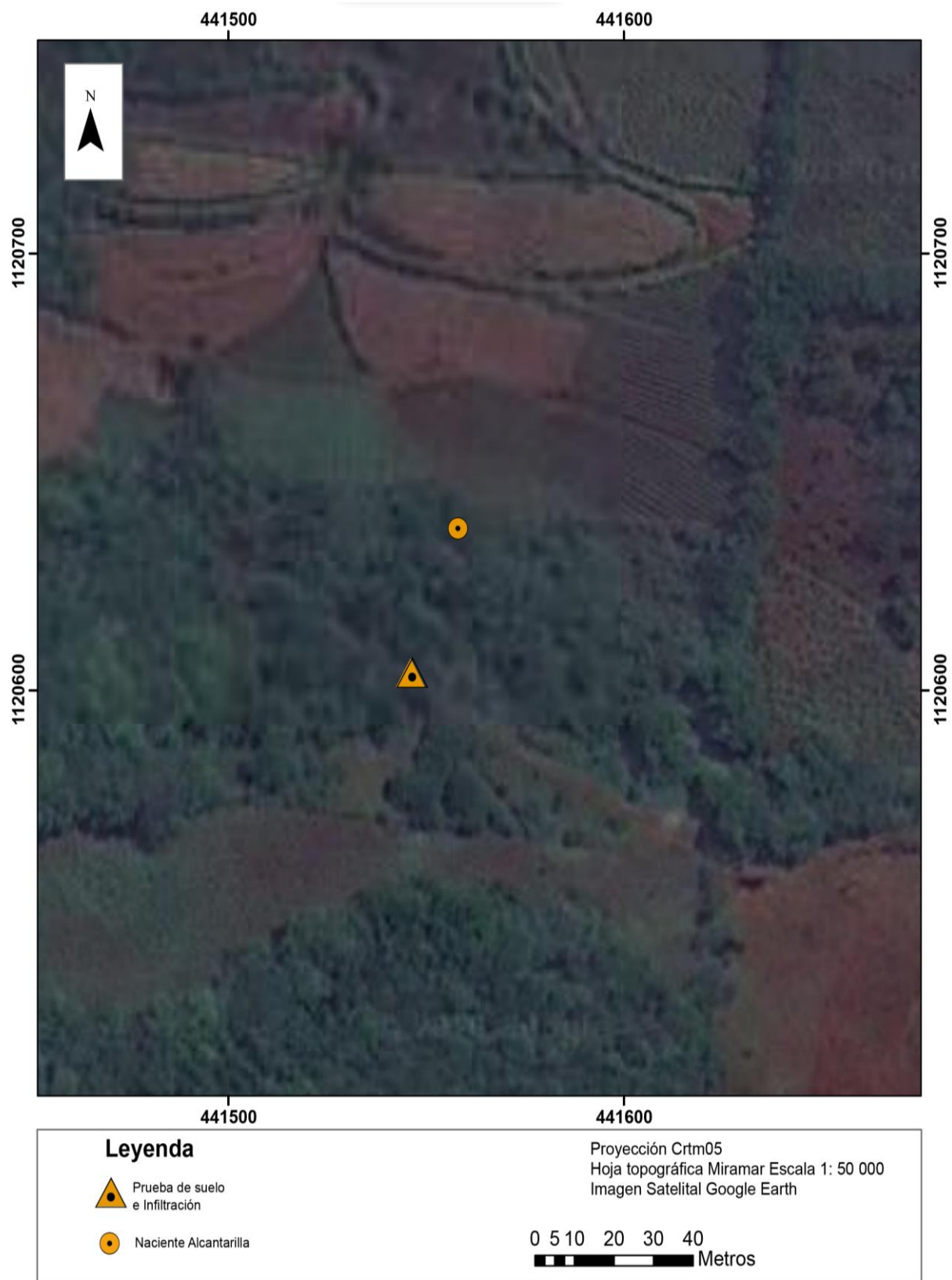


Figura 8: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 9: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Alcantarilla.

El suelo en el sector presenta una coloración café claro, con una plasticidad de tipo moderada.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,25 cm/min, lo que equivale a 7,2 m por día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante luego de los 80 minutos de iniciar con la prueba, esto se debe principalmente al alto contenido de materia

orgánica, la baja densidad aparente y a la textura franco arcillo arenosa presente en los alrededores , lo que genera suelos de alta conductividad, por lo que se requirió tiempo para lograr estabilizar la prueba, esto a pesar de que en la zona las precipitaciones han sido constantes.

Una velocidad de 7,2 metros por día se puede considerar como alta, por lo cual la infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

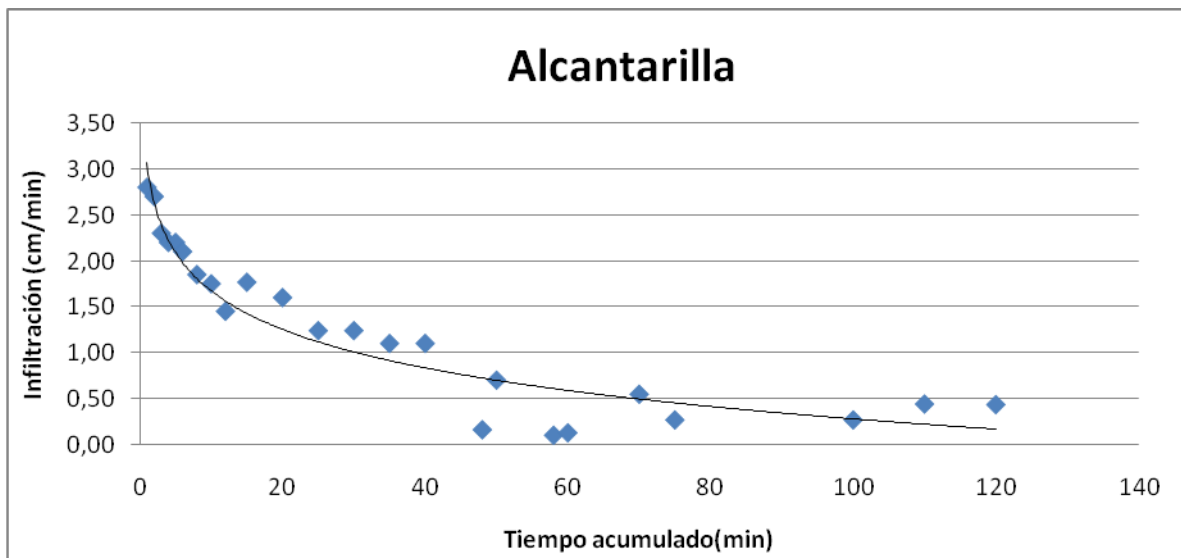


Figura 10: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

1.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

El manantial se localiza en un lugar cercano a la actividad de cultivos de caña, con lo cual es vulnerable a la contaminación por actividades agropecuarias por ejemplo aplicación de pesticidas.

