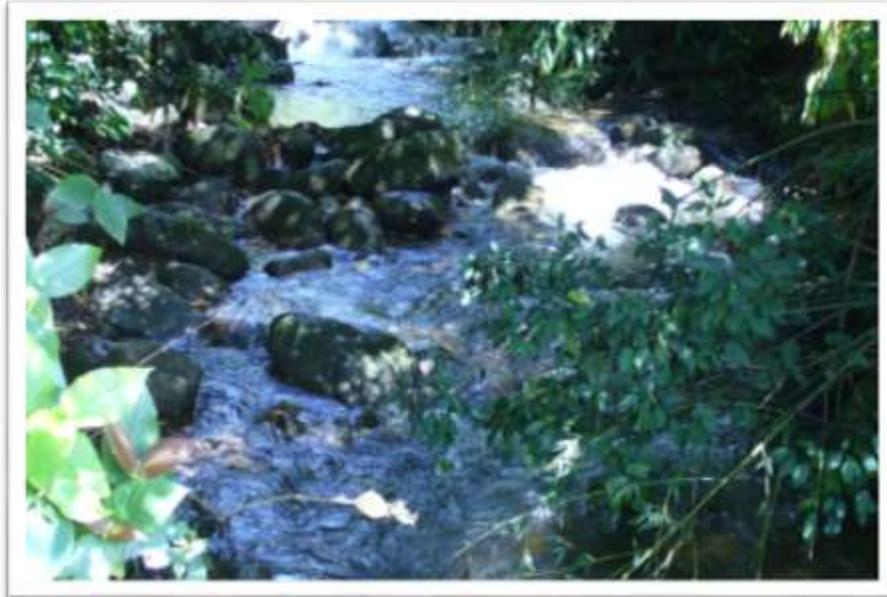


***SEGUNDA FASE
ESTUDIO DE VULNERABILIDAD
HIDROGEOLÓGICA DEL PLAN REGULADOR DEL
CANTÓN DE SAN ISIDRO DE HEREDIA.***



INFORME FINAL

**PRESENTADO POR:
MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO DE HEREDIA**



**ELABORADO POR:
ASOCIACION DE PROFESIONALES
LICITACION ABREVIADA NO. 2017LA-000010-01**

NOVIEMBRE, 2018

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACION

vi

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1	Generalidades del proyecto	1
1.2	Antecedentes del estudio	2
1.3	Objetivos del estudio	3
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos Específicos	4
1.4	Metodología	4
1.5	Ubicación y Alcances del Estudio	5

CAPITULO 2 GEOLOGIA

2.1	Geología Regional	9
2.1.1	Formación Zurquí	10
2.1.2	Formación Colima (Lavas Intracañón).	11
2.1.3	Formación Tiribí (Depósitos de Avalancha Ardiente).	13
2.1.4	Formación Colima (Lavas Intracañón).	14
2.1.5	Lahares	14
2.2	Geología Local	17
2.2.1	Unidad de lavas Zurquí	17
2.2.2	Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente	17
2.2.3	Unidad de Lahares Zurquí	18
2.2.4	Unidad coluvios Zurquí	18
2.2.5	Unidad de aluvión	19

CAPITULO 3 HIDROGEOLOGIA	22
3.1 Características hidráulicas de los suelos	22
3.1.1 Pruebas de infiltración	22
3.1.2 Análisis de suelos	27
3.2 Archivos de Pozos	28
3.3 Archivos de Nacientes	38
3.4 Información meteorológica	40
3.5 Hidrogeología Regional	44
3.6 Hidrogeología Local	45
3.6.1 Piezómetros realizados	46
3.7 Modelo Hidrogeológico conceptual	54
CAPITULO 4 RECARGA NETA POTENCIAL CANTONAL	64
4.1 Unidades litológicas	64
4.2 Capacidad de infiltración / cc, pm, densidad aparente	65
4.3 Climatología de la zona y evapotranspiración potencial	66
4.4 Balances hídricos de suelos	66
4.4.1 Balance Hídrico unidad de avalancha ardiente	67
4.4.2 Balance Hídrico unidad coluvial- lahares	68
4.4.3 Balance Hídrico unidad lava Zurquí	69
CAPITULO 5 VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA INTRINSECA	73
5.1 Metodología	73
5.2 Distancia al nivel freático	75
5.3 Grado de confinamiento hidráulico	78
5.4 Substrato litológico	80
5.5 Mapa de vulnerabilidad del acuífero.	82
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Mapa de ubicación de la zona de estudio	7
Figura N°2: Mapa de geología regional de la zona de estudio	16
Figura N°3: Perfil geológico transversal de la zona de estudio	20
Figura N°4: Mapa de geología local de la zona de estudio	21
Figura n 5: Mapa de ubicación de pruebas de infiltración y suelos	25
Figura N° 6: Mapa de ubicación de pozos	37
Figura N°7: Mapa de nacientes de la zona de estudio	39
Figura N°8: Mapa de ubicación de piezómetros	47
Figura N° 9: Perfil hidrogeológico A – B	55
Figura N°10: Perfil hidrogeológico C – C”	56
Figura N°11: Perfil hidrogeológico D - D”	57
Figura N°12: Perfil hidrogeológico E - E”	58
Figura N°13: Perfil hidrogeológico F – F ”	58
Figura N 14: Mapa de líneas de flujo	63
Figura N°15: Mapa de recarga neta potencial	72
Figura N°16: Mapa de distancia del nivel de agua	77
Figura N°17: Mapa de grado de confinamiento	79
Figura N°18: Mapa del sustrato litológico	81
Figura N°19: Mapa de vulnerabilidad	83

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°1: Síntesis de la volcanda – estratigrafía para la región de estudio. (Arredondo - Soto, 2006 - Echandí 1981)	10
Cuadro N°2: Pruebas de infiltración y muestreo de suelo realizados para la fase 2. (Vargas, 2018)	23
Cuadro N°3: Pruebas de infiltración y muestreo de suelo realizados para la fase I.	24
Cuadro N°4: Pruebas de infiltración agrupadas según las formaciones geológicas.	26
Cuadro N°5: Características de los suelos de las unidades establecidas	27
Cuadro N°6: Datos de pozos registrados. (SENARA, 2018)	29
Cuadro N°7: Litología de los pozos registrados en el cantón de San Isidro de Heredia	31
Cuadro N°8: Nacientes registradas en el cantón de San Isidro de Heredia	38
Cuadro N°9: Información meteorológica de la estación San Josecito	41
Cuadro N°10: Porcentaje de horas de sol mensual, latitud 10°norte (Calvo 1999)	43
Cuadro N°11: Valores de evapotranspiración potencial. (Método Blaney&Criddle (ONU, 1972, en Schosinsky, 2006	43
Cuadro N°12: Ubicación de los piezómetros realizados en Fase II	46
Cuadro N°13: Características de los suelos de la zona no saturada del cantón	53
Cuadro N°14: Datos utilizados en el balance hídrico	65
Cuadro N°15: Resultados de Balance Hídrico	70
Cuadro N°16: Clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos	75

ANEXOS

Anexo 1: Afloramientos del cantón	90
Anexo 2: Pruebas de infiltración	92
Anexo 3: Análisis de laboratorio	104
Anexo 4: Informes de perforación	106
Anexo 5: Datos del balance hídrico	102

PRESENTACIÓN

El presente Informe constituye el producto incluido dentro de los términos de la contratación entre la Municipalidad de San Isidro de Heredia y la ASOCIACION DE PROFESIONALES LICITACION ABREVIADA NO. 2017LA-000010-01, para la realización de la Fase II de los Estudios Hidrogeológicos para establecer la Vulnerabilidad Hidrogeológica del cantón de San Isidro de Heredia.

Este informe incluye toda la documentación requerida por SENARA para este tipo de estudios, tanto la información recopilada en la Fase I como los estudios complementarios de la Fase II.

Los insumos considerados para este informe incluyen:

- la información bibliográfica de Fase I.
- el análisis del Segundo Informe Parcial (Estudio Geológico).
- los resultados del Tercer Informe Parcial (perforaciones del estudio de suelos y las pruebas de infiltración)
- los análisis de recarga potencial, balance hídrico y cálculo de la vulnerabilidad hidrogeológica del Cuarto Informe Parcial.

El trabajo de campo se realizó acatando la metodología establecida por SENARA, tanto para la perforación de los pozos exploratorios como el análisis de laboratorio, para la zona saturada y la zona no saturada, y cumpliendo con la propuesta de perforación aprobada por SENARA (Oficio SENARA-DIGH-UI-0029-2018).

Las preparaciones del informe, las perforaciones y las pruebas de infiltración fueron dirigidas por la geóloga – hidrogeóloga Catalina Vargas Quesada, incorporada al Colegio de Geólogos de Costa Rica con el código 292. El trabajo de perforación estuvo a cargo del Ing. Civil Elier Navarro, carnet CFIA IC-15760.

El trabajo de campo de las pruebas de infiltración se realizó durante los meses de enero y febrero 2018 y las perforaciones del 12 al 28 de febrero del 2018.

El análisis de laboratorio de las pruebas de infiltración así como el análisis de las muestras de suelo fueron ejecutados por el Centro de Investigaciones de la Universidad de Costa Rica y el laboratorio de Geotecnia de la empresa Geotecnia y Construcción Ingenieros Consultores respectivamente. Ambos informes de laboratorio se incluyen como anexos de este estudio.

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

En cumplimiento del artículo 8 de la Ley Orgánica del Colegio de Geólogos sobre estudios hidrogeológicos la suscrita Catalina Vargas Quesada, cédula 110330838, Geóloga graduada de la Universidad de Costa Rica, incorporada al Colegio de Geólogos de Costa Rica código 292, con maestría en Hidrogeología es responsable del contenido del Estudio: **SEGUNDA FASE ESTUDIO DE VULNERABILIDAD HIDROGEOLÓGICA DEL PLAN REGULADOR DEL CANTÓN DE SAN ISIDRO DE HEREDIA**, realizado a petición de la Municipalidad de San Isidro de Heredia, cédula Jurídica: 3-014-042093, para su respectivo trámite ante la Secretaría Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA), del cual forma parte el Informe Final que contiene todos los estudios requeridos por SENARA para obtener el mapa de vulnerabilidad hidrogeológica y sus efectos sobre la zonificación del Plan Regulador Urbano del cantón de San Isidro de Heredia.

MsC. Catalina Vargas Quesada
CGCR N° 292
Cédula: 110330838

CAPITULO 1 INTRODUCCION

El capítulo describe aspectos generales del marco legal y técnico que sustenta este tipo de estudio. Asimismo, contiene la información cantonal base para la elaboración del diagnóstico hidrogeológico.

La información se presenta tabulada en cuadros y posteriormente representada en mapas, utilizando como referencia el sistema coordinado Transversal de Mercator (CRTM-05) y la base topográfica de la hoja Barva editada por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50 000.

1.1 Generalidades del proyecto

Como resultado de un recurso planteado anta la Sala Constitucional, este Tribunal emitió la Resolución No. 2008-12109, del 5 de agosto del 2008, en la cual gira la orden en los alcaldes de varios cantones de la Provincia de Heredia (entre los cuales se encuentra San Isidro de Heredia), de contratar los profesionales necesarios “para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad hidrogeológica recomendados por el SENARA en su informe denominado **“Recarga Potencial del Acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica”**, los cuales deberán ser incluidos en la normativa urbanística de sus jurisdicciones.

En el caso de la Municipalidad de San Isidro de Heredia, este estudio ha sido considerado parte de la labor de ordenamiento territorial del Cantón, que incluye la elaboración de los Índices de Fragilidad Ambiental (IFAS) y la actualización del Plan Regulador Urbano, considerando los resultados del presente estudio.

Inicialmente, la Municipalidad de San Isidro de Heredia presentó ante SENARA el informe correspondiente a la **Fase I** incluido en la **Metodología General para la Elaboración de los Estudios Hidrológicos para los Planes Reguladores**, establecida por SENARA mediante la publicación en la Gaceta 137 del Jueves 16/07/2015, diseñada para determinar la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del recurso Hidrogeológico a nivel cantonal. El informe de Fase I, elaborado por la Geol. Tatiana Carmona Madrigal, fue aprobado por SENARA mediante oficio SENARA – DIGH- UI- 0154- 2017 del 07 de Junio del 2017.

Como resultado de estos esfuerzos, la Municipalidad de San Isidro de Heredia contrató los servicios de un grupo de profesionales, con capacidad y experiencia para ejecutar los estudios técnicos solicitados por el SENARA en la Fase II, bajo la responsabilidad profesional de la Hidrogeóloga. Catalina Vargas Quesada.

1.2 Antecedentes del estudio

Este apartado contiene un registro cronológico de las principales actividades relacionadas con el estudio previo a la presentación de este informe.

Fecha	Actividades realizadas
2010	La Municipalidad de San Isidro de Heredia contrato los servicios profesionales de la Empresa Deppat S.A, para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hidrogeológicos del cantón. Este informe fue presentado en noviembre del 2010
2014	SENARA remitió una serie de correcciones del informe a la Municipalidad basados en la nueva metodología publicada por la institución. Dicha resolución originó la elaboración del presente informe

Fecha	Actividades realizadas
Julio del 2015	<p>SENARA publica en el diario oficial La Gaceta la nueva metodología para la elaboración de los Estudios De Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del Recurso Hidrogeológico Cantonal.</p> <p>Esta metodología divide el proceso en dos fases: La Fase I consiste en la recopilación de la información bibliográfica disponible y la determinación de los estudios de campo requeridos para la Fase II.</p>
Meses finales del año 2016 y principios del año 2017	<p>La Municipalidad de San Isidro presento ante SENARA los estudios de la Fase I, elaborados por la Geol. Tatiana Carmona Madrigal, aprobados por SENARA mediante oficio SENARA – DIGH- UI- 0154-2017 del 07 de Junio del 2017. Este oficio incluye los alcances y requisitos para los estudios de la Fase II.</p>

1.3 Objetivos del estudio

El estudio tiene como propósito integrar la variable hidrogeológica en el proceso de modificación del Plan Regulador Urbano, por lo tanto; los objetivos propuestos son:

1.3.1 Objetivo general

Cumplir con los requisitos técnicos establecidos por SENARA para la Fase II del Estudio de Vulnerabilidad Hidrogeológica del Cantón de San Isidro de Heredia.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Revisar y actualizar la información hidrogeológica recopilada en Fase I.
2. Realizar los estudios de campo para completar la información en las áreas deficitarias identificadas en Fase I.

3. Caracterizar la hidrogeología del cantón de San Isidro de Heredia, para obtener un mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero de la zona.
4. Elaborar el modelo hidrogeológico conceptual del cantón de San Isidro de Heredia, incluyendo la caracterización del acuífero y perfiles hidrogeológicos.
5. Elaborar los mapas de zonificación hidrogeológica, vulnerabilidad, zonas de recarga y zonas de protección.
6. Derivar las afectaciones y modificaciones al Plan Regulador, como producto de los usos recomendados para la protección del acuífero.
7. Definir las propuestas de manejo de uso del suelo en relación a: recarga, vulnerabilidad, zonas de protección.

1.4 Metodología

El estudio se realizó siguiendo la metodología establecida por SENARA, que incluye la recopilación de informes y la ejecución de estudios técnicos. Los temas contenidos en el estudio son: la geología, las pendientes, perfiles hidrogeológicos, conductividad hidráulica, porosidad, grado de humedad y otros.

Con estos datos, se determina si el acuífero es libre o confinado, si los ríos son influentes o efluentes y la susceptibilidad de contaminación del acuífero. Con estos datos, se elabora el mapa de vulnerabilidad y la matriz de criterio de usos del suelo, como resultado final.

Entre las labores realizadas se encuentran:

1. Giras de campo
 - Corroboración de la geología local del cantón
 - Toma de muestras de suelo para caracterizar la zona no saturada
 - Realización de pruebas de infiltración
2. Recopilación bibliográfica

3. Actualización de la información recopilada en Fase I.
4. Análisis de laboratorio de las muestras de suelos.
5. Elaboración de los mapas temáticos: geología, hidrogeología, etc.
6. Elaboración de perfiles hidrogeológicos, modelo hidrogeológico conceptual.
7. Aplicación del método GOD para el cálculo de vulnerabilidad hidrogeológica.
8. Elaboración de mapas de vulnerabilidad.
9. Análisis integral de la información recopilada.
10. Preparación de los mapas y reportes escritos, incluyendo recomendaciones técnicas aplicables al plan regulador urbano.

1.5 Ubicación y Alcances del Estudio

San Isidro es el cantón número 6 de la provincia de Heredia su área es de 26,423 km². Administrativamente se subdivide en cuatro distritos: San Isidro, San Josecito, Concepción y San Francisco, los cuales se ubican en las coordenadas planas de la proyección Transversal de Mercator (CRTM-05) 491000E/1106000N y 499000E/1113000N, hoja topográfica Barva del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (Figura N^o1).

Entre los rasgos más representativos del cantón tenemos:

- ✓ El sistema fluvial que divide el cantón en 2 micro cuencas, Pará hacia el este y Tibás hacia el oeste.

- ✓ El clima, el cual se ve influenciado por la depresión topográfica La Palma, ubicada hacia el NE del cantón. Constituye la principal entrada de vientos alisios y precipitaciones hacia el Valle Central Occidental, esto genera un microclima en las partes altas, confiriendo un carácter muy lluvioso a la zona (Herrera, 1985).

- ✓ Los cerros ubicados hacia el norte (Complejo Volcánico Zurquí) que constituyen el límite meridional del Parque Nacional Braulio Carrillo.

- ✓ La zona de conservación amparada por la ley número 65, conocida como Zona Inalienable de 1888 ubicada en la cima de los cerros Zurquí.

- ✓ Con respecto a la distribución del recurso hídrico para abastecimiento la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) es el ente de mayor cobertura y mayor cantidad de abonados (5789 abonados), seguido por la Asociación Acueducto Rural Puente Tierra de Concepción de San Isidro de Heredia (320 abonados) y la Asociación administradora del acueducto y alcantarillado del Residencial Zurquí de San Josecito de San Isidro de Heredia (250 abonados).

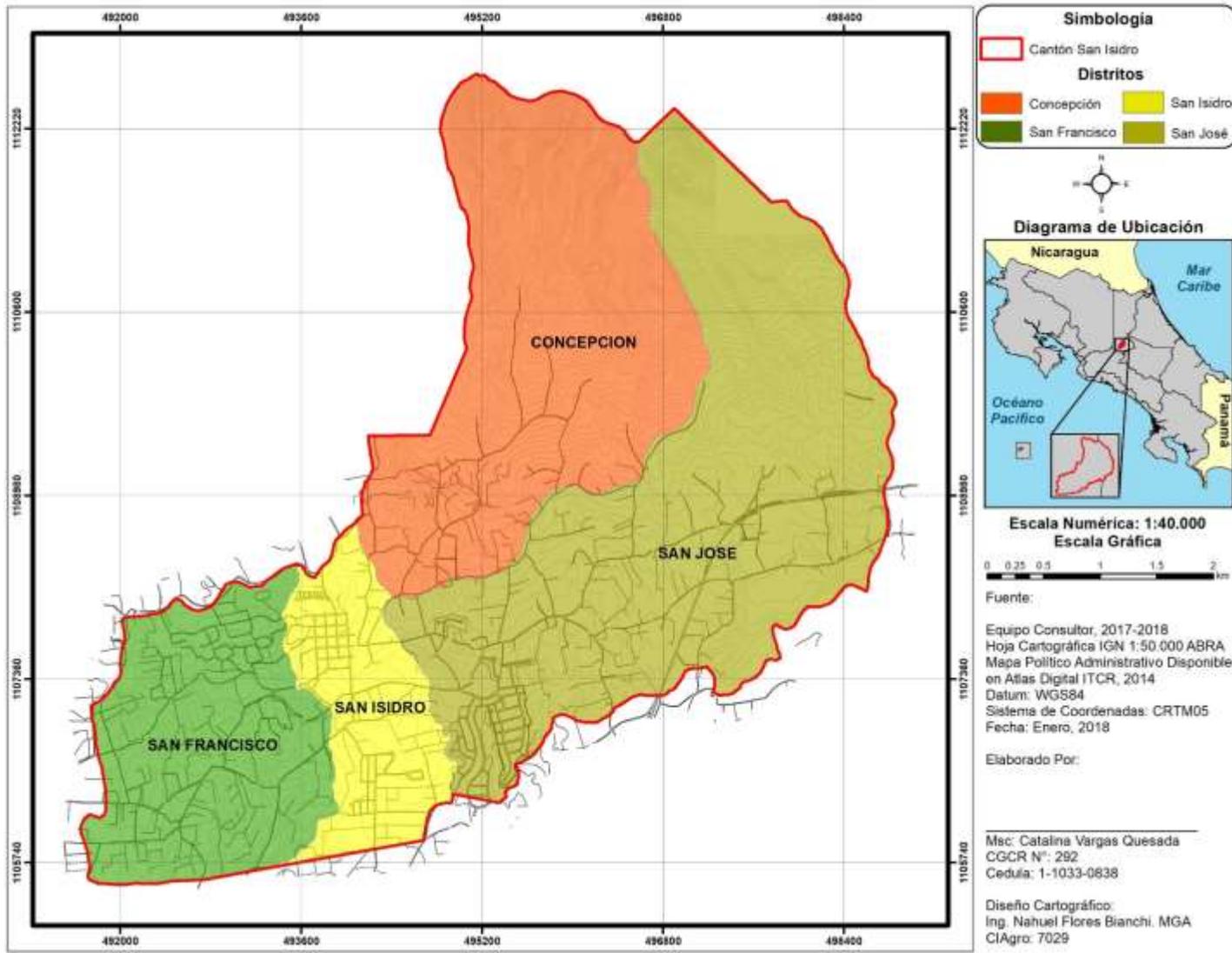


Figura N°1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

CAPITULO 2

GEOLOGIA

Entre los principales autores de carácter regional que han reconocido la geología e hidrogeología en la que se encuentra enmarcada el cantón de San Isidro de Heredia encontramos a Fernández (1968), quien realiza un levantamiento de los principales manantiales del norte del Valle Central, diferenciando los depósitos geológicos en los que estos se originan de acuerdo a sus características hidráulicas y su potencial acuífero. Por otra parte, Echandi (1981) describe formalmente estos depósitos, su funcionamiento y potencial como unidades acuíferas. En la misma década en el marco cooperación BGS-SENARA (1985) generan el Mapa Hidrogeológico del Valle Central que promueve inicialmente el reconocimiento de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos del área norte del Valle Central incluido el cantón de San Isidro de Heredia.