Debido a sus condiciones naturales (localizada dentro del cauce de un río), la naciente puede presentar problemas de caída de árboles o bloques de roca sobre la captación debido a eventos meteorológicos extraordinarios (lluvias fuertes e intensas).

1.4 Determinación de las zonas de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 2,4 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 207,36 m³/día.

Además, con base en el mapa de equipotenciales para la zona de estudio (figura 7), se ha determinado un gradiente hidráulico para el manantial de 0,05, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H1-H2) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 888 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 7,2 m/d.

El siguiente cuadro resume de todos los valores utilizados.

Cuadro 1: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los Valores |
|---|---------|-------------------|---|
| Q Caudal | 207,36 | m ³ /d | Información de la ASADA para época Lluviosa |
| Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 888 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad Hidráulica | 7,2 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H1-H2 | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados, en las ecuaciones 1, 2 y 3, se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 14 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,78 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,24 metros aguas abajo del manantial.

Sin embargo, de acuerdo a las condiciones topográficas y de uso de suelo que imperan en los alrededores del manantial, se considera que los valores obtenidos mediante dicha

metodología no cumplen con criterios aplicables a la realidad por lo que la metodología analítica ha sido descartada.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además de la porosidad del suelo obtenido en laboratorio por medio de la muestra recolectada en el campo.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla, asumiendo un medio poroso.

EL siguiente cuadro resume los valores requeridos, así como los resultados obtenidos para la metodología de Isocronas.

Cuadro 2: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Alcantarilla.

| | |
|---|-------------|
| Manantial Alcantarilla | |
| Caudal (l/s) | 2,4 |
| Caudal m³/d | 207 |
| Gradiente hidráulico zona Saturada(i) | 0,05 |
| Permeabilidad (k)(m/d) | 7,2 |
| Porosidad zona no saturada(n) | 0,56 |
| Porosidad porcentual (n%) | 56 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 1 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 37 |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 53 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 265 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 53 metros aguas arriba del manantial (se ha tomado el valor de 53 m considerando el caso más extremo obtenido con el tiempo de tránsito de 100 días), mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 265 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección con base en la metodología hidrogeomorfológica y las isócronas de 100 y 500 días respectivamente, ésta posee una forma tubular con un área de 33739,24 m², la cual va desde la captación pendiente aguas arriba (Noroeste).

Su perímetro se ha conformado con base en la topografía de la zona y en los flujos de agua superficial que se presentan en el sector, así como el establecimiento de la dirección de flujo de agua tanto subterránea (por medio del mapa de equipotenciales y topografía).

Con respecto a sus subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (radio arbitrario establecido por SENARA, 1 249 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 o de operación y mantenimiento del manantial (color rojo); le sigue la zona 2 (de color amarillo, 2 797 m²), definida por la isócrona de 100 días y equivale a 53 metros aguas arriba del manantial, finalmente le sigue la zona 3 (color verde 2 9691 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 100 días y limitada hasta la isócrona de 500 días equivalente a una distancia de 265 metros aguas arriba del manantial.

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad de la misma y el sitio donde se realice.

- En la zona 3 (que corresponde con la distancia mayor a la isócrona de 100 días) se pueden realizar actividades agropecuarias de bajo impacto mientras que las mismas no puedan generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos o pesticidas).
- En la zona 2 (las distancias menores a 70 días, equivalentes a 45 metros), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generen contaminación bacteriológica (vertido de aguas negras, ganado), además se debe evitar la corta de árboles o siembra agrícola.
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA. No se permite ningún tipo de contaminación, ni intervención que pueda dejar basura o cualquier tipo de contaminantes.

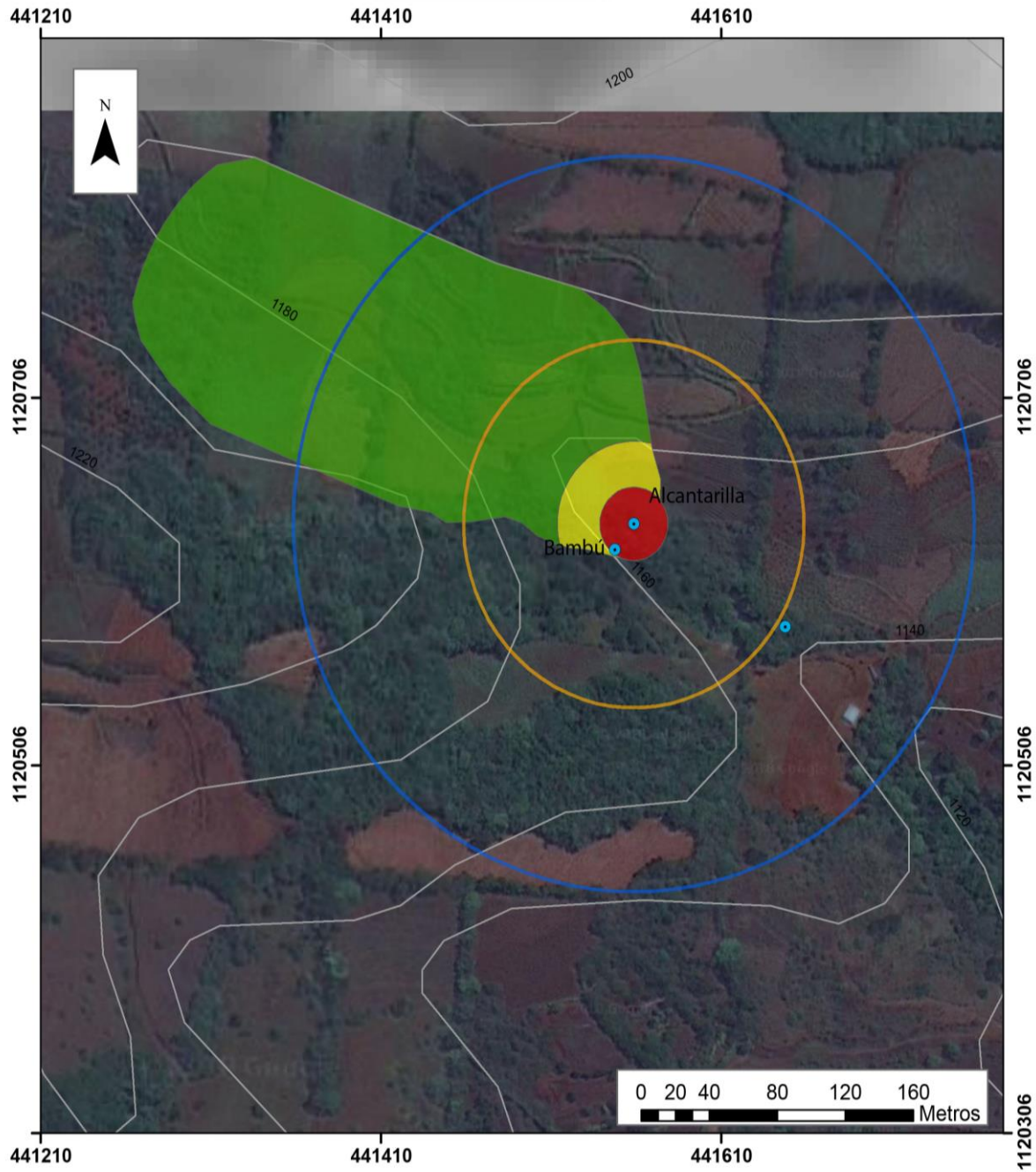


Figura 11: Zona protección manantial Alcantarilla, ASADA San Miguel de Piedades Sur.

1.5 Recomendaciones

Mantener limpia la zona operacional, tratando de eliminar cualquier árbol que se note en mal estado o podrido o a punto de caer y sustituyéndolo por otros jóvenes que sean endémicos de la zona boscosa.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y poder saber con el tiempo los periodos en donde se presentan los menores valores, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.

2 Información general Manantial Bajo Barrantes, ASADA San Miguel de Piedades Sur de San Ramón

El manantial se encuentra localizado en el Poblado de Bajo Barrantes de San Miguel, en el distrito de Piedades Sur del cantón de San Ramón en la provincia de Alajuela, en las coordenadas CRTM05 1118282 N y 442966 E (figura 12), a una altura de 929 msnm, dentro de la hoja cartográfica Miramar escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

La naciente se encuentra en trámites de inscrita ante la Dirección de Agua, pero actualmente no posee número de expediente dentro de la base de datos digital de dicha institución.

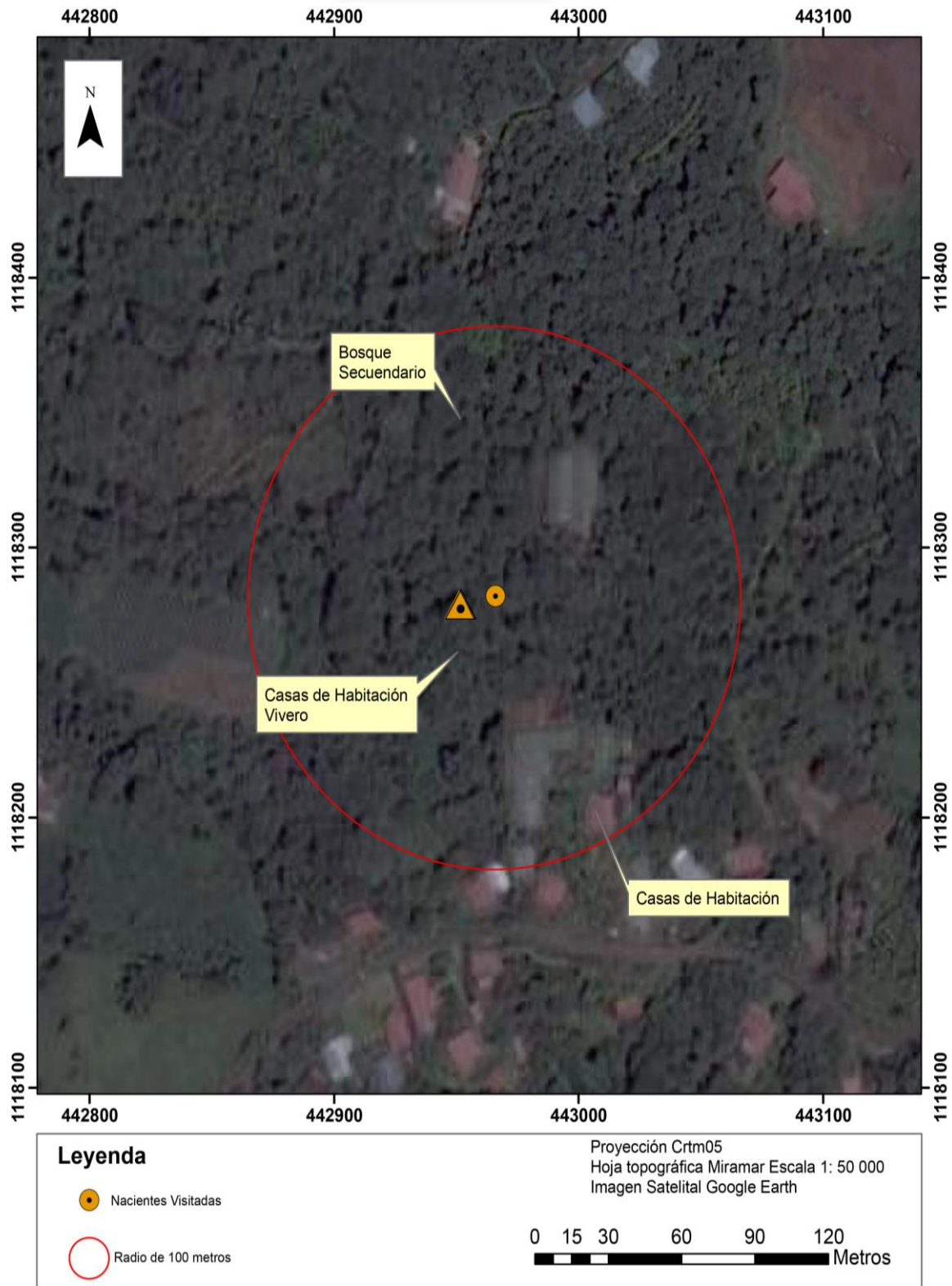


Figura 12: Mapa de ubicación Manantial Bajo Barrantes, ASADA San Miguel de Piedades Sur.

El manantial se encuentra actualmente administrado y captado por la ASADA San Miguel de Piedades Sur de San Ramón, sin embargo aún no se ha utilizado para la distribución de agua debido a trabajos de conexión e infraestructura que está realizando la ASADA.