A escala local se registran estudios Hidrogeológicos realizados por estudiantes de la Universidad de Costa Rica. Como Castro (1999) quien caracteriza la hidrogeología para definir el manejo de los recursos hídricos en la micro cuenca del río Lajas afluente del río Tibás. Ramos (2001) analiza la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos subyacentes en una parte de la micro cuenca río Pará utilizando el método DRASTIC y por último Vargas (2006) trabaja en la microcuenca del río Pará, donde realiza una evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico para el cantón de Santo Domingo de Heredia.

De acuerdo a la síntesis realizada con la información geológica de la región se reconoce formalmente las siguientes unidades geológicas en el cantón de San Isidro de Heredia.

2.1 Geología Regional

La zona de estudio se ubica en la Cordillera Volcánica Central, propiamente en las faldas de los cerros Zurquí. Según la volcanoestratigrafía (Cuadro N°1) los paquetes lávicos producto de la actividad volcánica de esta región transcurren en un período de 0,750 Ma. en donde transcurren importantes eventos ignimbríticos y períodos prolongados de calma volcánica.

Esta historia eruptiva puede ser diferenciada en 2 etapas denominadas:

- ✓ Fase de Paleo-Cordillera (0,570 – 0,400 Ma.), conformada por: la ignimbrita interlávica Puente de Mulas, el miembro superior de la formación Colima, y la ignimbrita Tiribí.

- ✓ La actual cordillera (Neo-Cordillera) inicia su desarrollo a partir de 0,270 Ma., y corresponde con todos los depósitos posteriores a la formación Tiribí incluidos dentro de la formación Barva (Alvarado & Gans, 2012).

A continuación, se describen las unidades geológicas reconocidas formalmente para la zona de estudio de acuerdo a la síntesis volcanoestratigráfica mostrada en el Cuadro N°1. (Figura N°2)

**Cuadro N°1: Síntesis de la volcanda – estratigrafía para le región de estudio.
(Arredondo - Soto, 2006 - Echandí 1981)**

Edad Ma	Volcano estratigrafía	Origen	Composición	
0.27-0	Neocordillera	Barva Superior (Miembro Los Ángeles y Bambinos)	Originada en el macizo del Barva	Lavas ande siticas a ande sitico basálticas
		Miembro Porrosatí y Carbonal		Arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas
		Barva Inferior (Miembro Bermudez)		Lavas ande siticas fracturadas
0.32	Paleocordillera	Ignimbritas Tiribí	Originada en la caldera del Barva	Depósitos de nube ardiente (flujos de ceniza, pómez, lapilli y bloques)
0.33		Colima Superior	Vulcanismo Distal / media de la Paleocordillera Origen Fisural	Capas lávicas de composición ande sitica de estructura brechosa o masiva fracturada separados por una capa de toba meteorizada
0.5-0.43		Ignimbritas Puente de Mulas	Se desconoce su origen	Tobas e ignimbritas con estructuras columnares
0.75 – 0.59		Colima Inferior	Vulcanismo distal / media de la Paleocordillera. Origen Fisural	Coladas de lava ande siticas, separadas por mantos de toba lítica.

2.1.1 Formación Zurquí

El edificio volcánico Zurquí se encuentra ubicado en el sector noreste del Valle Central, es característico su alto grado de erosión por lo que prácticamente éste ha desaparecido, Protti (1986) considera a esta estructura como anterior a los volcanes Poas y Barva.

Las rocas son de composición ande sitica, ande sitica basáltica y basáltica, con textura porfirítica (Alvarado, 1989). Las coladas presentan un espesor regular,

entre los 2 a los 12 m. Según (Protti, 1986) en algunos sitios se encuentran estos flujos superpuestos entre sí, separados por brechas y piroclastos.

Rodríguez (1980) lo denomina Complejo Volcánico Zurquí y lo describe como una serie de productos volcánicos entre los que se encuentran coladas de lava, cenizas, tobas e ignimbritas. Alvarado y Gans (2012) lo asocian a crecimiento de nuevos focos efusivos (Paleo-Barva) post-Puente de Mulas y pre Tiribí.

2.1.2 Formación Colima (Lavas Intracañón).

Es importante indicar que la formación Lavas Intracañón (Colima) no aflora en el cantón de San Isidro, pero de acuerdo a la volcano estratigrafía y a su relevancia en el contexto geológico de la zona es incluida en esta descripción. Fernández (1969) indica que cronológicamente son las primeras lavas provenientes de la Cordillera Central las cuales se extendieron por los fondos topográficos existentes.

Williams (1952) las denominó Lavas Intracañón, Fernández (1969) las redefine bajo el nombre de formación Colima. Así se denominan a las lavas emitidas por los volcanes Barba y Poas, su dirección preferencial de flujo es NE-SW hasta E-W, paralelas al frente de cordillera (Arredondo & Soto, 2006). Fernández (1969) indica que cronológicamente son las primeras lavas provenientes de la Cordillera Central las cuales se extendieron por los fondos topográficos existentes.

Echandi (1981) indica que representan el inicio de una nueva fase de vulcanismo de la Cordillera Central, y su extensión se presenta en forma de mantos en todo el Valle Central. En su mayoría se encuentran aflorando en los cauces profundos de los ríos Tibás, Virilla y Cordillera Central, y su extensión es en forma de mantos en todo el Valle Central. En su mayoría se encuentran aflorando en los cauces profundos de los ríos Tibás, Virilla y Torres (Williams, 1952).

Presentan lentes y capas de ceniza, aunque su principal interrupción es un manto de ignimbritas (Puente de Mulas) de espesor considerable. Por sus características hidrogeológicas Echandi (1981) las subdivide en tres miembros:

2.1.2.1 Lavas Inferiores (Miembro Belén)

Se describen como las lavas más antiguas que se depositaron sobre depósitos sedimentarios terciarios. Con una edad Plio-Pleistocénica. Se clasifican como lavas ande siticas piroxénicas en algunas secciones transicionales a basalto. Se encuentran separadas por capas y lentes de tobas y cenizas en algunos sitios arcillificadas. Su espesor es variable a través del Valle Central.

2.1.2.2 Lavas Intermedio (Miembro Ignimbritas Puente de Mulas)

Corresponde con una ignimbrita de color gris oscuro a café, compuesta por abundantes fragmentos de lapilli, vidrio colapsado y fragmentos mayores de escorias negras en una matriz tobácea soldada y en algunas partes algo meteorizada.

2.1.2.3 Miembro Ignimbritas Puente de Mulas

Corresponde con una ignimbrita de color gris oscuro a café, compuesta por abundantes fragmentos de lapilli, vidrio colapsado y fragmentos mayores de escorias negras en una matriz tobácea soldada y en algunas partes algo meteorizada. Su estructura columnar es bien desarrollada. Al parecer esta ignimbrita se derramó siguiendo cierto encauzamiento, donde muestra mejor sus características. Hacia sus extremos la avalancha depositó fragmentos líticos de todo tamaño, lapilli y cenizas negras vidriosas.

2.2.2.4 Lavas Superiores (Miembro Linda Vista)

Corresponde con las lavas que se depositaron sobre el miembro Puente de Mulas como el miembro Linda Vista antes de los depósitos de tobas de la formación Tiribí. Las coladas más superficiales tienden a ser brechosa y se tornan densas hacia la base. Su composición es ande sitico basáltica, porfirítica con augita y

olivino. Se extiende ampliamente hacia el este del Valle Central y sus afloramientos se observan en los cauces de los ríos Virilla y Tibás (Echandi, 1981).

2.1.3 Formación Tiribí (Depósitos de Avalancha Ardiente).

Posterior a los depósitos lávicos de la formación de Lavas Intracañón con tiempo suficiente para generar desarrollo de suelos, el Valle Central experimentó una actividad bastante intensa con el depósito de materiales piroclásticos, avalanchas ardientes y otros flujos de fragmentos (Echandi, 1981).

Fernández, (1969) reconoce que por su naturaleza presenta un carácter fragmentario con una variación litológica extrema en poca distancia. Basado en lo anterior las subdivide en dos miembros; miembro La Caja y miembro Nuestro Amo. En el primer caso, quedan incluidos todos aquellos depósitos de ignimbritas poco soldadas o poco compactas, de carácter masivo, matriz ceniciento-arenosa, rica en componentes porosos. El miembro Nuestro Amo diferencia las masas de avalanchas frías o tobas Caóticas, se caracteriza por ser una toba con fragmentos (lavas, escorias negras) de tamaño variado, incluidos en una matriz tufácea, lapillica, densa y masiva.

Se extienden por todo el Valle Central, (Fernández, 1969, Williams, 1950) sugieren que estos depósitos se expandieron entre 160 – 200 Km², con espesores variables, entre 6 a 100 metros. Pérez (2000) establece la posibilidad que el origen de esta secuencia sea en una caldera en la cima del volcán Barba.

2.1.4 Formación Colima (Lavas Intracañón).

Con este nombre se reconoce a los materiales pertenecientes a las últimas actividades lávicas provenientes del macizo del Barva, llamados por Williams (1952) como lavas postavalancha. Se extienden hacia el sur y suroeste, hasta alcanzar los cerros Turrúcares y el valle del río Grande.

Petrográficamente William (1952) clasifica las lavas hacia el suroeste del Valle Central (Ciruelas, Cebadilla, La Guácima, Turrúcares) como ande siticas, mientras que las que se encuentran localizadas al norte y al este del Valle (Barva, Los Ángeles y San Rafael) son clasificadas como de composición basáltica o basáltica ande sitica, con piroxenos y olivino.

Echandi (1981) indica que los centros de emisión de estas coladas a parte del macizo Barva se localizan hacia el sureste del cráter principal. Su distribución geográfica se extiende desde San Isidro de Heredia (este) hasta la ciudad de Alajuela (oeste)

2.1.5 Lahares

Son flujos de arcilla, limos y arenas con una distribución caótica, provenientes de las laderas del Norte y Este (faldas del cerro Zurquí). Estos depósitos hacia el oeste y noroeste del Valle Central presentan un predominio de fragmentos ande sitico, por el contrario, hacia el este los fragmentos son polimícticos, con la presencia de alteración hidrotermal en sus componentes. Su espesor puede variar de unos pocos metros hasta 75 metros (Echandi, 1980). Estos flujos presentan varios períodos de ocurrencia, que por lo general no son contemporáneos. Los afloramientos de esta unidad hacia el noreste se encuentran limitados inferiormente por un substrato de ignimbritasarcillificadas y mantos antiguos de cenizas, hacia su parte superior (Fernández, 1969). Según Hidalgo et., al (2004) la edad de estos depósitos se sitúa entre 150 ka - 250 ka (Pleistoceno Medio)

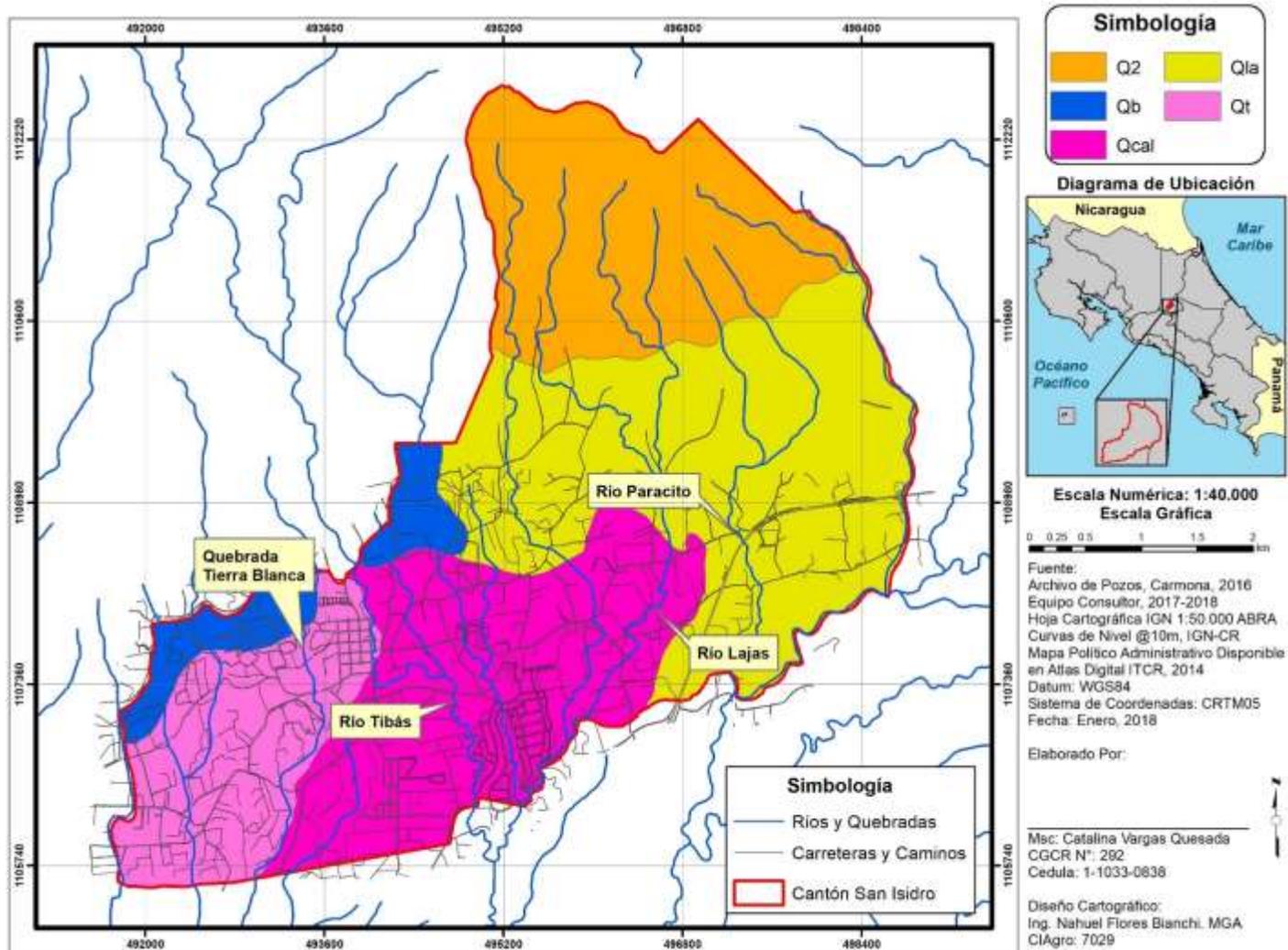


Figura N°2: Mapa de geología regional de la zona de estudio

2.2 Geología Local

En este apartado se describen unidades litológicas informales producto de un levantamiento geológico local hecho en el cantón de San Isidro de Heredia (Carmona, 2016). En su mayoría corresponde con depósitos volcánicos asociados a una actividad efusiva proveniente del paleo-Barva. El proceso de meteorización que ha afectado los cerros ha provocado un desarrollo de suelo y coluvio con espesores de hasta 10 m, los cuales cubren y se interdigitan con las diversas unidades litológicas (Figura N°3).

2.2.1 Unidad de lavas Zurquí

Se reconocen en esta unidad aquellos flujos lávicos provenientes del antiguo macizo volcánico Zurquí. En descripciones de pozo se refieren a esta unidad como fragmentos de lava de composición andesítica basáltica muy meteorizada, donde los clastos se encuentran inmersos en matrices de textura generalmente arcillosa hasta arenosa. Su grado de fracturación junto con el desarrollo de suelo le confiere un grado de permeabilidad regular a esta unidad.

2.2.2 Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente

Se distribuye hacia el SW del cantón, aflorando en las quebradas Tierra Blanca y río Tures. Es una toba color café grisácea oscura, de matriz cinerítica la cual contiene fragmentos piroclásticos como escoria, líticos, y pómez, no soldada pero muy compacta. En su nivel superior presenta un alto contenido de arcilla, volviéndose más sana hacia su base. Los espesores máximos visibles en afloramiento van desde los 1,5 a 3,0 metros. La distribución del depósito parece haber rellenado antigua paleo topografía, los espesores máximos son de 30 a 40 metros.

Es subyacente por la Formación Colima, donde su contacto lo constituye un horizonte de pómez color blanco grisáceo, deleznable, constituido por fragmentos pumíceos unidos por material de la misma composición.

En algunas perforaciones esta unidad se encuentra cubierta por un suelo arcillo-limoso de coloración café. Las perforaciones realizadas hacia el NE del cantón indican que la unidad se encuentra sobre depósitos de lahar y coluvio. Su origen se asocia a la formación de una caldera en la cima del volcán Barva (Pérez, 2000).

2.2.3 Unidad de Lahares Zurquí

Comprende todos los depósitos de ubicados en las márgenes del cerro Zurquí que han sufrido procesos de erosión y meteorización.

Según la información de pozos comprende gravas y bloques lávicos de composición generalmente ande sitica a ande sitica basáltica inmersos en una matriz limo-areno arcillosa. Se encuentran cubiertos generalmente por suelos de entre 1 y 3 metros de espesor con presencia de bloques ocasionales (0,5 a 2 m). Estos depósitos son producto de la alteración del macizo volcánico Zurquí y su posterior transporte por acción de la gravedad.

Por otra parte, la distribución de los Lahares puede ser reconocida por la geomorfología, es posible que al momento del emplazamiento estos depósitos rellenaran depresiones topográficas preexistentes. Presentan tamaños de grano variable, con secciones de arenas, gravas, cantos y bloques de lava inmersos en una matriz generalmente arcillosa hasta arenosa de coloración café amarillento.

2.2.4 Unidad coluvios Zurquí

Es posible que se encuentren inter digitados con los depósitos de pie de monte del macizo Zurquí los cuales se han formado por procesos de remoción de las laderas. Ambos depósitos la unidad de Lahares como la unidad de coluvios presentan características texturales y granulométricas muy semejantes. Corresponden con fragmentos de lava principalmente ande sitica de tamaño de grano variable (arenas, gravas, cantos y bloques) inmersos en una matriz por lo general arcillosa hasta arenosa.

Se encuentran aflorando en cortes de carretera, los bloques máximos visibles alcanzan los 5 metros de diámetro, flotando en suelos arcillosos hasta cenicientos.

2.2.5 Unidad de aluvi3n

Aflora en el cauce del r3o Tib3s cerca del centro cantonal en su cruce con la ruta 112 y en el poblado de Santa Cruz 200 NE Colegio Vilaseca.

Corresponde con bloques redondeados a semi-redondeados inmersos en una matriz generalmente arenosa. Los clastos muestran contacto puntual en un 60% con respecto a la matriz. Los afloramientos no superan los 2 metros de espesor visible y por lo general se encuentran cubiertos por capas de suelos cenicientos.

Como se determina en los pozos perforados del cant3n y en los piez3metros realizados se establece que las unidades volc3nicas se encuentran los limos arcillosos (MH) en la mayor parte del cant3n, hacia las partes m3s bajas se encuentran intercalaciones de lavas y tobas donde los espesores var3an de 5 hasta 30 metros.