La naciente se encuentra en un terreno con una pendiente plana a ondulada de aproximadamente 15° de inclinación. Se considera el estado de la captación como Buena, pero hay que recalcar que se encuentra en proceso de construcción. La captación comprende una estructura de cemento tipo Bunker, de unos 2 metros de altura por unos 3 metros de ancho dentro de la cual, se presenta el manantial. La estructura se encuentra sin pintar, posee una puerta de metal con candado.

La estructura presenta el inconveniente de que se construyó utilizando parte del paredón donde brota el agua como soporte para la estructura de cemento, esto provocó un pequeño colapsamiento del paredón y cual aterró el manantial, sin embargo la estructura de cemento no ha sufrido daños hasta el momento.

Además; en cuanto se completen las labores de construcción de infraestructura se contará con un dispositivo perimetral, rotulación preventiva, y desvío de aguas pluviales.

No se han observado fugas, además se presenta caudal ecológico. El área alrededor de la captación se encuentra limpia sin presencia de basura.



Figura 13: Captación Manantial Bajo Barrantes.

En el área circundante a la captación se caracteriza por un uso de suelo variable, se han observado lotes, cubiertos por cultivos, pastos, sectores boscosos, en los sectores norte y oeste del manantial a menos de 100 metros de distancia, además el camino se encuentra a 20 metros del manantial, el cual alimenta a una quebrada cercana. Además a unos 50 metros al sur se localiza un vivero y algunas casas de habitación.



Figura 14: Uso del suelo alrededor del manantial, vista hacia el sector oeste de la captación.

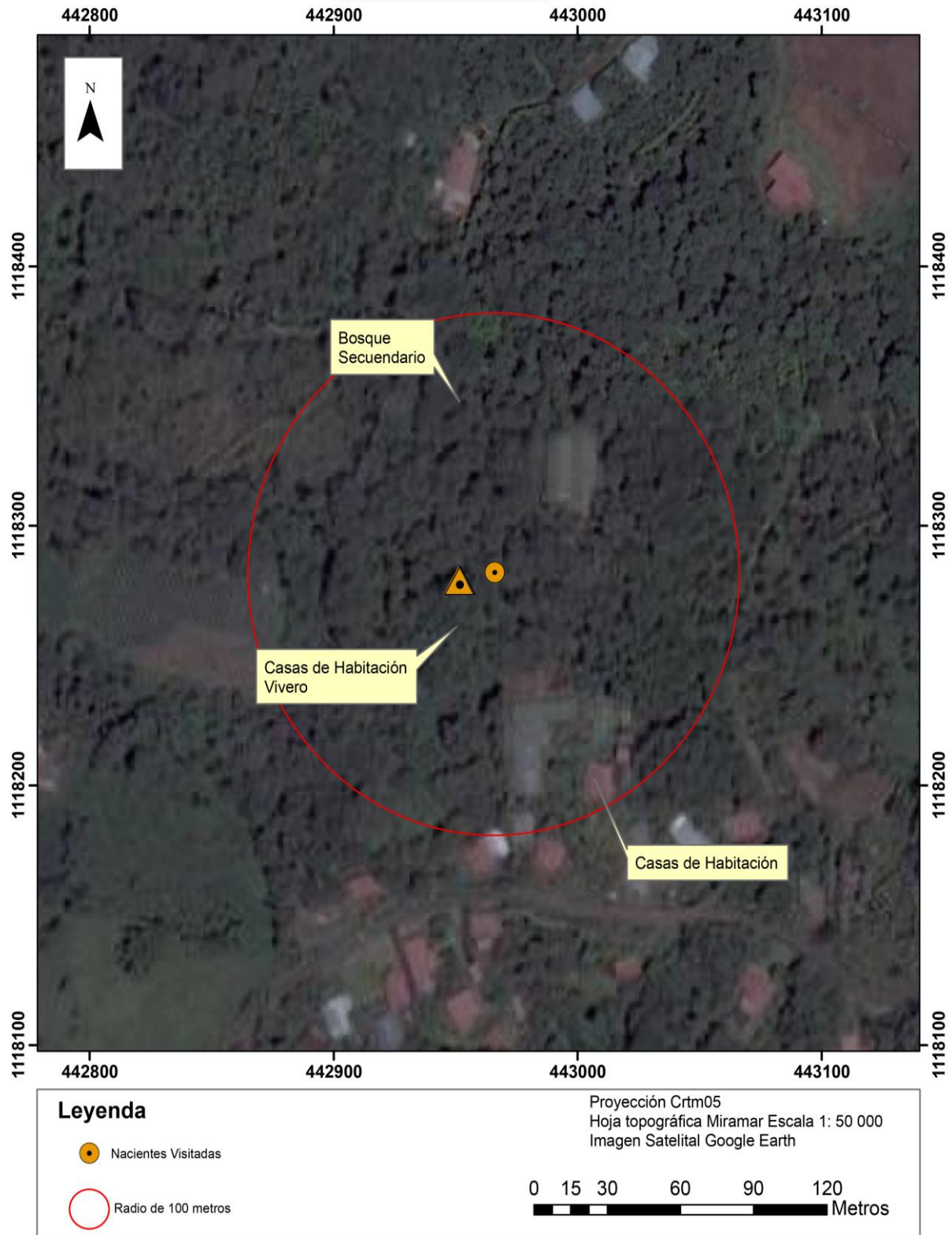


Figura 15: Distribución de usos de suelo en los alrededores del manantial Bajo Barrantes.

El caudal promedio de la naciente obtenido con base en aforos realizados desde los meses de mayo hasta setiembre mediante la metodología de aforo volumétrico, indicó un valor promedio de 4,83 l/s, con un flujo de agua con dirección hacia el sur. El siguiente gráfico muestra los valores de caudal medidos por mes en el manantial.