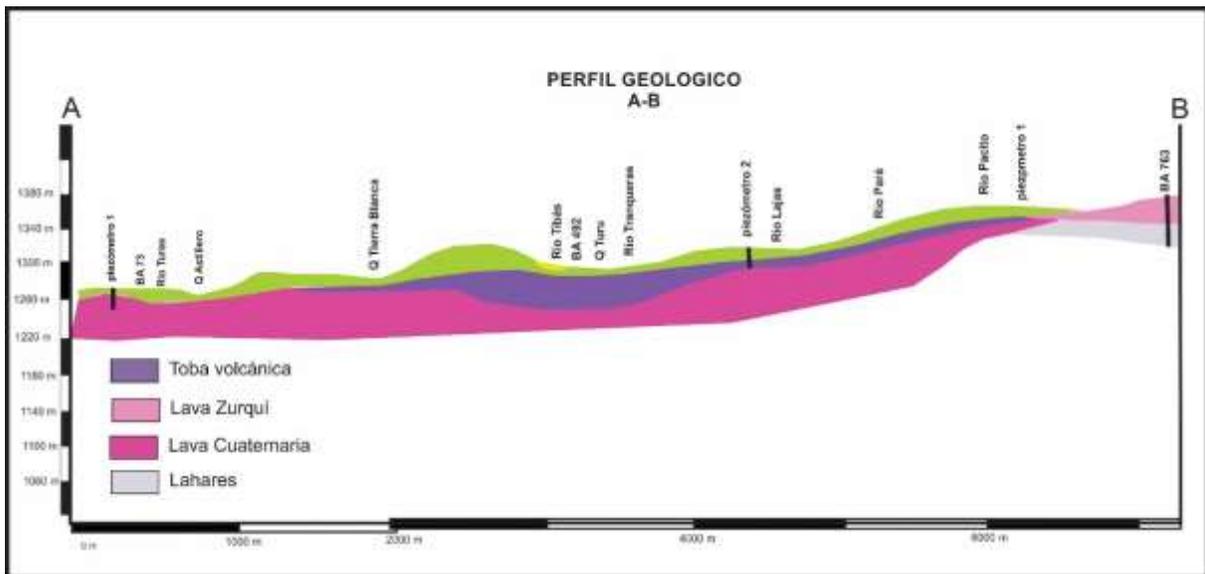


Figura N3: Perfil geol3gico transversal de la zona de estudio

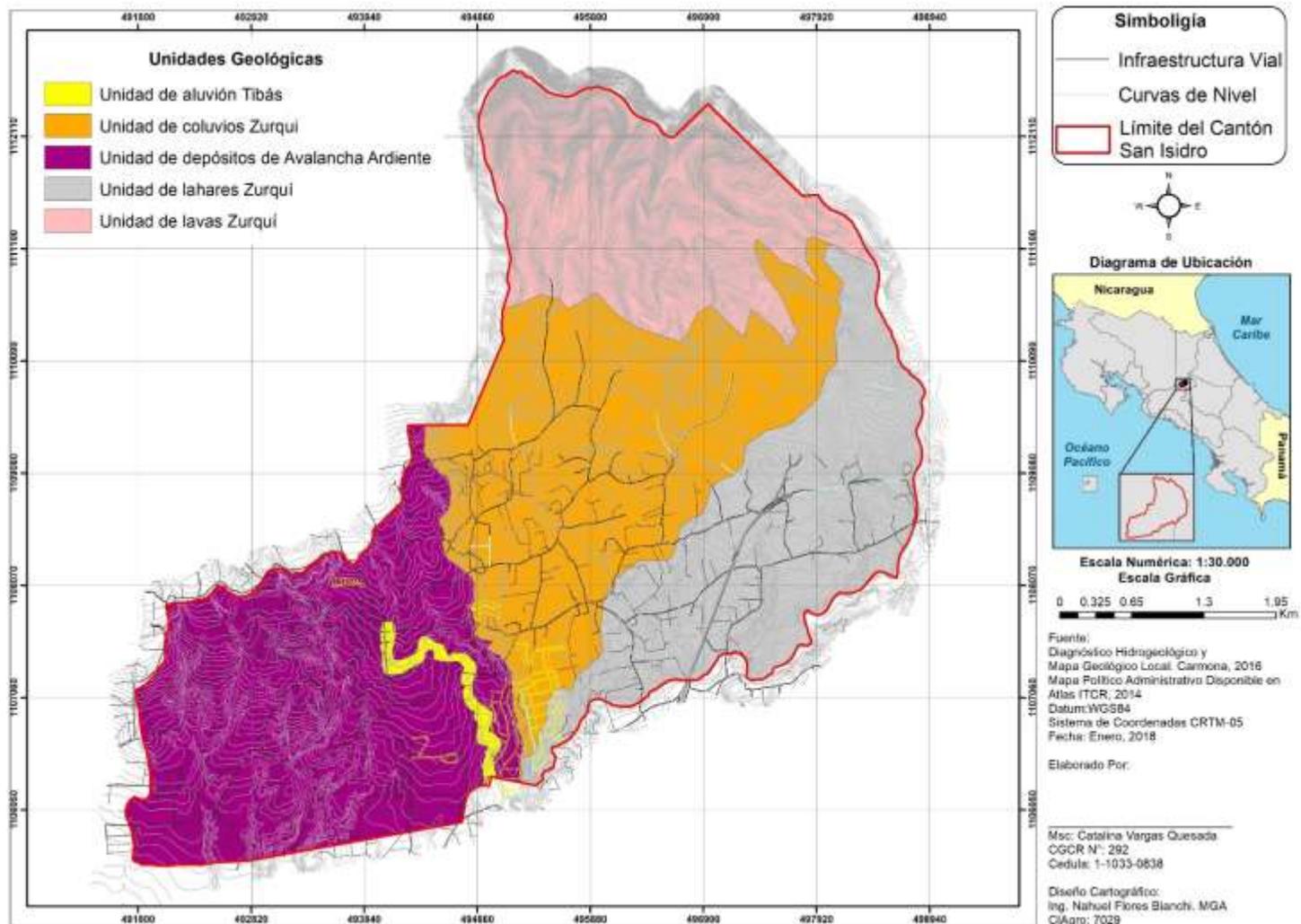


Figura N°4: Mapa de geología local de la zona de estudio

CAPITULO 3 HIDROGEOLOGIA

Para caracterizar hidrogeológicamente el cantón se procedió a recopilar las pruebas de suelos y de infiltración realizadas en la FASE 1, e incorpora los resultados de las pruebas de suelos e infiltración de la FASE 2. Esta caracterización hidrogeológica cantonal, incluye tanto la información bibliográfica de la Fase I como los resultados de los estudios de la Fase II.

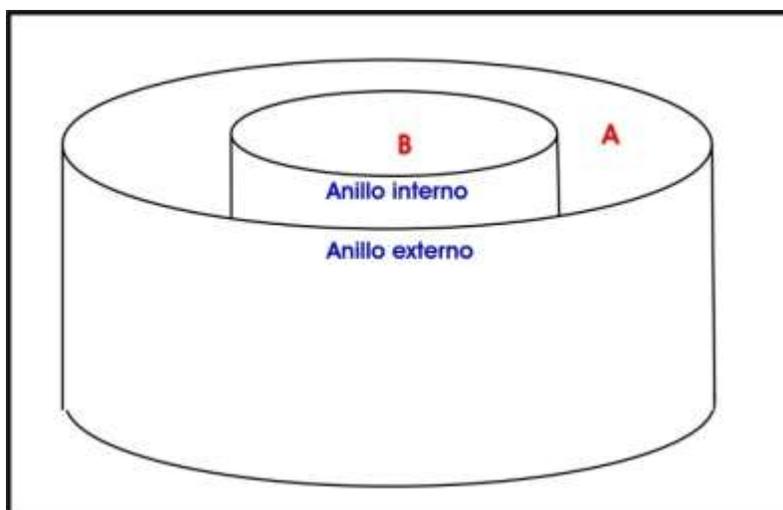
3.1 Características hidráulicas de los suelos

Para la elaboración de este apartado se tomó como base el estudio los resultados de la Fase I. Para la valoración de la zona no saturada del cantón de San Isidro de Heredia se determinan los siguientes parámetros:

3.1.1 Pruebas de infiltración

Consiste en colocar dos anillos de diferente diámetro, se coloca el anillo pequeño y después el más grande, de manera equidistante, se coloca un indicador en el centro del anillo B (clavo o varilla metálica), se inunda el espacio A, allí siempre debe mantenerse con agua, y lograr una columna constante en la parte B.

Se hacen mediciones en B, hasta que el nivel del agua llegue a la punta del indicador. Se agrega un volumen de agua conocido y se mide el tiempo. La infiltración es constante y se agrega n veces un volumen conocido de agua. Los resultados de las pruebas de infiltración y los análisis de laboratorio se presentan en el Anexo 1.



Esquema de la Metodología de la Prueba

En ésta fase se establecieron 10 puntos para la elaboración de las pruebas, tomando en cuenta la información obtenida de la fase 1. Los puntos se muestran en el Cuadro N°2 y la Figura N°5.

Cuadro N°2: Pruebas de infiltración y muestreo de suelo realizados para la fase 2. (Vargas, 2018)

FASE 2	COORDENADAS		Conductividad hidráulica m/día *	Capacidad de campo % *	Punto de marchitez % *	Densidad aparente g / cm ³ *
F1	224340	535251	0.077	69	60	0,7
F2	225361	534672	0.24	46	35	0,9
F3	224461	533475	0.025	49	45	0,9
F4	224095	532857	0.18	47	33	0,7
F5	224372	532000	0.08	67	59	0,8
F6	225271	532157	0.24	51	42	0,6
F7	220343	529097	0.2	52	46	1,2
F8	221524	528234	0.11	47	40	0,8
F9	222425	528612	0.16	44	41	1,1
F10	220927	530508	0.12	46	38	1

*Centro de investigaciones agronómicas de la Universidad de Costa Rica, 2018

Para zonificar el cantón se tomó también la información de las pruebas de conductividad de la fase 1, la cual se muestran en el Cuadro N°3

Cuadro N°3: Pruebas de infiltración y muestreo de suelo realizados para la Fase I. (Carmona, 2016)

	COORDENADAS		% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	TEXTURA	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ	POROSIDAD %	DENSIDAD APARENTE g/ cm3
S-1	497292	1110223	52	26	22	Franco arcilloso arenoso	28,81	17,56	48,88	1,14
S-2	497186	1110490	52	28	20	Franco arcilloso arenoso	23,09	16,14	48,44	1,16
S-3	494122	1106510	46	28	26	Franco arcilloso arenoso	37,46	21,33	48,69	0,98
S-4	497458	1108625	34	32	34	F. arcilloso	38,04	22,09	46,56	1,01
S-5	495442	1107622	32	32	36	F. arcilloso	37,85	21,97	49,48	0,97
S-6	492682	1106448	32	32	36	F. arcilloso	35,69	21,45	47,98	1,03
S-7	494188	1108875	44	32	24	Franco	32,88	20,35	47,78	1,06
S-8	495362	1109605	30	24	46	Arcilla	40,65	22,87	47,59	0,98
S-9	495759	1109081	32	24	44	Arcilla	41,39	22,74	47,76	1,05
S-10	495679	1111395	54	12	34	Franco arcilloso arenoso	34,72	21,39	49,48	0,98
S-11	495052	1106437	30	34	36	Franco arcilloso arenoso	37,44	22,08	48,73	1,01
S-12	499215	1108291	32	34	34	Franco arcilloso arenoso	39,21	21,75	48,58	1,09
S-13	496095	1105229	28	20	52	Arcilla	42,96	21,89	49,33	1,14
S-14	493422	1107498	30	34	36	Franco arcilloso arenoso	31,53	20,01	53,03	0,93

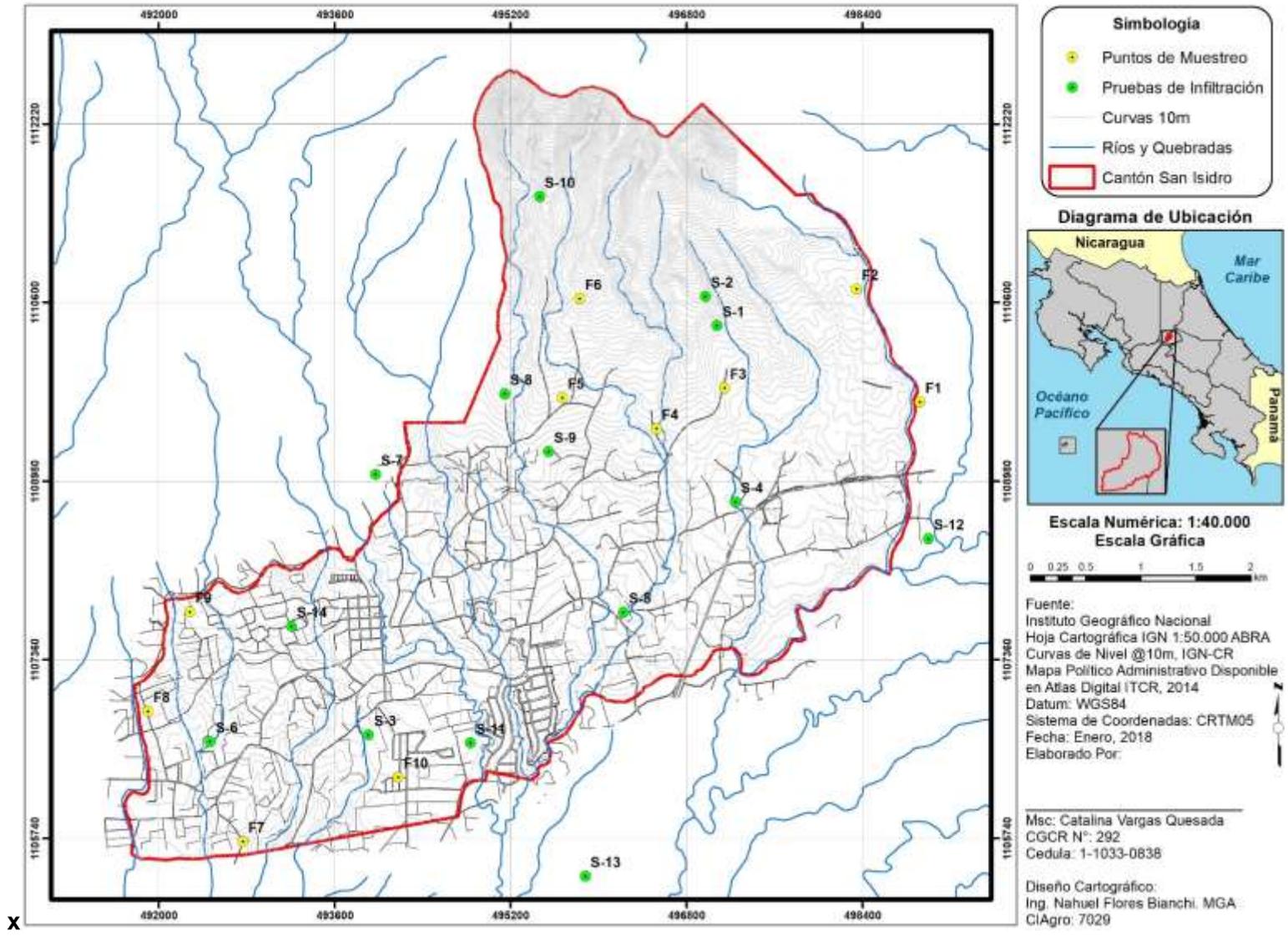


Figura N°5: Mapa de ubicación de las pruebas de infiltración y suelos Fase 1 y Fase 2

De las pruebas de infiltración realizadas se agruparon según las unidades geológicas definidas y se tienen los siguientes datos:

**Cuadro N°4: Pruebas de infiltración agrupadas según las formaciones geológicas.
(Carmona 2016, Vargas 2018)**

				Capacidad de infiltración m/día	
FASE I	Carmona	N	1	0,84	Avalancha Ardiente
	Carmona	N	2	0,21	Lavas Zurquí
	Carmona	N	3	3,76	Avalancha Ardiente
	Carmona	N	4	3,39	Lahares
	Carmona	N	5	0,52	Lahares
	Carmona	N	6	3,08	Avalancha Ardiente
	Carmona	N	7	4,56	Avalancha Ardiente
	Carmona	N	8	5,43	Fuera del área
	Carmona	N	9	1,54	Coluvios
	Carmona	N	10	3,01	Avalancha Ardiente
	Carmona	N	11	7,69	Lahares
	Carmona	N	12	0,95	Coluvios
	Carmona	N	13	3,23	Avalancha Ardiente
	Gonzales	N	1	4,39	Avalancha Ardiente
	Gonzales	N	2	0,74	Fuera del área
	Gonzales	N	3	7,22	Fuera del área
	Gonzales	N	4	3,27	Fuera del área
	Ramos	N	1	6,15	Coluvios
	Ramos	N	2	4,4	Fuera del área
	Ramos	N	3	2,48	Lahares
	Ramos	N	4	3,45	Fuera del área
Ramos	N	5	0,43	Coluvios	
Ramos	N	6	0,53	Fuera del área	
Ramos	N	7	1,38	Fuera del área	
FASE II	Vargas	N	1	0,077	Lahares
	Vargas	N	2	0,24	Lahares
	Vargas	N	3	0,025	Coluvios
	Vargas	N	4	0,18	Coluvios
	Vargas	N	5	0,08	Coluvios
	Vargas	N	6	0,24	Lavas Zurquí
	Vargas	N	7	0,2	Avalancha Ardiente
	Vargas	N	8	0,11	Avalancha Ardiente
	Vargas	N	9	0,16	Avalancha Ardiente
	Vargas	N	10	0,12	Avalancha Ardiente

3.1.2 Análisis de suelos

Para cada punto establecido se realizaron pruebas de capacidad de campo y punto de marchites, así como pruebas de suelos en las distintas unidades geológicas: (Cuadro N°5). (Anexo 2)

Cuadro N°5: Características de los suelos de las unidades establecidas(Carmona 2016, Vargas 2018)

Suelos			CC	PM	Densidad aparente	
FASE I	S	1	24,81	17,56	1,14	Coluvios
	S	2	23,09	16,14	1,16	Coluvios
	S	3	37,46	21,33	0,98	Avalancha Ardiente
	S	4	38,04	22,09	1,01	Lahares
	S	5	37,85	21,97	0,97	Lahares
	S	6	35,69	21,45	1,03	Avalancha Ardiente
	S	7	32,88	20,35	1,06	Avalancha Ardiente
	S	8	40,65	22,87	0,98	Coluvios
	S	9	41,39	22,64	1,05	Coluvios
	S	10	34,72	21,39	0,98	Lavas Zurquí
	S	11	37,44	22,08	1,01	Avalancha Ardiente
	S	12	39,21	21,75	1,09	Fuera del área
	S	13	42,96	21,89	1,14	Avalancha Ardiente
	S	14	31,53	20,01	0,93	Avalancha Ardiente
FASE II	F2	1	69	60	0,7	Lahares
	F2	2	46	35	0,9	Lahares
	F2	3	49	45	0,9	Coluvios
	F2	4	47	33	0,7	Coluvios
	F2	5	67	59	0,8	Coluvios
	F2	6	51	42	0,6	Lavas Zurquí
	F2	7	52	46	1,2	Avalancha Ardiente
	F2	8	47	40	0,8	Avalancha Ardiente
	F2	9	44	41	1,1	Avalancha Ardiente
	F2	10	46	38	1	Avalancha Ardiente

3.2 Archivos de Pozos

El cantón de San Isidro de Heredia cuenta con la información de 60 registros de pozos existentes en la base de datos de MINAE. De estos pozos, 1 pertenece al Instituto de Acueductos y Alcantarillados, 1 a nombre de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, los restantes 58 son concesiones para aprovechamiento a nombre de personas físicas y jurídicas, en el mapa N°4 muestra la distribución de los pozos perforados en el cantón de San Isidro de Heredia.

Los principales usos del agua son el doméstico y el riego, donde los caudales de extracción no sobrepasan el litro por segundo. Los pozos que reportan caudales importantes (> 5 l/s) son los utilizados para abastecimiento público (AyA, ESPH). Del total de estos pozos el 64% son inferiores a los 100 m de profundidad y se ubican principalmente hacia el NE del cantón. El 19% corresponde con profundidades entre los 100 a 200 m y el 17% restante con profundidades superiores a los 200 m.

El Cuadro N°6 muestra los datos registrados en los informes de pozos, donde se detalla, ubicación, altura, propietario, profundidad reportada, si presentan descripción litológica, características de la columna de agua, nivel estático y dinámico, caudal de extracción, parámetros hidráulicos y armados del pozo. (Figura N°7)

El Cuadro N°7 corresponde con las litologías registradas en los pozos del cantón donde se determina que predominan los materiales de origen volcánico.

Cuadro N° 6: Pozos que se encuentran registrados en el cantón (SENARA, 2018)

Pozo	X	Y	Propietario	Q	Prof	NE	ND	Uso	Armado	Altura
------	---	---	-------------	---	------	----	----	-----	--------	--------

BA0372	532500	226200	LORENA CRUZ MONTEALEGRE	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1767,4
BA0058	533700	225000	GANADERA MONTE BUENO S.A.	1	80	0	0	AGROINDUSTRIAL		1514,3
BA0058	533700	225000	GANADERA MONTE BUENO S.A.	1	80	0	0	AGROINDUSTRIAL		1514,3
BA0337	532900	225800	FILIOLA, S.A.	0	0	0	0	INDUSTRIAL		1699,21
BA0514	532000	225025	BALLESTA S.A.	0,2	25	9	53,6	DOMESTICO	TUB. 0-36, 52-54, 57-60; REJ. 36-52, 54-57	1602,91
BA0515	531935	224875	GUANO S.A.	0,1	30	13	0	DOMESTICO		1577,48
BA0534	533700	225200	WARD MELBY	0,1	30	9	0	DOMESTICO		1548,31
BA0651	532150	224840	SEPIC S.A.	1	50	3,5	9	DOMESTICO	TUB. 0-20, 26-38; REJ. 20-26, 38-50	1568,46
BA0693	531750	224800	AGRICOLA MONTE TURU S.A	1	50	0	0	AGROINDUSTRIAL		1579,4
BA0694	534050	225150	INVERSIONES WEPA S.A.	0,5	66	18	0	DOMESTICO	TUB. 0-42, 63-66; REJ. 42-63	1530
BA0701	531800	224920	CENTRO INTERACCION CULTURAL	0,5	50	39	47	DOMESTICO	TUB. 0-41; REJ. 41-50	1580,62
BA0771	533350	225150	MANRESA INTERNACIONAL S.A.	1	80	0	0	RIEGO		1556,53
BA0847	532600	224800	BANCO IMPROSA S.A.	0,5	70	0	0	DOMEST-RIEGO		1541
BA0232	530700	224050	INVERSIONES OCHENTA, S.A.	0,5	50	0	0	DOMESTICO		1440,75
BA0516	531960	224769	GUANO S.A.	0,4	30	15,8	0	DOMESTICO		1559,35
BA0580	534550	223600	VILLA ILUSION DE SANTA ELENA	1	54	2,8	0	DOMESTICO		1416,78
BA0594	534950	223600	SANTA MORALES GONZALEZ	0,5	45	16	0	DOMESTICO	TUB. 0-12; 18-39; REJ. 12-18, 39-45	1419,14
BA0601	532635	223785	ALFREDO Y ARMIN CAMPOS V.	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1431,39
BA0602	531810	224450	RODRIGO CORRALES SOTO	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1532,02
BA0637	532625	223920	ROGER HOPPER	0,5	79	61	0	DOMESTICO		1451,34
BA0739	534800	224400	JULIO FERNANDEZ AMON	1	43	9	0	DOMESTICO	TUB. 0-12; REJ. 12-39,27	1488,63
BA0742	531150	224100	INVERSIONES STEWER,S.A.	0,5	###	51	0	DOMESTICO	TUB. 0-73,6, 85,8-91,9; REJ. 73,6-85,8, 91,9-98	1455,84
BA0744	532600	224330	INVER.DOMINGUEZ S.A.	0,3	35	0	0	DOMESTICO		1471,49
BA0751	530785	223700	LORENO ROCCHI & KATHLEEN O	2	70	0	0	DOMESTICO		1419,98
BA0754	531630	223760	CARISA MIA S.A.	0,2	30	7,7	21,4	DOMESTICO	TUB. 0-13; REJ. 13-30	1439,97
BA0756	531225	224250	INVERSIONES STEWER,S.A.	1	###	0	0	DOMESTICO		1476,2
BA0770	533250	224500	JORGE FALCONE AMADOR	1	80	0	0	RIEGO		1505,81
BA0774	532600	224150	LA GRUTA DE MARIA LTDA.	0,3	35	11	18,1	DOMESTICO	TUB. 0-13; REJ. 13-35	1469,39
BA0783	533250	224100	RODILU S.A	0,3	50	1	0	VARIOS		1452,61
BA0819	532640	224440	CIA.MAGNOLIA ESTRELLADA S.A.	0,8	35	5	11	DOMESTICO	TUB. 0-12; REJ. 12-35	1481,65
BA0830	530650	223900	EL INTERNACIONAL S.A.	1	###	0	0	DOMEST-RIEGO		1442,36
BA0834	532760	223819	MARIETA CASTILLO ROJAS	0,4	41	3	38	DOMEST-RIEGO	TUB. 0-30; REJ. 30-41	1429,26

BA0863	533233	224275	CRIADERO Y ADIESTRAMIENTO VI	0,5	65	26	0	DOMESTICO	TUB. 0-49,4, 61,4-65; REJ. 49,4-61,4	1467,34
BA0905	531406	223750	CARMELA AITA VAGLIO	1	70	0	0	URBANISTICO		1440
BA0019	529900	222900	ARTURO VILLALOBOS	0,5	0	1,6	0	DOMESTICO		1382
BA0020	530100	222500	CARLOS VILLALOBOS GARCIA	0,5	0	2,1	0	DOMESTICO		1359,33
BA0021	530300	222400	ARTURO VILLALOBOS	0,5	25	0	0	DOMESTICO		1360
BA0156	528750	222300	DELFIN, S.A.	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1378,57
BA0186	532800	223350	MARIO JORGE CHAVEZ	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1387
BA0270	533150	223450	GEORGE PETTENGILL	0,5	45	10,1	0	DOMESTICO		1402,9
BA0352	533775	223500	TRANSPORTES ALVARADO	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1406,9
BA0458	533350	223100	VIVERO ZAMORANO S.A.	0,9	65	8,3	0	RIEGO		1388,34
BA0575	534850	223500	SANTA MORALES GONZALEZ	0,2	40	8,1	0	DOMESTICO		1417,24
BA0579	532500	223500	ANANMA S.A.	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1384,3
BA0595	531576	222780	ROY VARGAS VARGAS	0,3	45	7	42	DOMESTICO		1365,95
BA0599	531500	223400	BETTI VIVIANA ROMERO SALAZAR	0,5	65	0	0	DOMESTICO		1412,41
BA0741	532240	222260	GRANJA PORCINA GRETTEL,S.A.	2	###	0	0	INDUSTRIAL		1308,81
BA0746	534590	223210	LUIS ROJAS GOZALEZ	1	50	0	0	DOMESTICO		1383,58
BA0753	534900	223500	VICTOR EDUARDO DENGO BONILLA	0,2	40	8,1	37,5	DOMESTICO		1410,37
BA0772	531575	223150	JORGE A.SANCHEZ VINDAS	0,8	50	4	41	RIEGO	TUB. 0 -10; REJ. 10-50	1389,89
BA0877	531704	223326	PUERTO VIEJO DE AYER S.A.	0,5	48	12	0	DOMEST-RIEGO	TUB. 0-12; REJ. 12-48	1395,41
BA0004	532545	221776	IMPORT.TEXTIL ALBATROS S.A	1	50	0	0	DOMESTICO		1307,17
BA0022	529900	222000	JOAQUIN CHACON ARCE	0,5	0	1,1	0	DOMESTICO		1320,47
BA0023	530000	222000	JOAQUIN CHACON ARCE	0,5	0	1,8	0	DOMESTICO		1328,1
BA0196	530100	221200	QUINTA LAS QUEBRADAS	9,5	70	0	0	ABAST. PUBLICO		1291,82
BA0393	530500	222100	DESARROLLOS ISIDRE?OS,S.A	0,5	0	0	0	DOMESTICO		1340,27
BA0485	532440	222040	INVERSIONES GRUPO CINCO	0,6	40	1,4	0	DOMESTICO		1309,21
BA0492	531500	222100	HELECHOS SAN ISIDRO HDIA.	0	###	####	0	URBANISTICO		1320,94
BA0510	532500	221900	SUMAG CENTROAMERICANA S.A	0,8	43	26,7	0	DOMESTICO		1319,31
BA0611	531000	221900	E.S.P.H. Santa Cruz	40	###	####	0	URBANISTICO	TUB 0,00-171,60; 210,00-216,00;227,00-235,00 REJ 171,60-210,00; 216,00-227,00	1309,42
BA0073	528300	220900	AYA	9,5	###	0	0	ABAST. PUBLICO		1269,33

B Cuadro N°7: Litología de los pozos registrados en el cantón de San Isidro de Heredia (SENARA, 2018)

POZO	LITOLOGIA
BA 058	0-18m toba de granulometría fina, color café claro de baja permeabilidad, 18-33m lavas ande siticas gris oscura, leve porosidad secundaria, 33 – 53m pequeños fragmentos lávicos en una matriz fina a media, café claro, baja permeabilidad aparente, 53-64m arena color gris oscuro alterada, permeabilidad aparente moderada.
BA 270	0-8.4 m suelo limoso, derivado de cenizas recientes. 8.4-45 m lahar. Bloques ígneos de lava principalmente, en matriz de arcillas, limos y arenas.
BA 742	0-40 m arcilla, color café claro, homogéneo, con líticos volcánico, posible lahar. 40-50 m tobacinerítica color café, con líticos amarillentos, meteorizadas. Permeabilidad aparente baja. 50-67 m toba cinerítica, color beige, homogénea. Permeabilidad aparente baja. 67-70 m nivel heterogéneo, rico en fragmentos de toba porosa, color beige. Permeabilidad aparente media- buena. 70-98 m lava porfirítica, color gris, con textura brechosa de 87-91m y de 95-96 m. Permeabilidad aparente, buena.
BA 73	0-60m suelo derivado de cenizas, de carácter arcillo- limoso baja permeabilidad.60- 85 m lava gris claro, vesicular de cristalización mediana, con ocasionales superficies de facturas, dura compauta. Hacia las secciones inferiores va variando a cristalización más fina. La masa de apariencia de ser porosa pero no permeable (excepto en las secciones fracturadas). 85-89m cenizas interlávica, de color café amarillento, muy livianas, compactadas poco permeables. Pueden actuar como horizonte confinantes de aguas freáticas. 89-114 m (aprox.) lava muy es cariácea, de color gris plumizo con feldespatos pequeños incluidos en la masa vidriosa. Hay secciones menos porosas (micro poros) pero en general la condiciones de buena porosidad. 114 – 130 m lava ligeramente más densa que la anterior, aunque siempre presenta porosidad, buena en numeroso micro poros (sin llegar a ser es cariácea) hay planos de facturación identificables por costras de óxidos (manganeso- hierro). 130-132 m lava gris oscura de carácter basáltico, densa, dura, muy compacta, poco fracturada. 132-149m lava vidriosa gris oscura, con secciones rojizas, muy poco compacta, deleznable, suave, mal cristalizada (vidriosa con cristales pequeños de feldespatos). La recuperación en este material es muy baja. 149- 160m secciones de lava de distinta naturaleza: en parte superiores de lava gris oscuro a gris plumizo, es cariácea, con cristales feldespáticos medianos y planos de facturación bien definidos. La parte inferior es de lava rojiza, fracturada, pero ligeramente más densa que la anterior, aunque siempre porosa. La última sección ase hace fuertemente es cariácea. 160-170 m la primera sección, es de lava gris, densa, de porosidad baja. El resto de la secciones de una alternancia entre lava muy es cariácea y lava fracturada con carácter presi cular (color café gris) al final muestra alrededor de 20m de lava densa color café ladrillo, cristalización pobre. 170- 189 m lava gris muy heterogénea en cuanto a composición y porosidad. La sección central es porosa, cavernosa. Los extremos son densos pero con buena morosidad. 189- 207m lava gris oscura, densa mejor cristalizada que la secciones anteriores, pero fracturada. Presenta una coloración ladrillo en las partes porosas (sea por facturación o por pequeñas vesículas) debido posiblemente a precipitaciones de las aguas circulantes. Condición típica de esta lava. 207-224m lava gris densa, dura, compacta, con

	<p>planos de facturación bien definidos (con depósitos de hidrato de manganeso). No hay secciones escarioceas. 224-242 m lava es caríacea café rojiza, con fracturación bien definida. Condición de buena permeabilidad. 242- 252 m lava muy es caríacea de coloración gris o café, rojiza, alta porosidad. 252- 250m lava gris clara muy es caríacea, cavernosa, liviana, sana de alta porosidad y permeabilidad. 258-317 m lava gris micro poroso con inclusiones de partículas color café rojizo, de tamaño y forma variada pero íntimamente soldada. En algunas secciones, por su porosidad da la apariencia de ser una brecha lávica con secciones muy soldadas las partes de pobre de recuperación es probable que sea de escoria porosa, las partes recuperadas son densas y sanas con veteados característicos color marrón y presentan en sus extremos contactos con material brechosa. A 283 m se perdió totalmente la circulación.</p> <p>317 – 337 m: lava gris bien cristalizada, densa, compacta con pocos planos de facturación. Material poco poroso que puede actuar como acucierre local. 337- 375 m: B no hay recuperación en esta sección. La muestra de lavado de la sección próxima a 340 muestra un recorte fino de partículas rojizas y de lava micro cristalino algunos cristales de cuarzo y piro plásticos menores. De la apariencia de ser un material es coriáceo muy frágil poco compacto, posiblemente cavernoso con intercalaciones de piro plásticos varios. 375-382 m lava gris alterada posiblemente muy fracturada, algo poroso, pero básicamente tiende a ser densa. La alteración se muestra en los cristales feldespáticos hay pequeñas secciones con micro poros. 382-388 m (aprox.) lava ídem pero más compacta siempre con macro porosa (sin ser es caríacea), dura, con pocos planes de fractura horizontales. 388- 394 m transicionalmente esta lava va pasando a lava más es caríacea con algunas secciones cavernosas color café (en los poros) y la lava en la parte cristalina. Hacia el final de esta sección hay planos de factura de color café, rellenos de material de apariencia terrosa, como brecha lávica la condición general es de lava de alta porosidad. 394-409 m: material lávico muy heterogéneo en composición y textura. Hay partículas muy porosas, mal cristalizadas. Esta sección de color ladrillo es caríacea, fracturadas mal cristalizadas. Esta sección se puede considerar brechosa lávica. 409-438 m sección de lava gris en las que se alteran partes vesiculares hasta ligeramente es coriáceo con secciones densas, duras y compactas. El carácter de esta lava es su condición variable en porosidad aunque predomina, la fracción porosa. 438- 487 m sección toba lapillita y cenicienta, de color café claro a oscuro, con abundantes lapillis y ocasionales fragmentos de lava es caríacea incluida. Después de 452 predomina el material tufáceo cenicienta café, denso, compacto.</p>
BA 510 1	<p>0-16 m arcillas producto de la meteorización de cenizas volcánicas, color café claro a oscuro, suaves permeabilidad muy baja. 16- 43 m lahar compuesto, principalmente por una matriz arcillosa, amarillenta, que incluye secciones de arenas, gravas, cantos de lava y bloques de lava material muy heterogéneo , de 40 a 43 m. aparece un bloque grande de lava permeabilidad aparente baja.</p>
BA 515	<p>0-10 m arcillas, color café, producto de la meteorización, permeabilidad aparente, nula. 10- 12 m constituido por aluviones de hasta de 1 metro de diámetro, con una matriz de aluviones pequeños y arcillas. 12- 30 m constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande sitica de variados tamaños y con intercalaciones de arcillas color café.</p>

BA 514	0-12 m, arcilla, color café claro, plástico. Permeabilidad aparente nula. 8-12 m cenizas arcillosas, color café. Permeabilidad aparente, baja. 12-22 m, lahar. Constituido por bloques lávicos de composición ande sitico- basáltico. Contiene arcilla color café. Permeabilidad aparente, baja. 22-36 m material heterogéneo. Constituido por fragmentos lávicos, brechosos, arenosos y cenicientos. Sin arcilla. Permeabilidad aparente, media. 36-40 m arena y ceniza volcánica con alto contenido de escoria volcánica. Permeabilidad aparente, media.
BA 492	0-10 m arcillas con capa vegetal. 10-18 m tobas. 18-24 m lavas fracturadas. 24- 30 m tobas arcillosas. 30-36 m brechas volcánicas. 36-44 m tobas. 44-72 m lavas ande siticas fracturadas. 72-92 m brechas volcánicas. 92-108 m, lavas ande siticas fracturadas. 108-111 m, tobas arcillosas. 111-134 m, brechas volcánicas. 134-142 m, lavas fracturadas. 142-195 m, tobas. 195-200 m, lavas fracturadas. 200-210 m, tobas. 210-222 m, lavas ande siticas fracturadas. 222-239 m, ignimbritas. 239-257m, lavas ande siticas fracturadas, 257-262 m, tobas brechas. 262-270 m, lavas ande siticas fracturadas.
BA 580	0-2 m, suelo negro PA= baja. 2-4 m, arcillas café. PA= baja. 4-24 m lahar color café. PA= media. 24-28 m, arcillas color café. PA= baja. 28-50 m, lahar color gris, sano. PA= media. 50-52 m, arcillas grises. PA= baja. 52- 54 m, lahar arcilloso. PA= baja.
BA 754	0-5 m, arcilla color café producto de la meteorización, permeabilidad aparente nula. 5-28 m, constituido por aluviones pequeños y de mediano tamaño con matriz arcillosa. 28-30 m, arcillas color café, permeabilidad aparente nula.
BA 863	0-12 m, limo- arenoso de coloración rojiza (cenizas), con algunos clastos de roca volcánicas color negro. 12-65 m, intercalación de volcánicos, lavas y cenizas predominan las lavas de composición ande sitica basáltica, con plagioclasas y anfíboles, muestran cierto grado de fractura miento e indicios de circulación de agua en las mismas, ya que se presentan patinas de materiales secundarios. Las cenizas algunas veces se asemejan a tobas, presenta una descripción similar a la que se muestra entre los 0-12 m. Ambas unidades han sido asociadas a las rocas descritas para la formación de Barva.
BA 819	0-12 m, arcillas color café, impermeables. 12-24 m, Lahares de tamaño grande y mediano. 24-30 m, lavas fracturadas de permeabilidad media. 30-35 m, Lahares con arcillas color café de permeabilidad regular.
BA 742	0-40 m, arcilla, color café claro, homogéneo, con líticos volcánico, posible lahar. 40-50 m, toba cinerítica color café, con líticos amarillentos, meteorizada. Permeabilidad aparente baja. 50-67 m, tobacinerítica, color beige, homogéneo. Permeabilidad aparente baja. 67-70 m, nivel heterogéneo, rico en fragmentos de toba porosa, color beige. Permeabilidad aparente media- buena. 70-98 m, lava porfírica, color gris con textura brechosa de 87-91 m y de 95-96 m. Permeabilidad aparente buena.
BA 744	0-15 M, arcillas, color café, producto de la meteorización. Permeabilidad aparente, nula. 15- 23 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande sitica de variados tamaños y con intercalaciones de arcillas color café. 23- 25 m, constituido por aluviones de hasta de 0.3 m de diámetros, con una matriz de aluviones pequeños y arcillas. 25-32 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos