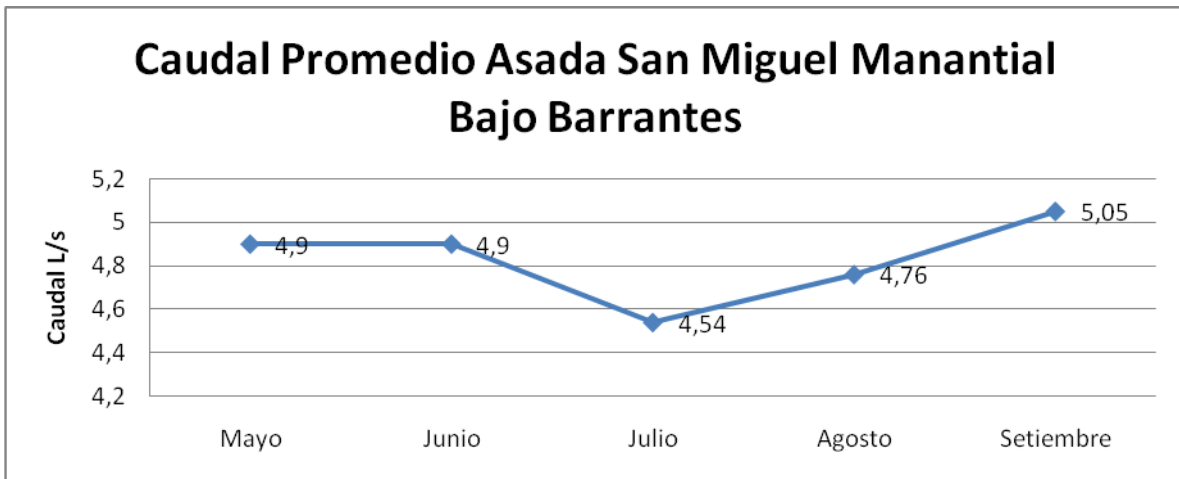


Figura 16: Tendencia del caudal mensual para el manantial Bajo Barrantes.

Como se muestra en el gráfico anterior la tendencia del caudal se ha mantenido entre los rangos de 4,9 l/s y 5,05 l/s, siendo el valor más alto registrado en el mes de setiembre y el menor en julio. A nivel general la tendencia en el caudal se ha tornado constante con variaciones de más-menos 400 ml de la media, pareciendo haber una tendencia al aumento en el mes de setiembre a falta de los meses más lluviosos y secos del año.

2.1 Geología Local

El manantial brota de una serie de bloques de lava de tamaño decimétrico y de forma esférica pero bastante angulosas, las lavas presentan coloraciones que van desde gris en su estado sano a purpura en su estado meteorizado, las lavas en su mayoría bastante meteorizadas presentan una textura afanítica porfirítica con presencia de fenocristales de plagioclasa hinchados de aproximadamente 0,5 cm de longitud, además se logran observar piríboles bastante alterados. Dichos bloques se presume, conformarían una autobrecha de colada de lava, la cual presentaría una alta porosidad secundaria.

Además suprayaciendo a esta colada se presenta un suelo de por lo menos 3 metros de espesor de coloración café claro, el cual funcionaría como matriz de los bloques de lava, dicha matriz tendría un porcentaje de elevado en superficie, descendiendo paulatinamente hasta un 25 % de la composición en la zona de la autobrecha.

2.2 Características de la zona no saturada.

Con el objetivo de poder determinar la velocidad de infiltración de agua de lluvia que posee el suelo en los alrededores del manantial, se realizó una prueba de infiltración con el método de doble anillo, el cual consiste en agregar agua en dos anillos concéntricos de metal clavados al suelo, e ir midiendo cada cierto tiempo el nivel de agua del anillo central, conforme el tiempo pasa la velocidad con que el agua infiltra disminuye y se vuelve constante, con lo cual se puede obtener el valor de velocidad infiltración para la zona.

La prueba se realizó en las coordenadas CRTM05 442951 E / 1118279 N, a unos 3 metros al oeste del manantial.

Además se tomó una muestra de suelo con el fin de conocer su valor de porosidad la misma fue analizada por el Centro de Investigaciones Agronómicas CIA de la Universidad de Costa Rica el cual determinó un valor de porosidad de 63%.

El suelo se caracteriza por poseer un color café rojizo y una plasticidad moderada, además el CIA determinó, que posee una textura arcillosa (clasificación USDA), con una densidad de $0,9 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad de partículas de $2,4 \text{ gr/cm}^3$.