	fragmentos de roca ande sitica de variados tamaños y con intercalaciones de arcillas color café.
BA 877	Toba 0-10 m, de granulometría fina, color café, arcillosa y con baja permeabilidad aparente. Lava 10-48 m, ande sitica, color gris oscuro, textura ligeramente porfírica con fenocristales de plagioclasas y piriboles, algo alterada, con leve oxidación en planos de fracturas y con baja a moderada permeabilidad aparente.
BA 516	0-15 m, arcillas, color café, producto de la meteorización. Permeabilidad aparente, nula. 15-25 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca andesíticas de variados tamaños y con intercalaciones de arcillas color café. 25-27 m, constituido por aluviones de hasta de 0.5 m de diámetro, con una matriz de aluviones pequeños y arcillas. 27-30 m, constituido por Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande siticas de variados tamaños y con intercalaciones de arcillas color café.
BA 772	Suelo: 0-12 m, de textura de tacto limo- arcillosa y color café oscuro a negro, constituido principalmente por restos de materia orgánica. Sin ningún aporte en la producción de agua de pozo. Lava: 12- 50 m, de composición andesíticas y textura porfírica con fenocristales de plagioclasas y piriboles. Moderadamente alterada y bastante oxidada, especialmente en los planos de fracturas. Con baja permeabilidad aparente y mediana porosidad secundaria originada por fracturación, aunque con baja producción de agua.
BA 701	0-16 m, cenizas volcánicas, arcillificadas, color amarillento, duras, impermeables. 16- 22 m, lahar matriz, arcillosa, color café claro, sub- redondeados de lava, de color variado producto de la meteorización. 22- 26 m, grava de tamaño medio, hasta 12 mm. De 0, poca arcilla, permeabilidad aparente moderada. 26-30 m, lahar arcilloso de color café claro, incluye clastos de lava, masa feldespática, amarilla, dura, permeabilidad aparente mala. 30- 40 m, colada de lava gris claro, vesicular, fracturada, presenta secciones brechosa, macro cristales de feldespatos. Permeabilidad aparente moderada. 40-42 m, paleosuelo de color café, arcilloso, quemado por acción de lava, acuiludo. 42-48 m, lava ande sitica de color gris oscuro, dura, fracturada. Permeabilidad aparente baja. 48-50 m, toba arenosa, grano grueso 2-3 mm, de 0 incluye clastos piro clásticos mayores, material suave, coloración café rojizo. Permeabilidad aparente baja.
BA 774	0-11 m, arcillas color café, producto de la meteorización. 11-22 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande sitica de variados tamaños, con intercalaciones de arcillas. 22- 35 m, constituido por aluviones de hasta 0.3 m, de diámetro, con una matriz de aluviones pequeños y arcillas.
BA 694	0-4 m, arcilla, coloración café, muy plástica. 4-6 m, Lahares y tobas meteorizadas, de color café, de baja dureza, meteorizada, de media permeabilidad aparente. Algunos tramos de coloración café oscuro, algo meteorizada. La permeabilidad aparente es baja, pero es anisótropa, es decir que tiene tramos muy arcillosos y lentes arenosos de mejor permeabilidad.
BA 534	0-15 m, arcillas color café, producto de meteorización. Permeabilidad aparente nula. 15- 23 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande

	sítica de varios tamaños y con intercalaciones de arcillas color café. 23- 25 m, constituido por aluviones de hasta 0,3 m, de diámetro, con una matriz de aluviones pequeños y arcillas. 25- 30 m, constituido por el Complejo Volcánico Zurquí, con muchos fragmentos de roca ande sítica de varios tamaños y con intercalaciones de arcillas color café.
BA 783	0- 2 m, suelo limo arcilloso negro. 2-5 m, arcilla café. 5-9 m, lahar. Matriz de arcilla gris con bloques redondeados de lava alterada y tobas. Poca arena. 10-14 m, ignimbrita gris es coriácea con bloques de lava. 14- 29 m, toba arenosa de textura gruesa a media con bloques de lava. 29-45 m, matrizobácearcillificadas color café claro con fragmentos de lava. 45-50 m, toba gris sana y tramos alterados de textura limo arenosa.
BA 834	Toba: 0-8 m, se trata de ceniza fina de color café claro, muy arcilloso y con baja permeabilidad aparente. Lahar: 8- 27 m, constituido por cantos heterogéneos dentro de una matriz fina de color claro. Con baja permeabilidad aparente. Lava: 27-37 m, de color gris oscuro, composición andesíticas y textura porfirítica con feno cristales de plagioclasas y piriboles. Relativamente sana, poco oxidada y con baja permeabilidad aparente. Lava: 37-41 m, similar al tramo anterior pero mucho más oxidada. Con baja permeabilidad aparente y poco aporte de agua.
BA 575	0- 8 m, arcillas color café, producto de la meteorización, permeabilidad aparente nula. 8-30 Complejo Volcánico Zurquí con muchos fragmentos de roca andesíticas de varios tamaños y con intercalaciones de arcilla color café. 30- 40 m, constituido por aluviones pequeños con matriz arcillosa.
BA 595	0- 30 m, Lahares, con una matriz arcillosa muy impermeables. 30- 45 m, lavas andesíticas-basálticas, con permeabilidad secundaria.
BA 594	0-6 m, arcilla color café PA= muy baja. 6-10 m, bloques de arcilla y a materia orgánica vegetal, mal olor, agua color rojiza, PA=bajo. 10- 14m, arcilla café, PA=bajo. 14-18 m, bloques redondeados, PA=media. 18-45 m, arcilla color verde y bloque grande, PA=media.
BA 739	0-2 m, suelo. 2-6 m, arena con arcilla. 6-7 m, arenas finas. 7-8.5 m, arenas. 8.5 – 10.5 m, arenas finas. 10.5 – 12 m, arenas medias a gruesas. 12 – 14.7 m, aluvión grueso lahar. 14.7 – 17.7 m, lahar. 17.7 – 20.9 m, arcilla. 20.9 – 43 m, arenas y graves lahar.
BA 753	0- 8 m, arcillas color café, producto de la meteorización, permeabilidad aparente nula. 8- 30 m, Complejo Volcánico Zurquí con muchos fragmentos de roca andesíticas de varios tamaños y con intercalaciones de arcilla color café. 30- 40 m, constituido por aluviones pequeños con matriz arcillosa.
BA 651	0- 40 m, arcillas amarillas y café. PA = muy baja. 40- 50 m, lahar. PA= baja.

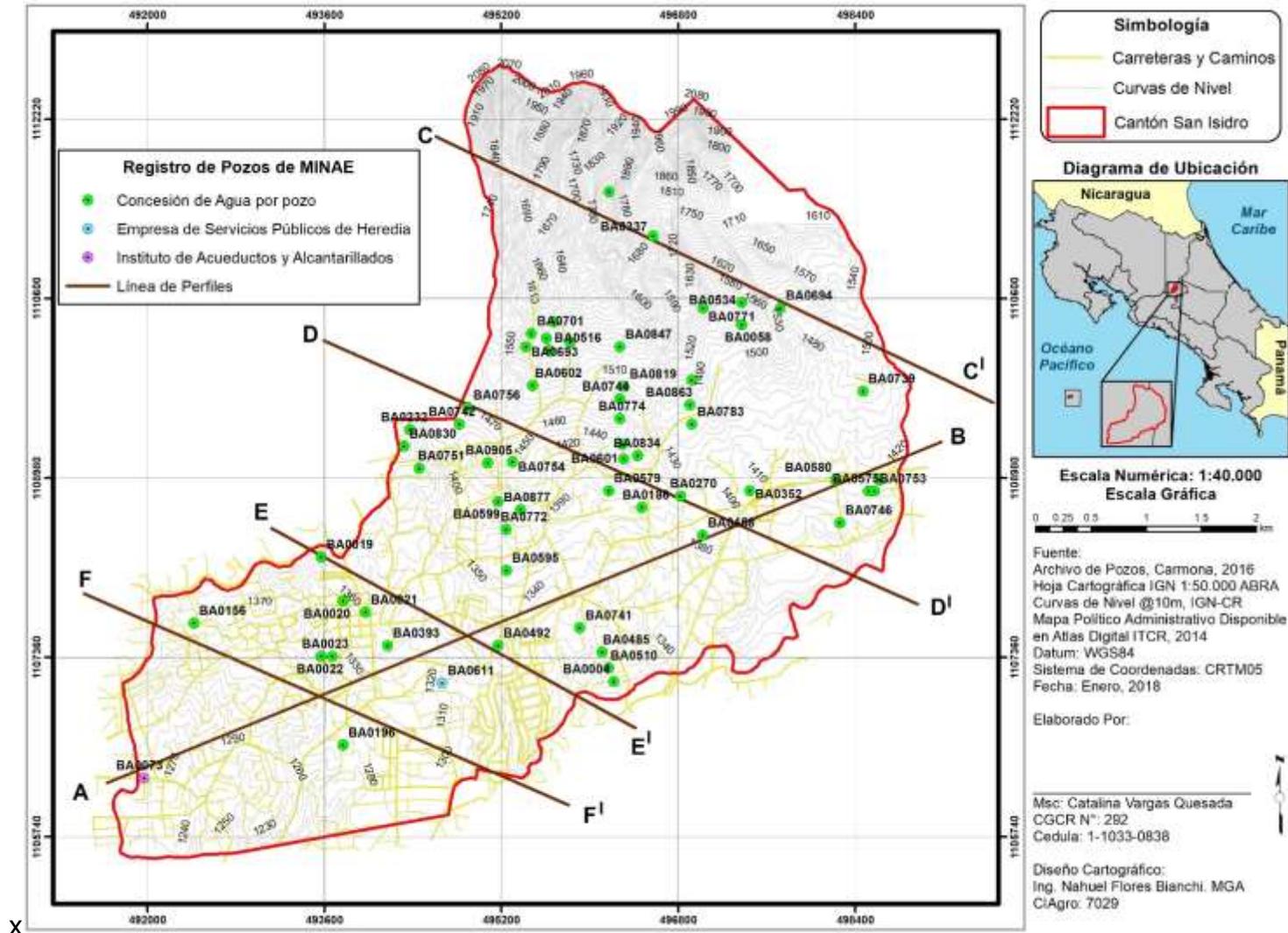


Figura N°6: Mapa de ubicación de pozo

3.3 Archivos de Nacientes

El cantón de San Isidro de Heredia se caracteriza por poseer manantiales con caudales inferiores al litro por segundo, estas surgencias se dan en zonas topográficamente bajas, donde existe contacto de materiales con diferentes propiedades hidráulicas. El cuadro siguiente contiene un listado de las nacientes encontradas en el cantón de San Isidro en un inventario hecho por funcionarios de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia. La figura N°7 muestra la distribución a nivel cantonal. (Cuadro N°8)

Cuadro N°8: Nacientes registradas en el cantón de San Isidro de Heredia. (Senara, 2018)

				Propietario	Caudal l/s	Uso
1	N	533500	224900	A.D.I. de Concepción San Isidro de Heredia	0,79	Doméstico
2	N	533300	224700	BAJO EL TOMASITO	<1	
3	N	531550	225600	Corporación Agro Industrial del Caribe S.A.	0,15	Turístico
4	N	534300	224200	Flores y Plantas Centroamericanas S.A	0,96	Riego
5	N	531400	222750	Ligia Flores Guevara	0,02	Doméstico
6	N	531400	222750	Sin Nombre	<1	Doméstico
7	N	532800	224900	Sin Nombre	<1	Doméstico
8	N	533300	224900	Sin Nombre	<1	Doméstico
9	N	534300	224150	Sin Nombre	<1	Doméstico
10	N	534300	224200	Sin Nombre	<1	Doméstico
11	N	534525	224075	Sin Nombre	<1	Doméstico
12	N	534600	223840	Sin Nombre	<1	Doméstico
13	N	534650	223850	Sin Nombre	<1	Doméstico
14	N	531450	222750	Sin Nombre	<1	Doméstico
15	N	532305	222900	Sin Nombre	<1	Doméstico
16	N	532350	222800	Sin Nombre	<1	Doméstico
17	N	533705	223200	Sin Nombre	<1	Doméstico
18	N	533800	222300	Sin Nombre	<1	Doméstico
19	N	533800	223000	Sin Nombre	<1	Doméstico
20	N	534655	223855	Sin Nombre	<1	Doméstico
21	N	534705	223200	Sin Nombre	<1	Doméstico

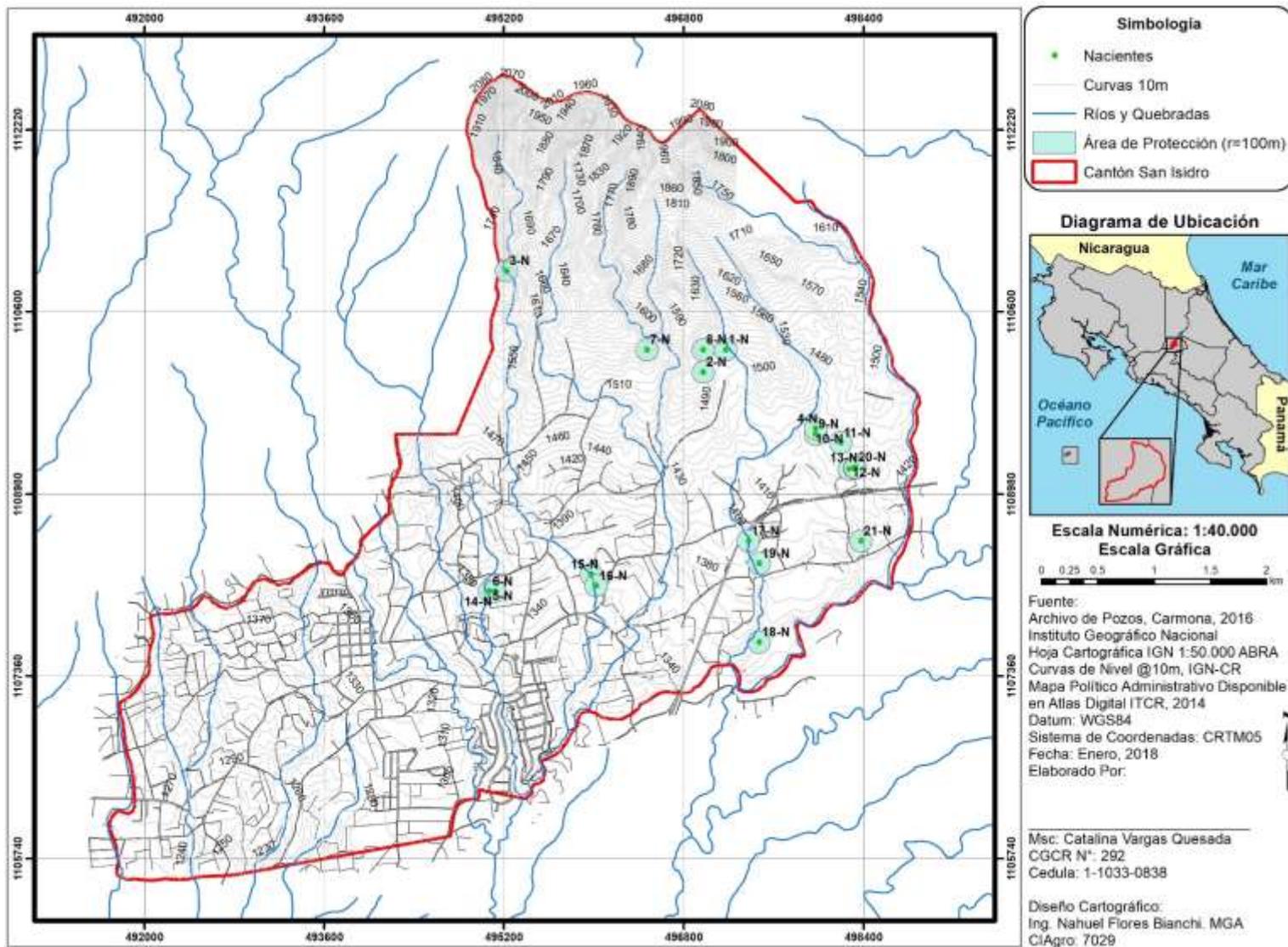


Figura N°7: Mapa de nacientes de la zona de estudio (Senara, 2018)

3.4 Información meteorológica

Se cuenta con el registro de 4 estaciones meteorológicas:

1. San Josecito de Heredia: número 84046, esta se ubicada en las coordenadas (Lat. 10° 01 / Long 84°01) a una altura de 1450 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 38 años desde 1971 al 2009, con un promedio de lluvia de 2494.9 mm anuales.
2. Santa Lucía de Heredia: número 84111, esta se ubicada en las coordenadas Lat.10° 01 / Long 84°07, a una altura de 1200 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 30 años desde 1982 al 2012, con un promedio de lluvia de 2452,2mm anuales.
3. Zurquí: se ubicada en las coordenadas Lat. 10° 02 / Long 84°01, a una altura de 1470 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 24 años desde 1971 al 1995, con un promedio de lluvia de 2721,6 mm anuales.
4. Monte de la Cruz: se ubicada en las coordenadas Lat. 10° 04 / Long 84°04, a una altura de 1200 m.s.n.m. Su registro pluviométrico es de un lapso de 38 años desde 1967 al 2005, con un promedio de lluvia de 3211,3 mm anuales.

Las estaciones Santa Lucía y San Josecito cuentan con datos de precipitación, temperatura y brillo solar, por el contrario, las estaciones Zurquí y Monte de la Cruz sólo cuentan con valores de precipitación.

Para la Fase 2 se utilizó la información meteorológica de la estación San Josecito de Heredia. Para los análisis de recarga se tomará la estación meteorológica San Josecito por ser la más cercana y tener datos más constantes. Cuadro N°9

Cuadro N°9: Información meteorológica de la estación San Josecito, (IMN, 2018)

	Precipitación mm	Días de lluvia	Temp. máxima	Temperatura mínima C	Temperatura media	Humedad relativa %	Evapotranspiración potencial
Enero	130,30	19,00	20,80	14,30	17,55	85,00	131,49
Febrero	88,20	16,00	21,40	14,20	17,80	84,00	121,67
Marzo	71,00	15,00	22,30	14,50	18,40	83,00	139,97
Abril	94,70	16,00	23,00	15,10	19,05	84,00	141,14
Mayo	254,60	24,00	23,60	15,80	19,70	87,00	151,20
junio	270,80	25,00	23,50	15,80	19,65	88,00	147,40
Julio	228,80	26,00	22,70	15,80	19,25	88,00	150,22
Agosto	263,80	26,00	23,10	15,70	19,40	88,00	148,28
Septiembre	324,10	26,00	23,70	15,20	19,45	88,00	140,64
Octubre	330,60	27,00	23,40	15,20	19,30	89,00	141,60
Noviembre	254,80	24,00	22,20	15,30	18,75	89,00	132,29
Diciembre	183,20	21,00	21,10	14,70	17,90	87,00	132,31

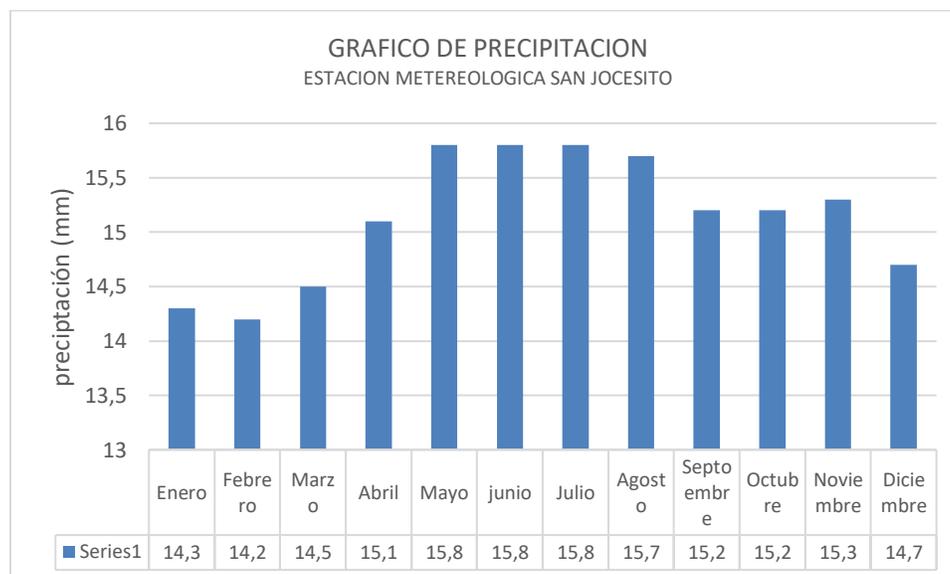


Grafico 1: Precipitación mensual de la estación meteorológica San Josecito

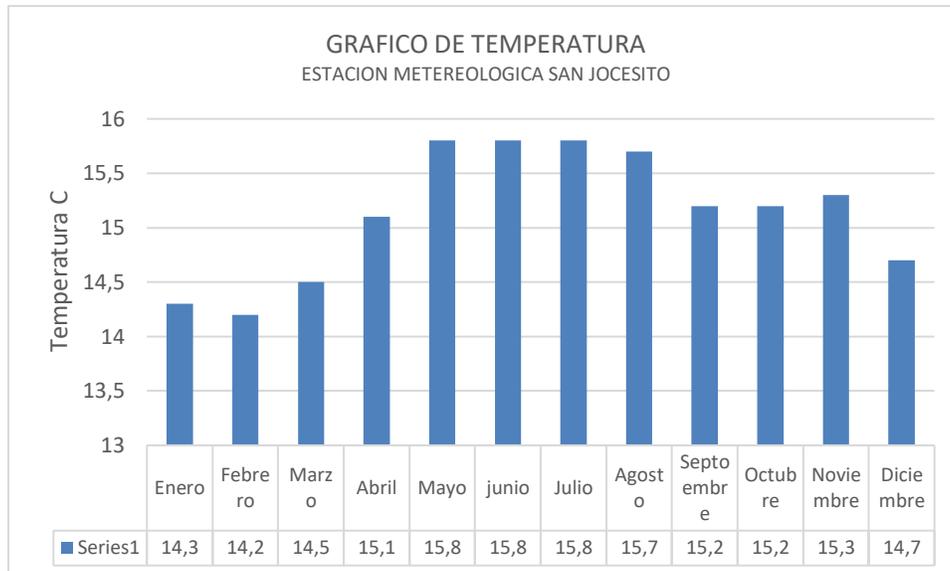


Grafico 2: Temperatura mensual de la estación meteorológica San Josecito

- **Evapotranspiración potencial**

Para determinar la evapotranspiración potencial se utilizó la ecuación Blaney&Criddle (ONU, 1972, en Schosinsky, 2006), ya que otras ecuaciones como la Hargraves, que son más adecuados para Costa Rica, no se tienen datos mensuales de temperatura máxima y mínimas, necesarias en esta metodología.

La ecuación Blaney&Criddle (ONU, 1972, en Schosinsky, 2006), contempla factores como la precipitación y el porcentaje de horas de luz solar mensual (%). Para determinar el valor de ETP utilizó la siguiente ecuación:

ETP (mm/mes)	$(8,10 + 0,46T) * Ps$
-----------------	-----------------------

Donde:

ETP Evapotranspiración potencial
T Temperatura media mensual °C
Ps Porcentaje de horas de luz solar mensual (%)

El porcentaje de horas de luz mensual se determinó para una latitud norte, tal como se muestra en el Cuadro N°9 (Calvo 1999)

Cuadro N°10: Porcentaje de horas de sol mensual, latitud 10°norte (Calvo 1999)

Mes	%
Enero	8,13
Febrero	7,47
Marzo	8,45
Abril	8,37
Mayo	8,81
junio	8,6
Julio	8,86
Agosto	8,71
Septiembre	8,25
Octubre	8,34
Noviembre	7,91
Diciembre	8,1

Cuadro N°11: Valores de evapotranspiración potencial. (Método Blaney&Criddle (ONU, 1972, en Schosinsky, 2006

Mes	Evapotranspiración potencial (mm)
Enero	131,49
Febrero	121,67
Marzo	139,97
Abril	141,14
Mayo	151,20
junio	147,40
Julio	150,22
Agosto	148,28
Septiembre	140,64
Octubre	141,60
Noviembre	132,29
Diciembre	132,31

3.5 Hidrogeología Regional

Las características hidrogeológicas del cantón muestran una confluencia de materiales con propiedades hidráulicas muy variadas (coladas de lava, materiales vulcano clásticos) los cuales presentan diversos grados de alteración y composición.

Los acuíferos reconocidos son La Libertad y Colima Superior (ubicados en el miembro Linda Vista), donde el flujo del agua se da en fisuras y partes brechosa de las coladas. Sus producciones tanto de extracción subterránea (pozos) como manantiales alcanzan caudales de hasta 100 l/s (BGS-SENARA).

Los depósitos de tobas y flujos piroclásticos que cubren la formación Colima (formación Tiribí) por lo general presentan una baja permeabilidad, por lo que actúan como acuitardos en las secciones donde subyacen a la formación Barva.

Hidrogeológicamente, los depósitos lávicos más recientes del Barva son subdivididos en Barva Inferior y Barva Superior. Son separados por piroclastos no consolidados y piroclastos gruesos (Miembro Carbonal y Miembro Porrosatí), esto les imprime una baja permeabilidad y un comportamiento de acuitardo (BGS-SENARA)

3.6 Hidrogeología Local

Para establecer las características hidrogeológicas del cantón se tomó en cuenta los pozos registrados en la zona. Como se indicó anteriormente, el cantón de San Isidro de Heredia cuenta con la información de 60 registros de pozos existentes en la base de datos de MINAE, la mayoría de ellos son concesiones para aprovechamiento a nombre de personas físicas y jurídicas.

Los principales usos que se le dan al agua son el doméstico y el riego, donde los caudales de extracción no sobrepasan el litro por segundo. Los pozos que reportan caudales importantes (> 5 l/s) son los utilizados para abastecimiento público (AyA, ESPH). Los pozos registrados se clasifican en 3 categorías de acuerdo a la profundidad de la perforación, tal como se indica a continuación:

Poco profundos	Con profundidades menores a los 50 metros, los niveles estáticos varían desde 1,6 metros (BA 19) hasta los 26,7 metros (BA 510)
No tan profundos	Con profundidades menores a los 50 metros a 100 metros. los niveles estáticos varían desde 8 metros (BA 458) hasta los 61 metros (BA 637)
Profundos	Con profundidades mayores a los 100 metros, los niveles estáticos varían desde 51 metros (BA 742) hasta los 200 metros (BA 492)

Del total de estos pozos el 64% son inferiores a los 100 m de profundidad y se ubican principalmente hacia el NE del cantón. El 19% corresponde con profundidades entre los 100 a 200 m y el 17% restante con profundidades superiores a los 200 m.

3.6.1 Piezómetros realizados

Se realizaron cuatro perforaciones en las zonas donde existía poca información hidrogeológica. Esos puntos de perforación y la metodología fueron avalados por el SENARA tal como se indicó en los antecedentes. Figura N°9, Cuadro N°12. El informe de perforación de los piezómetros se encuentra en el anexo 4.

Cuadro N°12: Ubicación de los piezómetros realizados en Fase II

Piezómetro	Coordenadas Lambert Norte	
P1	222981	534028
P2	222544	532248
P3	220939	530517
P4	220825	528289

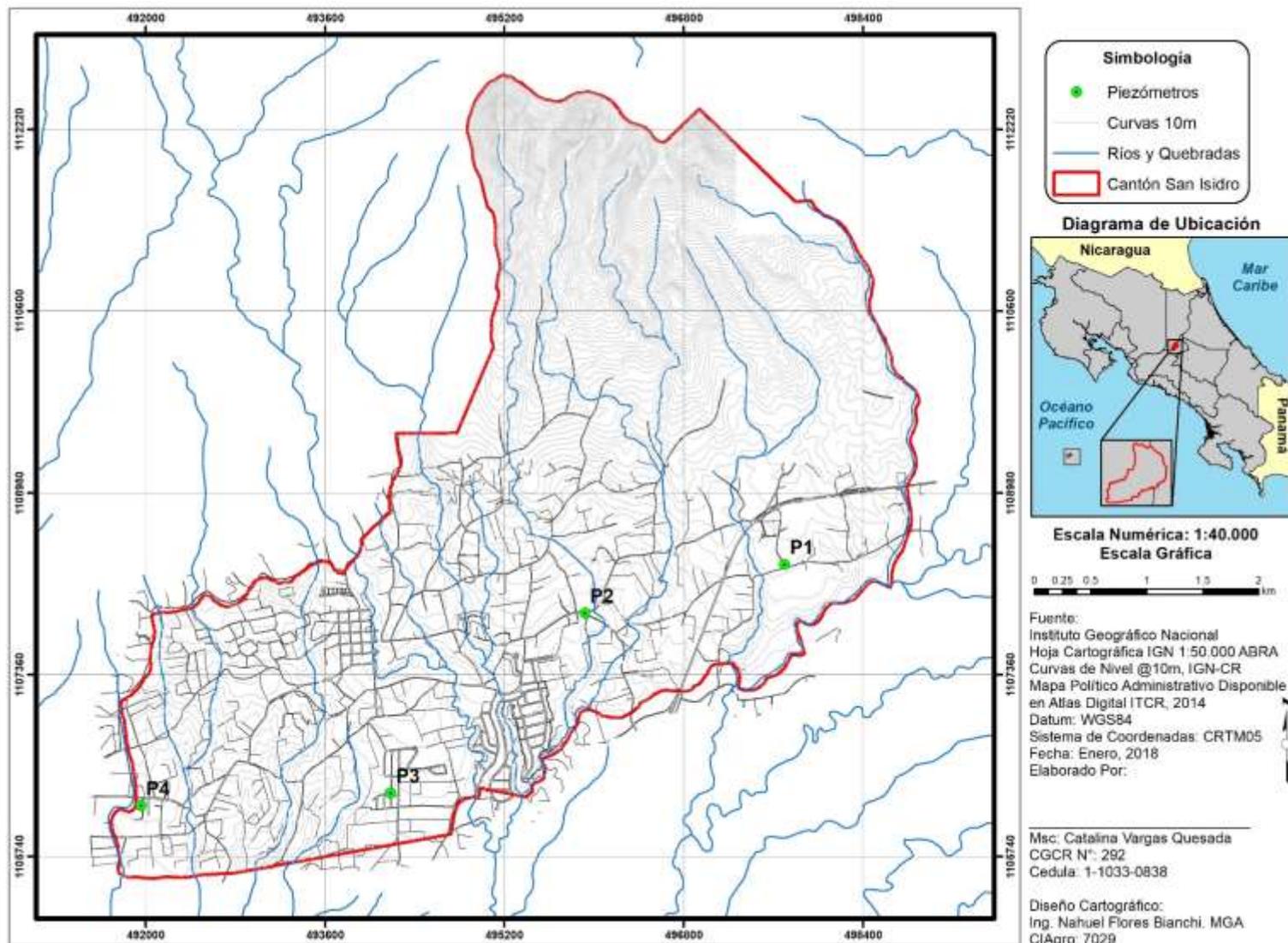
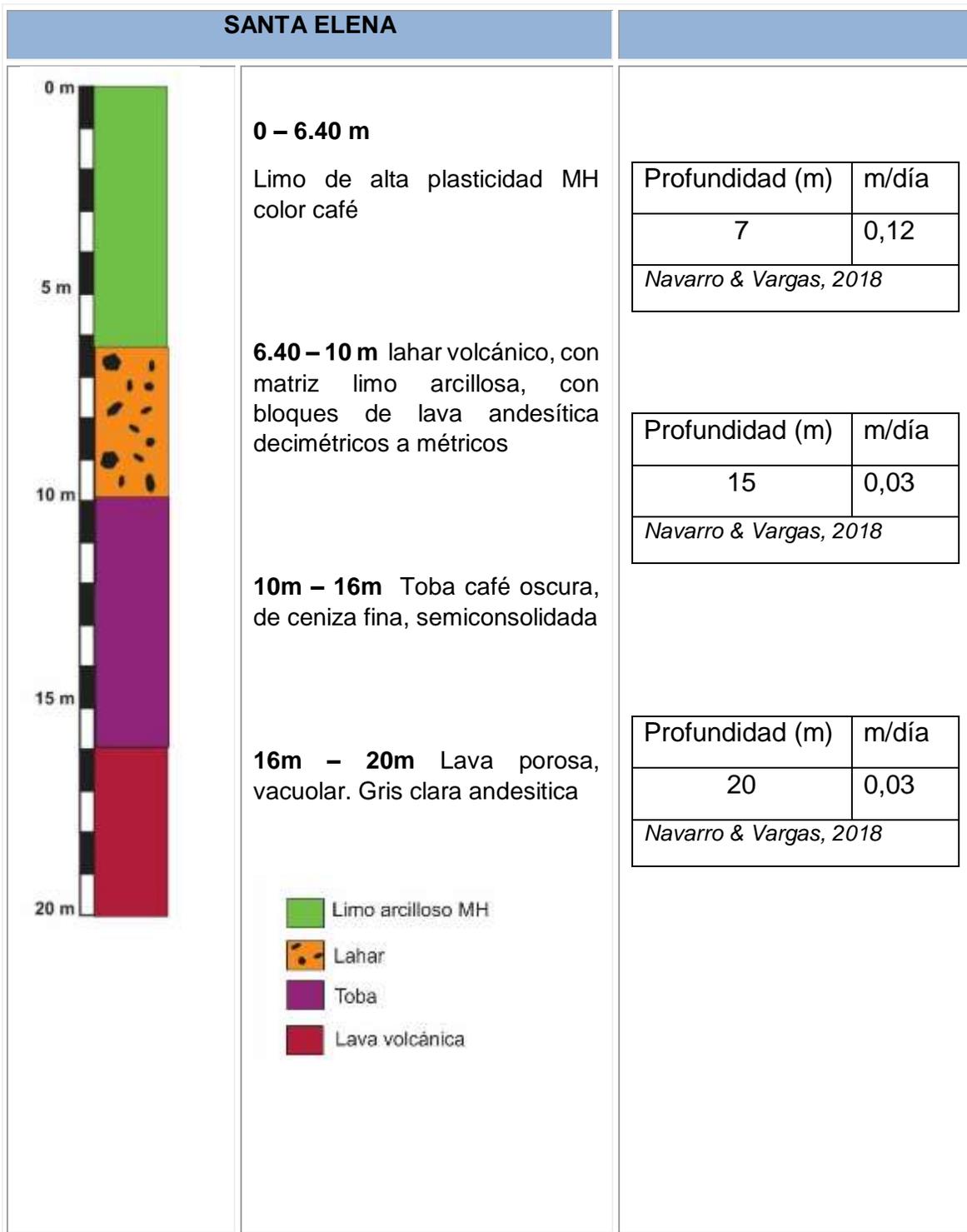


Figura N° 8: Mapa de ubicación de piezómetros realizados en la fase 2

Las columnas litológicas y descripciones para cada piezómetro se muestran a continuación

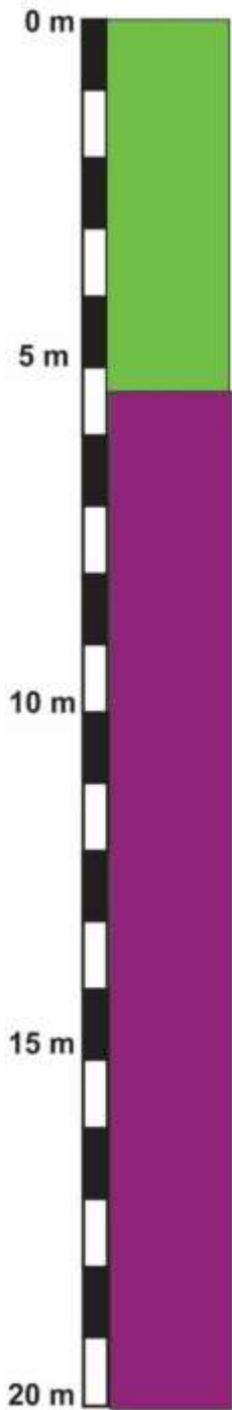
PIEZOMETRO 1 SANTA ELENA								
Ubicación	Coordenadas	Conductividades						
<p>0 m</p> <p>5 m</p> <p>10 m</p> <p>15 m</p> <p>20 m</p>	<p>0 – 6.40 m Limo de alta plasticidad MH color café</p> <p>6.40 – 10 m lahar volcánico, con matriz limo arcillosa, con bloques de lava andesítica decimétricos a métricos</p> <p>10m – 16m Toba café oscura, de ceniza fina, semiconsolidada</p> <p>16m – 20m Lava porosa, vacuolar. Gris clara andesítica</p>							
	<p>■ Limo arcilloso MH</p> <p>■ Lahar</p> <p>■ Toba</p> <p>■ Lava volcánica</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Profundidad (m)</th> <th>m/día</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>0,039</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Navarro, 2018</i></td> </tr> </tbody> </table>	Profundidad (m)	m/día	7	0,039	<i>Navarro, 2018</i>	
	Profundidad (m)	m/día						
	7	0,039						
<i>Navarro, 2018</i>								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Profundidad (m)</th> <th>m/día</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>0,045</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Navarro, 2018</i></td> </tr> </tbody> </table>	Profundidad (m)	m/día	15	0,045	<i>Navarro, 2018</i>		
Profundidad (m)	m/día							
15	0,045							
<i>Navarro, 2018</i>								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Profundidad (m)</th> <th>m/día</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>0,0048</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>Navarro, 2018</i></td> </tr> </tbody> </table>	Profundidad (m)	m/día	20	0,0048	<i>Navarro, 2018</i>		
Profundidad (m)	m/día							
20	0,0048							
<i>Navarro, 2018</i>								

PIEZOMETRO 1	
--------------	--



PIEZOMETRO 2	
--------------	--

SAN JOCESITO



0 – 5.40 m
Limo de alta plasticidad
MH color café

5,40m – 20m
Toba café oscura, de
ceniza fina,
semiconsolidada

- Limo arcilloso MH
- Lahar
- Toba
- Lava volcánica

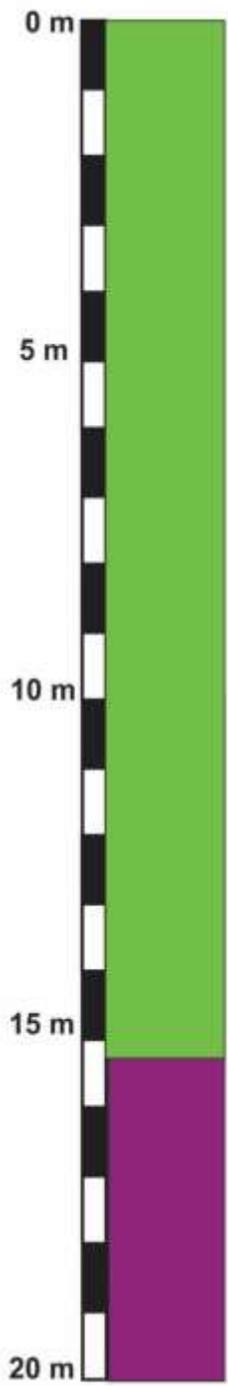
Profundidad (m)	m/día
7 m	0,012
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	

Profundidad (m)	m/día
15,5 m	0,008
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	

Profundidad (m)	m/día
20 m	0,027
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	

PIEZOMETRO 3

SAN ISIDRO



- Limo arcilloso MH
- Lahar
- Toba
- Lava volcánica

0 – 15.40 m
 Limo de alta plasticidad MH color café

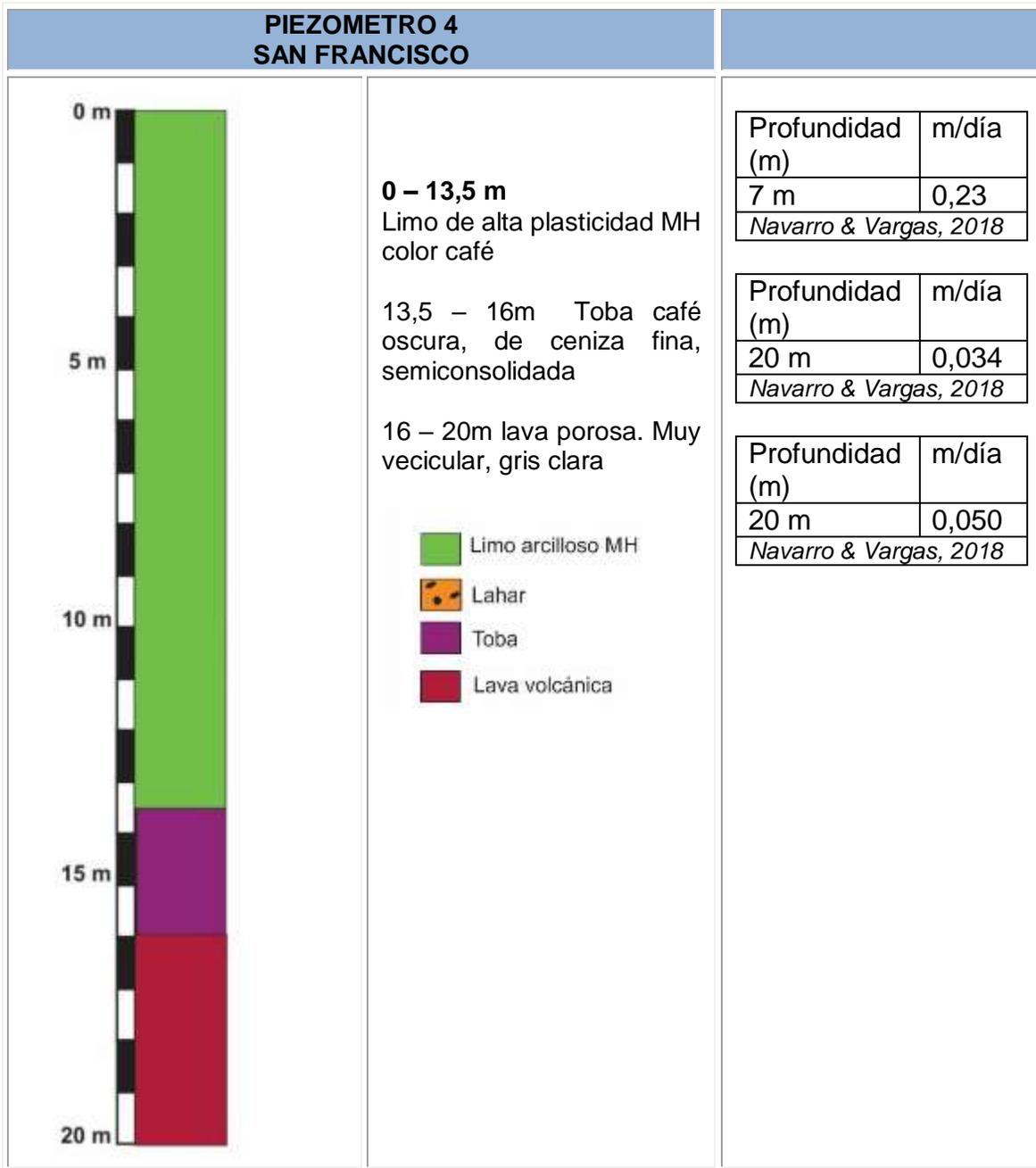
15.40m – 20m Toba café oscura, de ceniza fina, semiconsolidada

- Limo arcilloso MH
- Lahar
- Toba
- Lava volcánica

Profundidad (m)	m/día
7 m	0,004
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	

Profundidad (m)	m/día
15,5 m	0,031
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	

Profundidad (m)	m/día
20 m	0,031
<i>Navarro & Vargas, 2018</i>	



Cuadro N°13: Características de los suelos de la zona no saturada del cantón. (Navarro, 2018)

PIEZOMETRO 1						
--------------	--	--	--	--	--	--

0-6,40 m	Limo de alta plasticidad MH de color café	MH	14,4-39,1	78% / 18%	1,33	69,2
6,40 – 10 m	Lahar con matriz arcillosa, con bloques de lava andesíticas, métrico a decimétricos					
10 -16m	Toba de ceniza café oscura semiconsolidada	ML	41,9	No presenta	1,08	57,30%
16-20m	Lava porosa vacuolar, gris clara andesítica	RQ D 2,8 %				
	PIEZOMETRO 2					
0-5,4m	Limo de alta plasticidad MH de color café	MH	27,4-36,6	65% / 25%	1,38	83,9
5,4 – 20m	Toba de ceniza café oscura semiconsolidada	ML	27,9 . 40,7	No presenta	1,15	60,5-79
	PIEZOMETRO 3					
0-15,40 m	Limo de alta plasticidad MH de color café	MH	20,7-45,3	64% / 75%	1,28	70,1 - 79,2
15,40 - 20m	Toba de ceniza café oscura semiconsolidada	ML	38,90%	No presenta	1,14	no presenta
	PIEZOMETRO 4					
0-13,5m	Limo de alta plasticidad MH de color café	MH	21,5 – 37%	57 – 73%	1,25	86.3-89.9 %
13,5 - 16m	Toba de ceniza café oscura semiconsolidada	ML	37,7	No presenta	1,19	84
16-20 m	Lava porosa vacuolar, gris clara andesítica	RQ D 0				

3.7 Modelo Hidrogeológico conceptual

Para la caracterización hidrogeológica del cantón se tomó como base la información de pozos perforados, la geofísica y los piezómetros realizados.