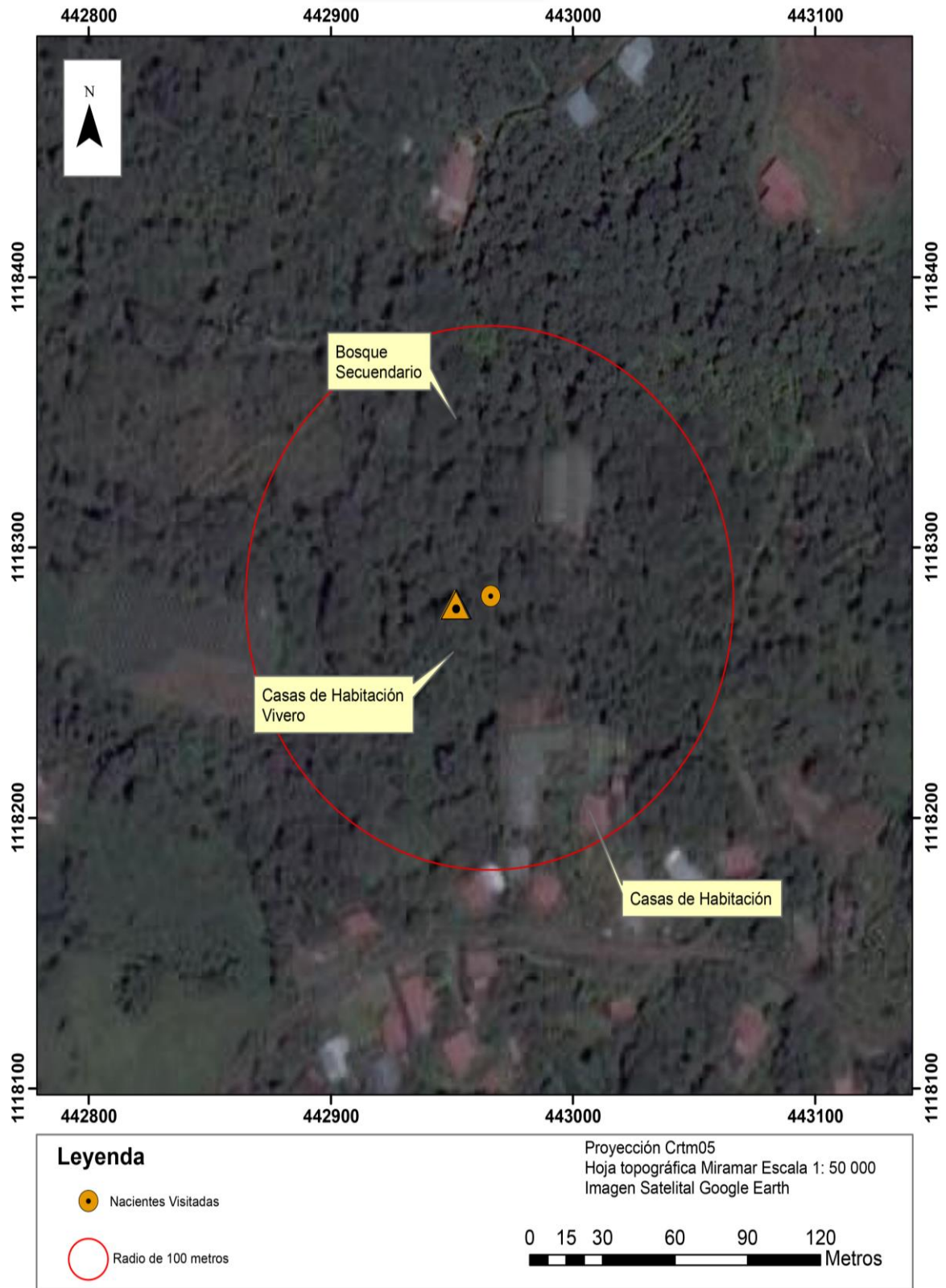


Figura 17: Mapa de ubicación de la prueba de infiltración y suelo.



Figura 18: Prueba de infiltración por el método del doble anillo y muestreo de suelos realizados en las cercanías del Manantial Bajo Barrantes.

El suelo en el sector presenta una coloración café claro, con una plasticidad de tipo moderada.

El valor de velocidad de infiltración de campo obtenido es de 0,50 cm/min, lo que equivale a 7,2 m por día. En la siguiente figura se muestra el gráfico correspondiente a la prueba, se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse relativamente constante luego de los 45 minutos de iniciar con la prueba, cabe mencionar que durante las segunda hora de la realización de la misma se produjo un fuerte aguacero que influyó en algunas alteraciones observadas en el gráfico.

La alta tasa de infiltración se debe principalmente al alto contenido de materia orgánica y a la textura de suelo, la cual genera suelos muy porosos de alta conductividad, por lo que

se requirió tiempo para lograr estabilizar la prueba, esto a pesar de que en la zona las precipitaciones han sido constantes.

Una velocidad de 7,2 metros por día se puede considerar como alta, por lo cual la infiltración en la zona tiende a favorecer el proceso de recarga de agua, pero a su vez permite la rápida de absorción de agentes contaminantes tanto de origen biológico como químico.

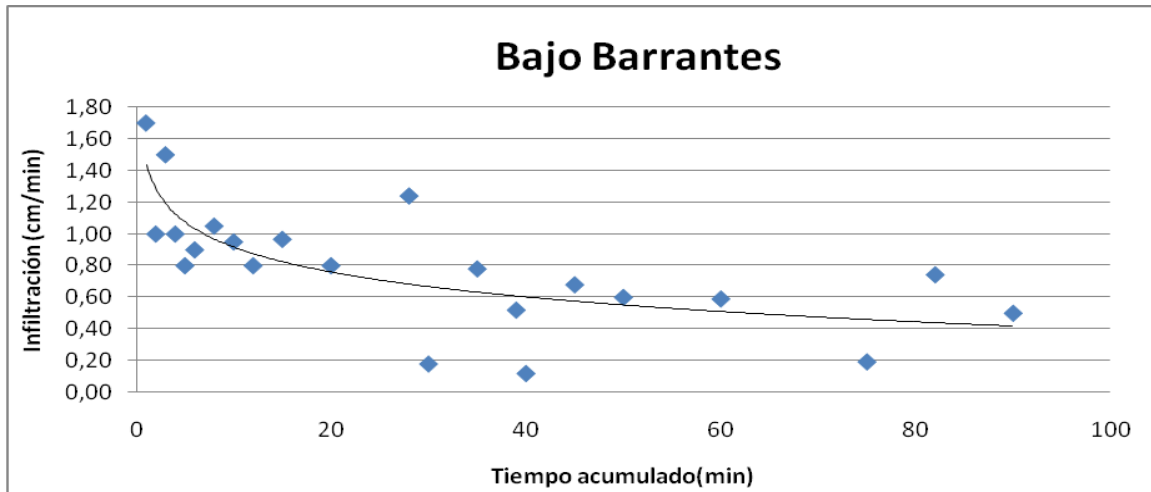


Figura 19: Velocidad de infiltración obtenida por medio del método de doble anillo.

2.3 Amenazas a la Captación y a sus alrededores.

Se ha observado el colapsamiento de la pared interna de la captación (la cual está conformada por un paredón de suelo y rocas) en donde brota el agua, dicha caída de material es producto de la erosión del agua, un suelo muy saturado en humedad, y la falta de un afloramiento de roca macizo.

2.4 Determinación de la zona de protección

En primera instancia se realizó el cálculo de la zona de protección por medio del método analítico para lo cual se necesitarán los parámetros de las ecuaciones 1, 2 y 3 para medios libres. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes características tomadas tanto en campo como por medio de la literatura.

El caudal del manantial es 4,83 l/s, lo cual es traducido a un caudal diario de 417,3 m³/día.

Con base en el mapa de equipotenciales (figura 7) se ha calculado un gradiente hidráulico para el manantial de 0.144, con una diferencia de alturas del nivel de agua (H₁-H₂) de 50 metros y una distancia entre las mismas de 347 metros.

El valor de conductividad hidráulica (k) obtenido mediante la prueba de infiltración indica un valor de permeabilidad de 7,2 m/d. El siguiente cuadro resume todos los valores utilizados.

Cuadro 3: Valores utilizados al momento de realizar el cálculo por medio de la metodología analítica.

| Parámetros Requeridos | Valores | | Origen de los valores |
|---|---------|-------------------|---|
| Q Caudal | 417,3 | m ³ /d | Información de la ASADA para época lluviosa |
| L Longitud entre dos puntos del nivel de agua | 347 | m | Mapa de isofreáticas |
| K Conductividad hidráulica | 7,2 | m/d | Prueba de infiltración en campo |
| Diferencia elevaciones H ₁ -H ₂ | 50 | m | Mapa de isofreáticas |

Introduciendo los valores mencionados en las ecuaciones 1, 2 y 3 se obtuvieron los siguientes resultados para el método analítico: Para el largo del tubo de flujo aguas arriba se obtuvo una distancia de 3,96 metros, para el ancho del tubo de flujo se obtuvo un valor de 0,21 metros a cada lado del manantial y para el punto de no retorno un valor de 0,07 metros aguas abajo del manantial. Como se observa en los resultados los valores obtenidos parecen ser insuficientes para crear una zona óptima de protección.

Para la metodología de isócronas, se realizó el cálculo de tránsito de contaminantes utilizando el valor de permeabilidad del suelo (determinado en las pruebas de infiltración); además el valor de 63% de porosidad utilizado se obtuvo de los muestreos realizados in situ.

La ecuación 6 se utilizó para determinar las distancias aguas arriba de la naciente, a las cuales un contaminante bacteriano no debería afectarla.

El siguiente cuadro resume los valores requeridos así como los resultados obtenidos para la metodología de isocronas.

Cuadro 3: Valores necesarios y resultados obtenidos para la metodología de Isocronas Manantial Bajo Barrantes.

| Manantial Bajo Barrantes | |
|---|-------|
| Caudal (l/s) | 4,83 |
| Caudal m ³ /d | 417,3 |
| Gradiente hidráulico zona saturada (i) | 0,144 |
| Permeabilidad (k) (m/d) | 7,2 |
| Porosidad zona no saturada (n) | 0,63 |
| Porosidad porcentual (n%) | 63 |
| Espesor zona no saturada a la fuente (m) | 2 |
| Resultados | |
| Distancia mínima (m) para tiempo tránsito o igual a 70 días | 115,2 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 100 días | 164,6 |
| Distancia (m) para tiempo tránsito o igual a 500 días | 822,9 |

Los resultados obtenidos con la metodología de isócronas, determinaron que para que un contaminante bacteriano logre llegar al manantial debe ser derramado a una distancia menor a 164,5 metros aguas arriba del manantial, mientras que para contaminantes que perduran hasta 500 días, deben de ser derramados aguas arriba a una distancia menor a 822,9 metros.

Con respecto a la metodología hidrogeomorfológica, se delimitó un perímetro, basándose en la topografía, pendiente y flujos de agua superficiales de los alrededores del manantial.

Finalmente se ha delimitado la zona de protección, ésta posee una forma ancha tubular siguiendo la topografía definida por las lavas, posee un área de 44 222 m², la cual va desde la captación aguas arriba (noroeste).

La zona de protección se ha subdivido en 3 sectores, basados en la topografía de la zona, la metodología de isócronas y la metodología de radio fijo.

Con respecto a dichas subdivisiones, se ha definido un radio de 20 metros (1 250 m²) alrededor de la naciente considerado como la zona 1 ó de operación y mantenimiento del manantial (color rojo), este se ha basado en un valor definido por medio de los parámetros establecidos por SENARA para la protección de las nacientes; le sigue la

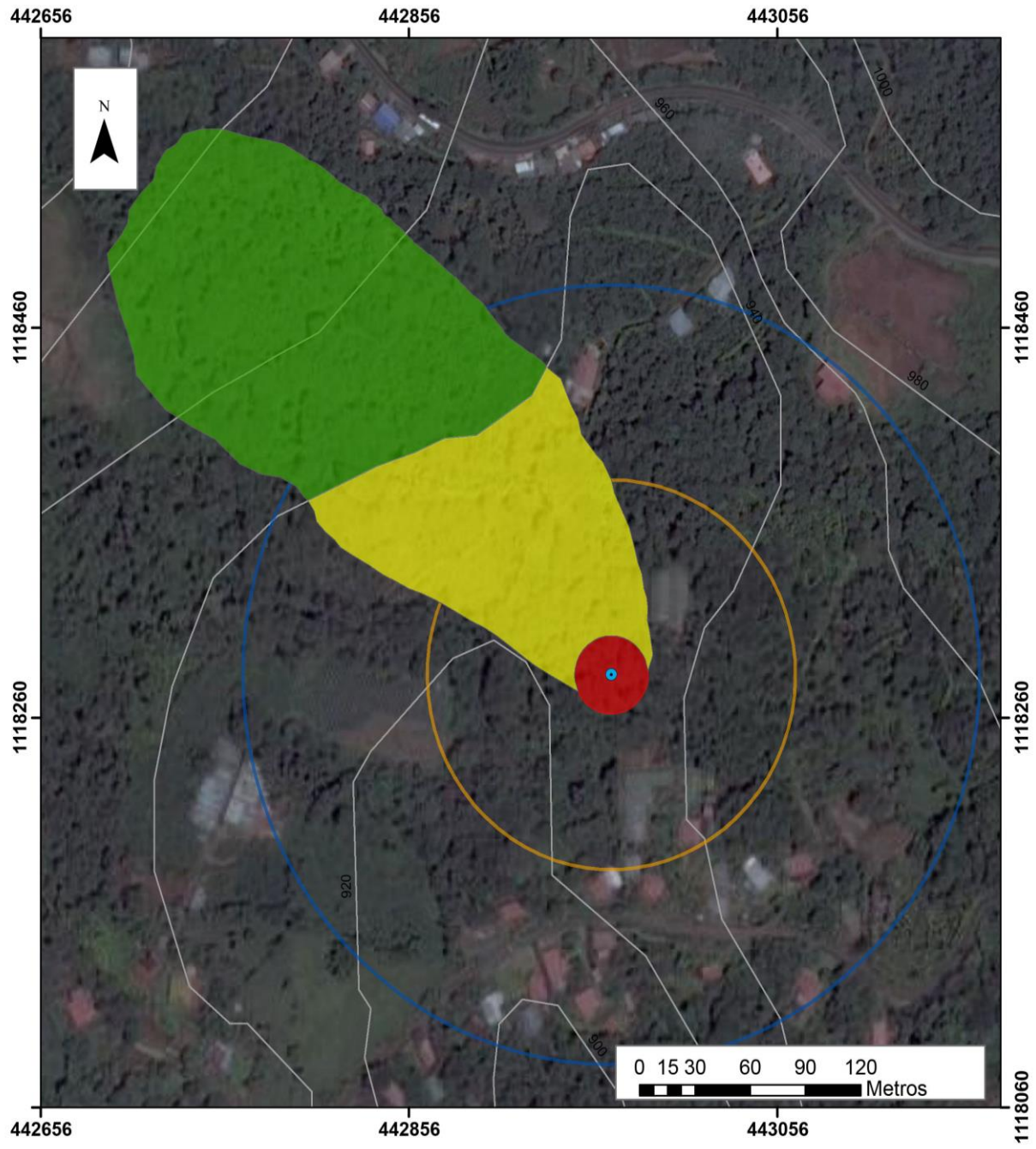
zona 2 (de color amarillo, 15 301 m²), definida por distancias aproximadas a la isocrona de 100 días (164,5 metros) y delineada por la topografía de la zona.

Finalmente le sigue la zona 3 (color verde 27 671 m²) que corresponde con las distancias mayores a la isócrona de 100 días y que se ha culminado hasta un cambio topográfica ubicado a 358 m al noroeste de la naciente.