En el cantón de San Isidro de Heredia se identifican formaciones de origen volcánico las cuales se observan en los perfiles hidrogeológicos. Las figuras N°10, N° 11, N°12, N°13 y N°14 muestran las unidades hidrogeológicas del cantón.

El perfil hidrogeológico A-B, se realizó de manera transversal al cantón, en el se determinó que en el cantón predomina un nivel de agua sub – superficial ubicado entre los limos, tobas y los lahares. Se identificó un nivel profundo a los 1140 metros de elevación. Este corresponde con un nivel de agua que se encuentra hacia la parte central del cantón y hacia el suroeste. Predominan las lavas con intercalaciones de brechas y tobas. (Figura 10)

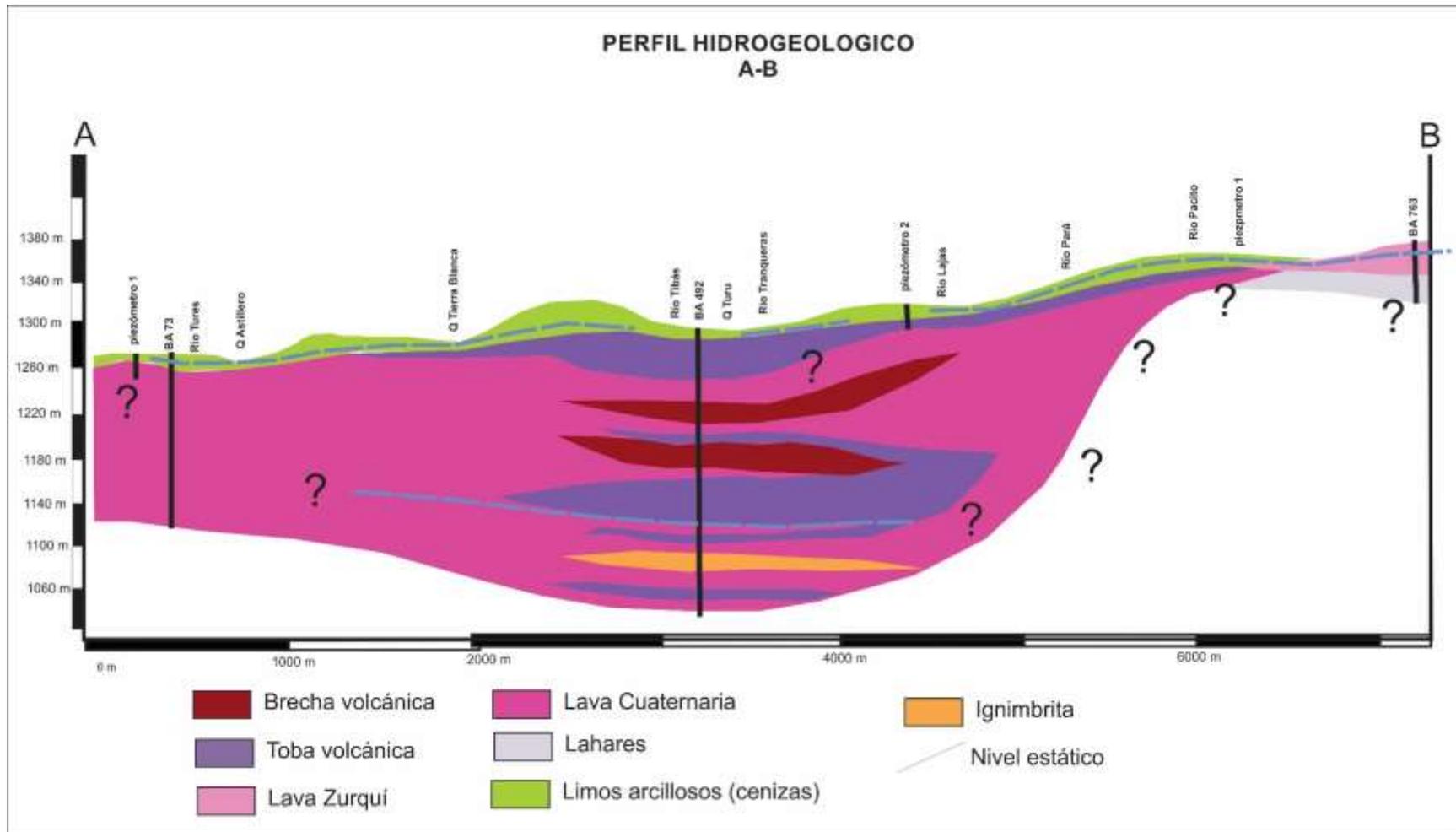


Figura Nº 9: Perfil hidrogeológico A – B

El perfil hidrogeológico C-C, se realizó hacia la parte noreste del cantón, donde se muestra el nivel de agua subsuperficial predominante en el cantón, ese corresponde a un nivel que por las diferencias de conductividades afloran entre el contacto de los limos arcillosos y lahares. (Figura 11)

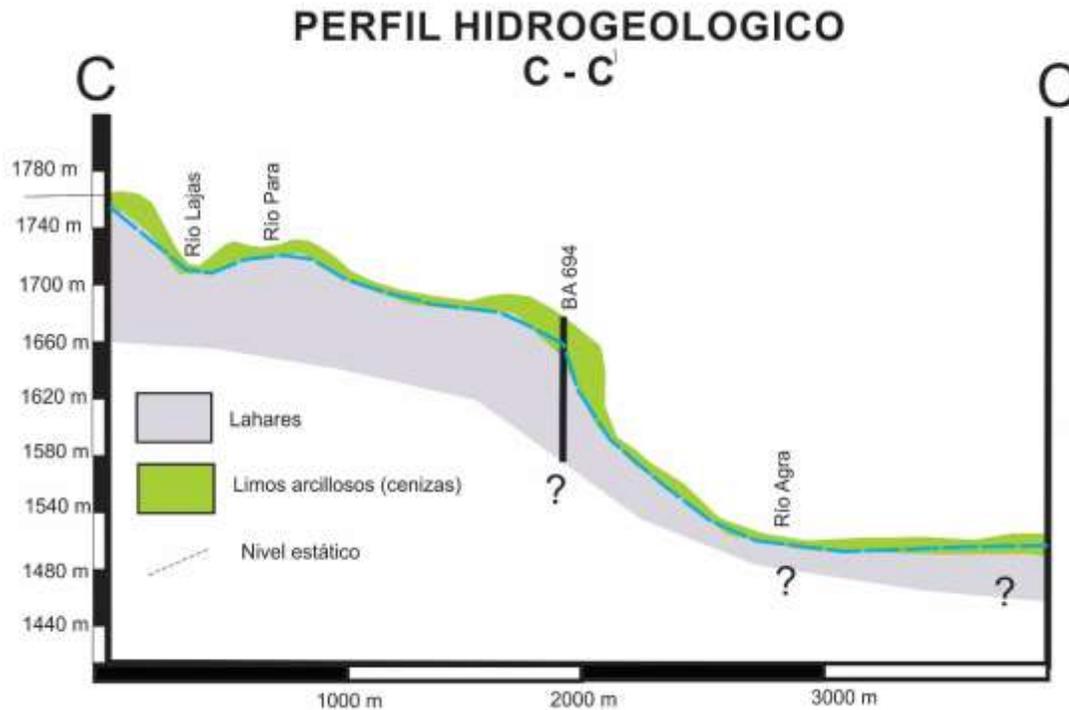


Figura N°10: Perfil hidrogeológico C – C''

El perfil hidrogeológico D-D, se muestra la misma condición mencionada anteriormente, donde se muestra el nivel de agua subsuperficial predominante en el cantón, ese corresponde a un nivel que por las diferencias de conductividades afloran entre el contacto de los limos arcillosos y lahares. (Figura 12)

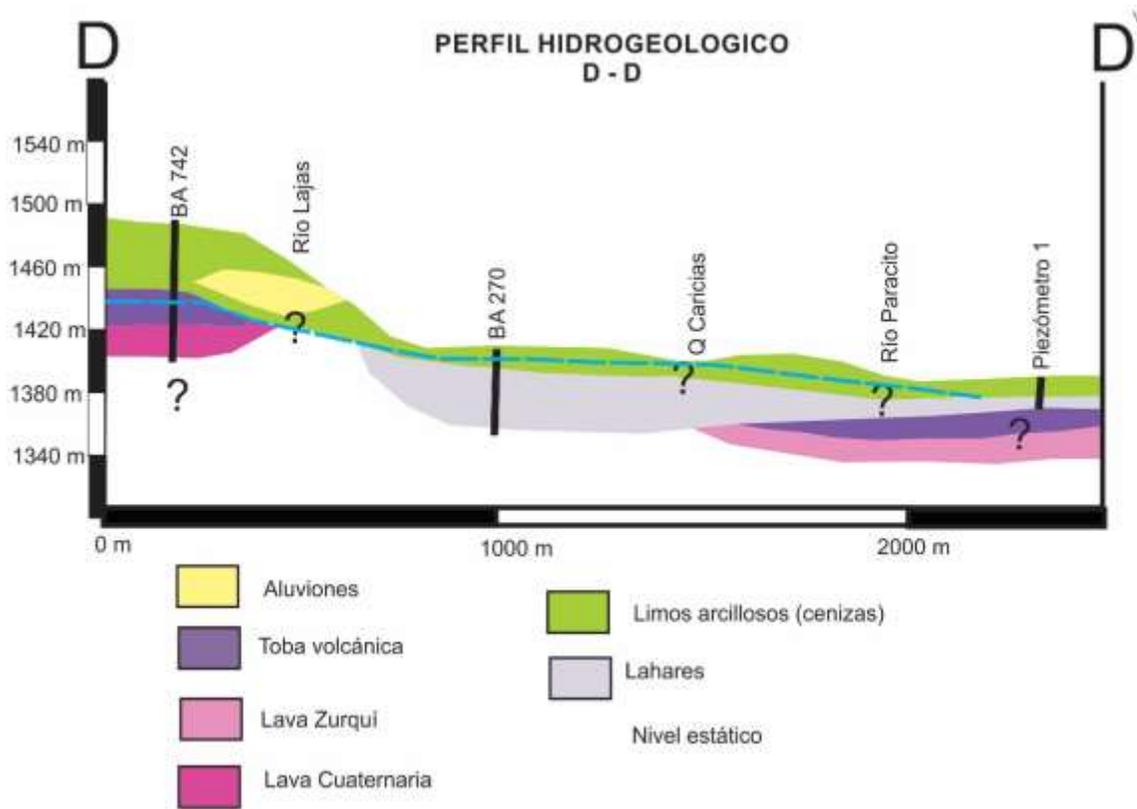


Figura N°11: Perfil hidrogeológico D - D"

El perfil hidrogeológico E-E, se muestra más hacia la parte central del proyecto, en el se identifica el nivel de agua mas profundo a una profundidad mayor de 100 metros, identificado en las lavas Cuaternario, de la Formación Colima.

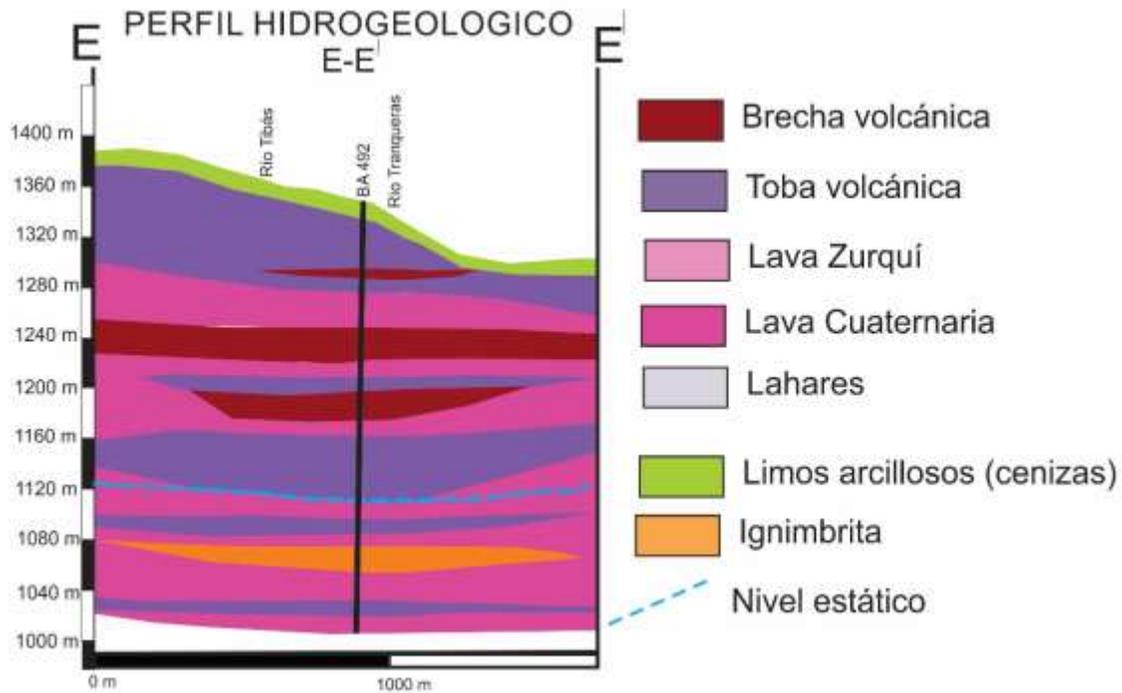


Figura N°12: Perfil hidrogeológico E - E”

El perfil hidrogeológico F-F, se realizó hacia el oeste y se identificó los limos arcillosos y la toba volcánica. Cabe mencionar que en esta zona el nivel de agua se encuentra a mayores profundidades.

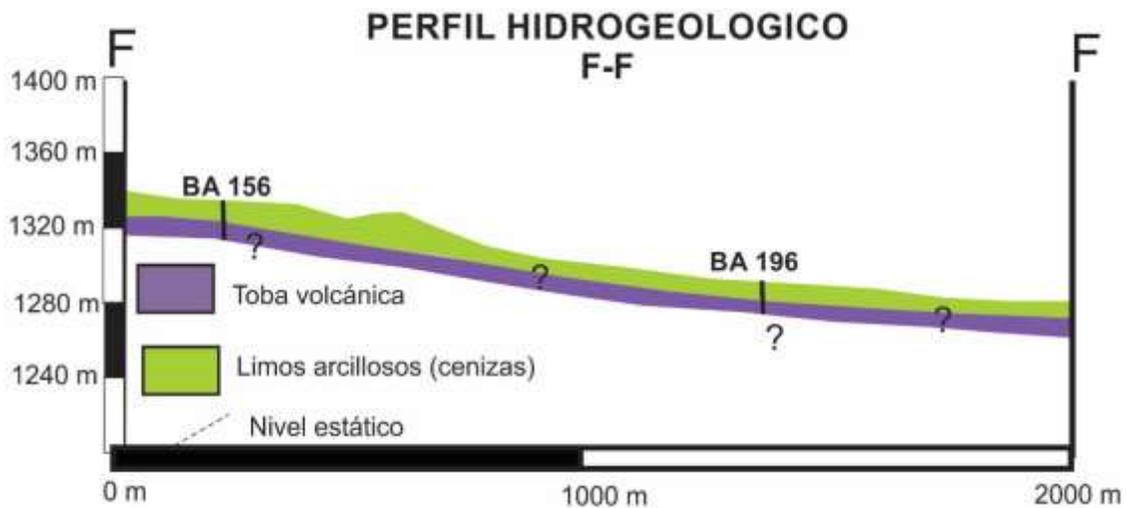


Figura N°13: Perfil hidrogeológico F – F ”

Capa de suelos de cenizas y tobas

Estas capas situadas en la parte superior de la secuencia estratigráfica, se encuentran rellenando la topografía y están compuestos por limos arcillosos, se encuentran en la mayor parte de los pozos de la zona.

Presenta espesores que van desde 2 metros hasta los 15 metros evidenciado en el piezómetro 3. Estas capas de limos arcillosos se localizan en la mayor parte del cantón y se evidencian en todos los perfiles hidrogeológicos, mientras que las tobas de cenizas volcánicas se encuentran a mayores profundidades subyaciendo a esas cenizas.

En el perfil hidrogeológico A-B, realizado de manera transversal al cantón se observan esas tobas de manera intercaladas entre las lavas andesíticas. La misma situación ocurre en el perfil hidrogeológico E-E, esas tobas presentan espesores variables de 10 a 25 metros y conductividades que van desde 0,023 m/día. Hidrogeológicamente se comporta como un acuitardo. Se correlaciona con la Formación Avalancha Ardiente.

Lahares

Estos lahares se identificaron hacia el noreste del proyecto. Se identifican en los cauces de los ríos, más hacia el este noreste del cantón y a mayores elevaciones. (perfiles hidrogeológicos C-C', D-D')

Estos Lahares presentan una matriz arcillosa con espesores de hasta 50 metros (POZO BA 756). Hacia los sectores de Santa Elena se localiza el lahar con un espesor de 62 metros de profundidad (POZO BA694), en ese pozo se evidencia el acuífero laharico del sector Norte este del cantón, caracterizado por ser pobre hidrogeológicamente ya que al tener variaciones arcillosos y arenosos, las permeabilidades también varían. Los Lahares se evidenciaron en el piezómetro 1, en Santa Elena.

Lavas de la formación Zurquí.

Estas lavas se evidencian en los pozos BA774, BA 753, BA744.

El pozo BA 744 se encuentra en Concepción de San Isidro de Heredia, se encuentran 8 metros de las lavas Zurquí a partir de los 15 metros. Para luego aparecen de los 25 a los 32 metros. Se evidencia un acuífero colgado de baja producción, corresponden con fragmentos de rocas andesíticas de variados tamaños. En el pozo BA753 se identificó con un espesor de 24 metros.