Las limitantes en el uso de la tierra estarán dadas por el tipo de actividad, la densidad de la misma y el sitio donde se realice. Para este caso se recomienda utilizar los terrenos aguas arriba para la reforestación y conservación.

En dado el caso de esto no ser posible se recomienda utilizar las zonas de protección de la siguiente forma:

- En la zona 3 (que corresponde con el tiempo de tránsito de contaminantes superior a 100 días) evitar generar contaminantes persistentes en el medio acuífero (combustibles, uso de agroquímicos ó pesticidas), actividades agrícolas y ganaderas de bajo impacto son permitidas.
- En la zona 2 (las distancias hasta los 100 días), no se pueden realizar actividades que puedan generar contaminantes persistentes ni actividades que generan contaminación bacteriológica (aguas negras, ganadería).
- En la zona 1 (zona operación del manantial), se utiliza para uso exclusivo de las actividades operacionales de la ASADA se debe evitar cualquier tipo de contaminación.



| | | | |
|-------------------|-------------------|--|--------------------------------------|
| Simbología | | Proyección Crtm05 Hoja topográfica Miramar Escala 1: 50 000 | |
| | Manantial | | Zonas de Protección Zona 1 |
| | Curvas nivel 20 m | | Zona 2 |
| | | | Zona 3 |
| | | | Radio arbitrario 100 m |
| | | | Radio arbitrario 200 m |

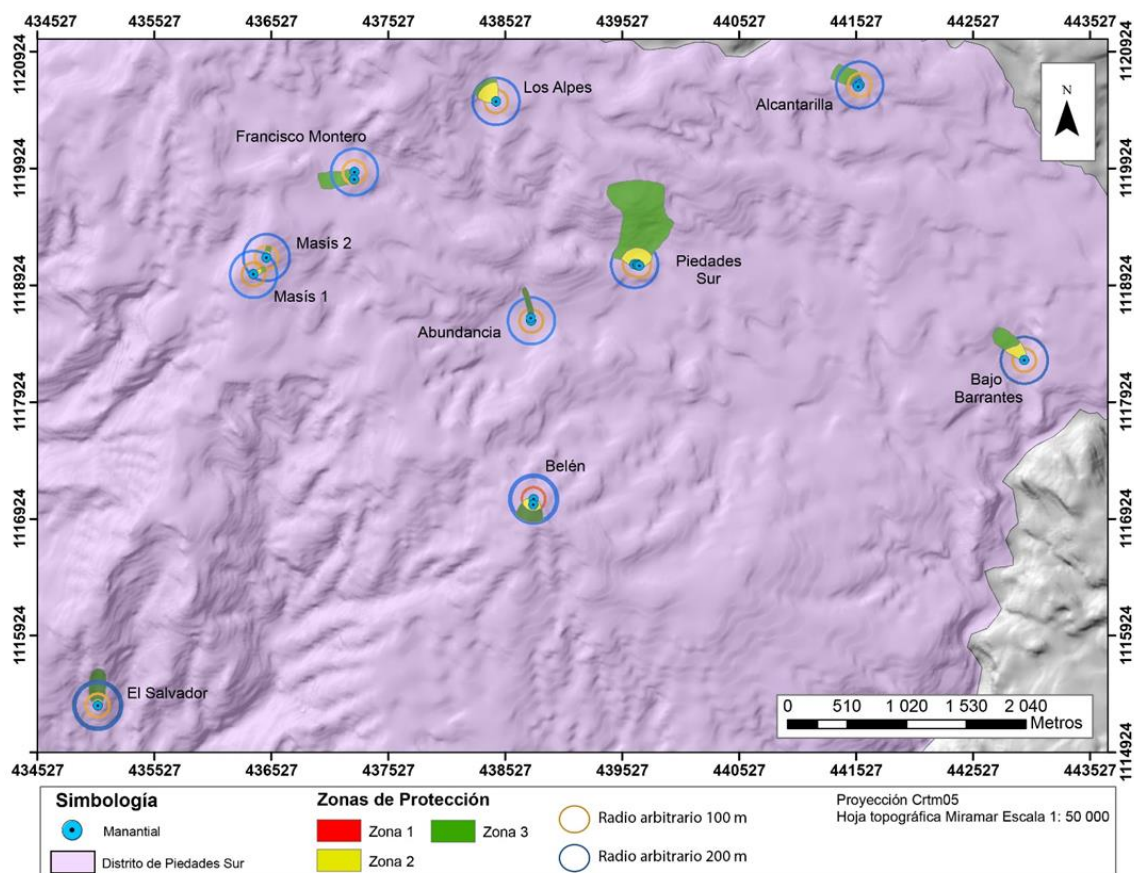
Figura 20: Zona de protección manantial Bajo Barrantes.

2.5 Recomendaciones

Es muy importante asegurar la infraestructura de la captación, se recomienda completar la estructura en cemento y evitar usar de soporte los paredones de suelo y rocas. Una vez completado el proceso de construcción, la captación debe de pintarse, además de crear un dispositivo perimetral rotulado.

Se recomienda llevar un registro por lo menos mensual de aforos, con el objetivo de ir graficando el caudal reportado mes a mes y poder saber con el tiempo los periodos en donde se presentan el menor valor, y su relación con sequías y otros eventos meteorológicos a lo largo de cada año.

Mapa de las zonas de protección establecidas para los manantiales seleccionados en Piedades Sur de San Ramón.



Resumen de las zonas de protección de los manantiales seleccionados

| ASADA | MANANTIAL | Área de la zona de protección (m ²) | Área de la zona de protección (Ha) | Orientación preferencia de la zona de protección, aguas arriba del manantial |
|---|-------------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Bureal | Francisco Montero | 44 724 | 4, 47 | W-SW |
| | Los Alpes | 33 003 | 3,00 | NW |
| El Carmen | Belén | 37 013 | 3,70 | S-SW |
| El Salvador | Lizano | 41 052 | 4,10 | N |
| La Guaría, Quebradillas y San Francisco | La Abundancia | 14 405,64 | 1,44 | N |
| Piedades Sur | Las cuatro fuentes (F1,F2, F3 y F4) | 285 798,7 | 28,59 | N |
| Potrerillos | Masis 1 | 5 224 | 0,52 | NE |
| | Masis 2 | 4 719 | 0,47 | NE |
| San Miguel de Piedades Sur | La Alcantarilla | 33 739 | 3,37 | NW |
| | Bajo Barrantes | 44 222 | 4,42 | NW |