Lavas Formación Colima

Se encuentran hacia suroeste del cantón a profundidades mayores de los 65 metros. El pozo BA 756, se encuentra una lava a una profundidad a partir de los 65 metros, con un espesor de 60 metros, esta lava se caracteriza por ser una lava andesítica vacuolar gris, y hacia más profundidad menos vacuolas con una permeabilidad aparente de buena a moderada. La característica es que ese pozo se encontró seco, es decir a pesar de que unas secciones de las rocas presentan porosidad primaria no contenía agua. Posiblemente corresponde a acuíferos colgados, limitados por capas de tobas y cenizas donde la recarga es limitada.

Con base en los perfiles hidrogeológicos realizados y la información obtenida se determina que en el cantón existen varias condiciones hidrogeológicas destacables.

1. Hacia la parte noreste del cantón, hacia el sector de San Josecito, se encuentran la formación compuesta por limos y arcillas, subyacidos por lahares, y hacia las profundidades se identificaron las lavas Zurquí, con profundidades registradas a 50 metros, formando acuíferos lávicos colgados de recarga limitada.
2. Hacia las partes centrales y a profundidades mayores se puede encontrar las lavas Colimas con acuíferos profundos, pero en zonas limitadas por tobas y materiales con menores conductividades, estas lavas se encuentran hacia las partes centrales del cantón a profundidades de hasta los 200 metros.
3. En general hacia la parte superior se evidencia un nivel de agua, la cual aflora en las quebradas y ríos de la zona que ocasionan una recarga limitada

principalmente por las diferencias de conductividad hidráulica. Correspondiente a un nivel de agua subsuperficial.

El nivel de agua superficial, se encuentra en la mayor parte del cantón, esa se encuentra entre el contacto de las tobas y lahares y aflora por las diferencias de conductividades del orden de 10^{-3} m/día. Este nivel corresponde a un acuífero libre de origen volcánico, que presenta una recarga directa de lluvia y limitada por el carácter impermeable de los limos y las tobas. Mientras que hacia más profundidades se encuentran las lavas de la Formación Colima, esta corresponde con acuíferos profundos, evidenciado en el pozo BA492, donde la recarga es indirecta, igualmente limitados por las capas de tobas.

Las líneas de flujo del nivel de agua superficial se dirigen hacia el sur – suroeste, con un gradiente hidráulico de que varía de 0,016 (hacia la parte media del cantón) y 0,12 (hacia la parte alta del cantón).

Pozo	X	Y	NE (m)	Altura (m)	Elevación del agua (m)	Nivel de agua
BA0514	532000	225025	9	1602,91	1593,91	ACUIFERO SUPERIOR
BA0515	531935	224875	13	1577,48	1564,48	ACUIFERO SUPERIOR
BA0534	533700	225200	9	1548,31	1539,31	ACUIFERO SUPERIOR
BA0651	532150	224840	3,5	1568,46	1564,96	ACUIFERO SUPERIOR
BA0694	534050	225150	18	1530	1512	ACUIFERO SUPERIOR
BA0516	531960	224769	15,8	1559,35	1543,55	ACUIFERO SUPERIOR
BA0580	534550	223600	2,8	1416,78	1413,98	ACUIFERO SUPERIOR
BA0594	534950	223600	16	1419,14	1403,14	ACUIFERO SUPERIOR
BA0739	534800	224400	9	1488,63	1479,63	ACUIFERO SUPERIOR
BA0754	531630	223760	7,7	1439,97	1432,27	ACUIFERO SUPERIOR
BA0774	532600	224150	11	1469,39	1458,39	ACUIFERO SUPERIOR
BA0783	533250	224100	1	1452,61	1451,61	ACUIFERO SUPERIOR
BA0819	532640	224440	5	1481,65	1476,65	ACUIFERO SUPERIOR
BA0834	532760	223819	3	1429,26	1426,26	ACUIFERO SUPERIOR
BA0019	529900	222900	1,6	1382	1380,4	ACUIFERO SUPERIOR

BA0020	530100	222500	2,1	1359,33	1357,23	ACUIFERO SUPERIOR
BA0270	533150	223450	10,1	1402,9	1392,8	ACUIFERO SUPERIOR
BA0458	533350	223100	8,3	1388,34	1380,04	ACUIFERO SUPERIOR
BA0575	534850	223500	8,1	1417,24	1409,14	ACUIFERO SUPERIOR
BA0595	531576	222780	7	1365,95	1358,95	ACUIFERO SUPERIOR
BA0753	534900	223500	8,1	1410,37	1402,27	ACUIFERO SUPERIOR
BA0772	531575	223150	4	1389,89	1385,89	ACUIFERO SUPERIOR
BA0877	531704	223326	12	1395,41	1383,41	ACUIFERO SUPERIOR
BA0022	529900	222000	1,1	1320,47	1319,37	ACUIFERO SUPERIOR
BA0023	530000	222000	1,8	1328,1	1326,3	ACUIFERO SUPERIOR
BA0485	532440	222040	1,4	1309,21	1307,81	ACUIFERO SUPERIOR

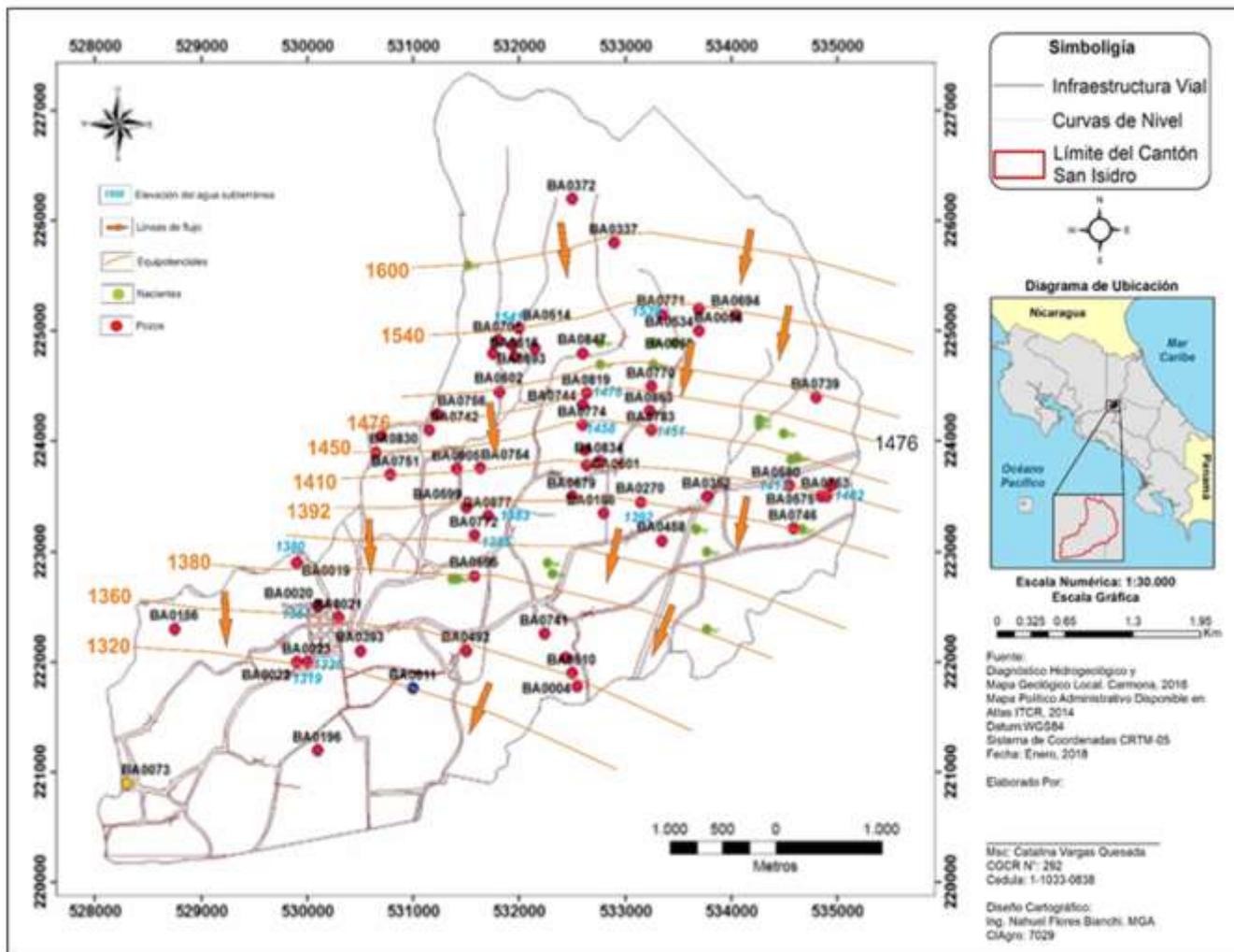


Figura 14: Mapa de líneas de flujo

CAPITULO 4

RECARGA NETA POTENCIAL CANTONAL

El balance de humedad de suelos consiste en determinar qué cantidad de la precipitación es recarga neta potencial, agua infiltrada, agua evaporada o agua de escorrentía. Para realizar el balance de humedad de suelos, se utilizó la metodología desarrollada por Schosinsky & Losilla (2000), donde son requeridos los siguientes parámetros:

- Unidades litológicas
- Capacidad de infiltración
- Climatología de la zona
- Capacidad de campo
- Punto de marchites
- Densidad aparente
- Profundidad de raíces

4.1 Unidades litológicas

Para determinar el balance hídrico de suelos se tomó como base las siguientes unidades geológicas locales para determinar las características de cada unidad:

- Unidad de Avalancha Ardiente
- Unidad de Lahares y coluvios
- Unidad de Lavas Zurquí

Unidad de lavas Zurquí	fragmentos de lava de composición ande sitico basáltica muy meteorizada, donde los clastos se encuentran inmersos en matrices de textura generalmente arcillosa hasta arenosa
Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente	Es una toba color café grisácea oscura, de matriz cinerítica la cual contiene fragmentos piroclásticos como escoria, líticos, y pómez, no soldada pero muy compacta.
Unidad de LaharesZurquí / ColuviosZuruqi	<p>LAHARES Son gravas y bloques lávicos de composición generalmente ande sitica a ande sitica basáltica inmersos en una matriz limo-areno arcillosa.</p> <p>COLUVIOS Corresponden con fragmentos de lava principalmente ande sitica de tamaño de grano variable (arenas, gravas, cantos y bloques) inmersos en una matriz por lo general arcillosa hasta arenosa.</p> <p><u>Ambos depósitos la unidad de Lahares como la unidad de coluvios presentan características texturales y granulométricas muy semejantes</u></p>

4.2 Capacidad de infiltración / cc, pm, densidad aparente

Se tomaron las características los datos de capacidad de campo, densidad aparente y punto de marchitez con base en los análisis realizados en la fase I y la fase II.

Cuadro N°14: Datos utilizados en el balance hídrico

	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Densidad aparente g / cm³	Capacidad de infiltración mm/día
Unidad de lavas Zurquí	42,86 %	31,69 %	0,79	225
Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente	40,69 %	29,21 %	1,025	2262
Unidad de LaharesZurquí / ColuviosZuruqi	43.98%	32,29 %	0,93	896,2

4.3 Climatología de la zona y evapotranspiración potencial

La estación del Instituto Meteorológico Nacional, más cercana corresponde a la de San Josecito; presenta un registro continuo de precipitación y temperatura de los años de 1971 a 2004. En la zona no existen otras estaciones meteorológicas más cercanas que presenten un registro continuo de datos. Para determinar la evapotranspiración potencial se utilizó la ecuación Blaney&Criddle (ONU, 1972, en Schosinsky, 2006). Esta ecuación contempla factores como la precipitación y el porcentaje de horas de luz solar mensual (%), tal como se muestra en el Cuadro N°14:

4.4 Balances hídricos de suelos

A continuación, se muestran los balances hídricos realizados para el cantón de San Isidro de Heredia.

4.4.1 BALANCE HIDRICO UNIDAD DE AVALANCHA ARDIENTE

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: CANTON DE SAN ISDIRO DE HEREDIA

Fecha: Unidad de Avalancha Ardiente

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] 2262,00

Kp [0.01%] 0,20

Kv [0.01%] 0,10

Kfc [0.01%] 1

I [0.01%] 1

DS (g/cm³): 1,02

PR (mm) 1000,00

HSi (mm) 415,03

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 5

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1 0,12

por peso

(%)

(mm)

CC 40,69 415,04

PM 29,21 297,94

(CC-PM) 11,48 117,10

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	130,30	88,20	71,00	94,70	254,60	270,80	228,80	263,80	324,10	330,60	254,80	183,20	2494,90
Ret [mm]	15,64	10,58	8,52	11,36	30,55	32,50	27,46	31,66	38,89	39,67	30,58	21,98	299,39
Pi (mm)	114,66	77,62	62,48	83,34	224,05	238,30	201,34	232,14	285,21	290,93	224,22	161,22	2195,51
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	131,49	121,67	139,97	141,14	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1678,21
HSi (mm)	415,04	407,66	390,33	373,92	415,03	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,86	0,56	0,13	0,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HD (mm)	231,76	187,33	154,86	159,31	341,14	355,40	318,44	349,24	402,30	408,02	341,32	278,31	
ETR (mm)	122,04	94,95	78,89	81,52	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1521,34
HSf (mm)	407,66	390,33	373,92	375,73	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	415,04	
DCC (mm)	7,38	24,71	41,12	39,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	72,84	90,90	51,12	83,86	144,57	149,33	91,93	28,91	713,47
NR (mm)	16,83	51,43	102,20	98,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	269,38

4.4.2 BALANCE HIDRICO UNIDAD COLUVIAL –LAHARES

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: CANTON DE SAN ISDIRO DE HEREDIA
Fecha: Unidad de Lahares y coluvios

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	896,20		
Kp [0.01%]	0,20		
Kv [0.01%]	0,10		
Kfc [0.01%]	0,95409		
I [0.01%]	1		
DS (g/cm ³):	0,93		
PR (mm)	1000,00		
HSi (mm)	409,01		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0,2, otros=0,1	0,12		

		por peso	
		(%)	(mm)
	CC	43,98	409,01
	PM	32,29	300,30
	(CC-PM)	11,69	108,72

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	130,30	88,20	71,00	94,70	254,60	270,80	228,80	263,80	324,10	330,60	254,80	183,20	2494,90
Ret [mm]	15,64	10,58	8,52	11,36	30,55	32,50	27,46	31,66	38,89	39,67	30,58	21,98	299,39
Pi (mm)	114,66	77,62	62,48	83,34	224,05	238,30	201,34	232,14	285,21	290,93	224,22	161,22	2195,51
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	131,49	121,67	139,97	141,14	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1678,21
HSi (mm)	409,01	402,36	386,68	373,45	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,85	0,53	0,08	0,14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HD (mm)	223,38	179,68	148,87	156,49	332,76	347,02	310,06	340,86	393,93	399,65	332,94	269,93	
ETR (mm)	121,31	93,30	75,71	80,53	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1514,80
HSf (mm)	402,36	386,68	373,45	376,25	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	409,01	
DCC (mm)	6,65	22,33	35,56	32,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	72,84	90,90	51,12	83,86	144,57	149,33	91,93	28,91	713,47
NR (mm)	16,83	50,70	99,82	93,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,72

4.4.3 BALANCE HIDRICO UNIDAD DE LAVAS ZURQUI

BALANCE HIDRICO DE SUELOS														
Gunther Schosinsky														
Zona de Estudio:	CANTON DE SAN ISDIRO DE HEREDIA													
Fecha:	Unidad de Lavas del Zurqui													
Textura de Suelo:														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	225,00													
Kp [0.01%]	0,10													
Kv [0.01%]	0,10													
Kfc [0.01%]	0,68845						por peso (%) (mm)							
I [0.01%]	0,88845						CC		42,86		338,59			
DS (g/cm ³):	0,79						PM		31,69		250,35			
PR (mm)	1000,00						(CC-PM)		11,17		88,24			
HSi (mm)	677,18													
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	5													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0,12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	130,30	88,20	71,00	94,70	254,60	270,80	228,80	263,80	324,10	330,60	254,80	183,20	2494,90	
Ret [mm]	15,64	10,58	8,52	11,36	30,55	32,50	27,46	31,66	38,89	39,67	30,58	21,98	299,39	
Pi (mm)	101,87	68,96	55,51	74,04	199,06	211,72	178,88	206,25	253,39	258,47	199,21	143,23	1950,60	
ESC (mm)	12,79	8,66	6,97	9,30	24,99	26,58	22,46	25,90	31,82	32,45	25,01	17,98	244,91	
ETP (mm)	131,49	121,67	139,97	141,14	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1678,21	
HSi (mm)	338,59	331,04	319,88	305,40	677,18	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59		
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
C2	0,66	0,32	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
HD (mm)	190,12	149,65	125,04	129,09	625,88	299,96	267,13	294,49	341,64	346,72	287,45	231,48		
ETR (mm)	109,42	80,12	69,99	70,57	151,20	147,40	150,22	148,28	140,64	141,60	132,29	132,31	1474,04	
HSf (mm)	331,04	319,88	305,40	308,87	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59	338,59		
DCC (mm)	7,55	18,72	33,19	29,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Rp (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	386,44	64,32	28,66	57,97	112,75	116,87	66,92	10,92	844,87	
NR (mm)	29,62	60,26	103,18	100,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	293,35	

Cuadro Nº15: Resultados del balance hídrico

	Recarga Neta Potencial mm/año
Unidad de lavas Zurquí	844,87
Unidad de depósitos de Avalancha Ardiente	713,47
Unidad de LaharesZurquí / ColuviosZuruqi	<u>713,47</u>

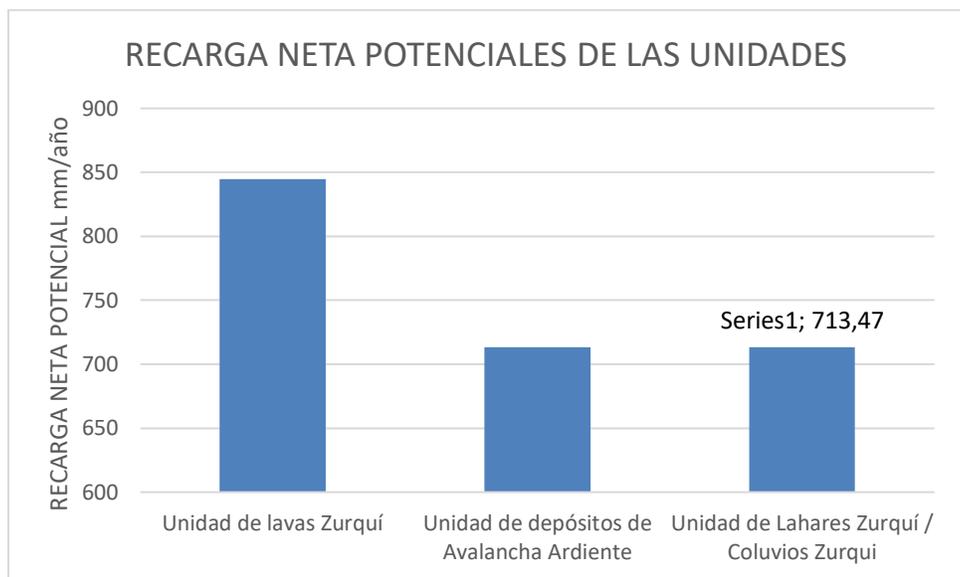


Grafico 3: Datos de Recarga neta potencial de las unidades establecidas.

En la gráfica se observa las recargas netas potenciales de las unidades establecidas se establecen valores que varían de entre 713,47 mm /año y 844,87 mm/año. Al aplicar la metodología establecida se definen dos categorías: zonas de recarga neta potencial alto y las zonas con recarga neta potencial baja.(Figura15)

La categoría anterior se tomó en cuenta la recarga máxima y mínima, se determinó la siguiente clasificación:

Recarga neta mm/año	Categorías establecidas	
Muy alta	844,87	818,59
alta	818,59	792,31
Media	792,31	766,03
baja	766,03	739,75
Muy baja	739,75	713,47

Con base en la clasificación anterior en el cantón se definen las zonas de recarga neta muy baja y muy alta.

La recarga hídrica del cantón se concentra en el sector norte, dentro del distrito de Concepción. La mayoría de estos terrenos se localizan dentro de los límites del Parque Nacional Braulio Carrillo, lo que garantiza la conservación de los recursos del bosque y el suelo que permitirán mantener la recarga hídrica cantonal. ya que como se comentó anteriormente, ya que la capa de limos y tobas de la parte superior retardan la infiltración, ocasionando más la escorrentía y el flujo de agua subsuperficial aflorante en los ríos, correspondiente al nivel de agua más superior.

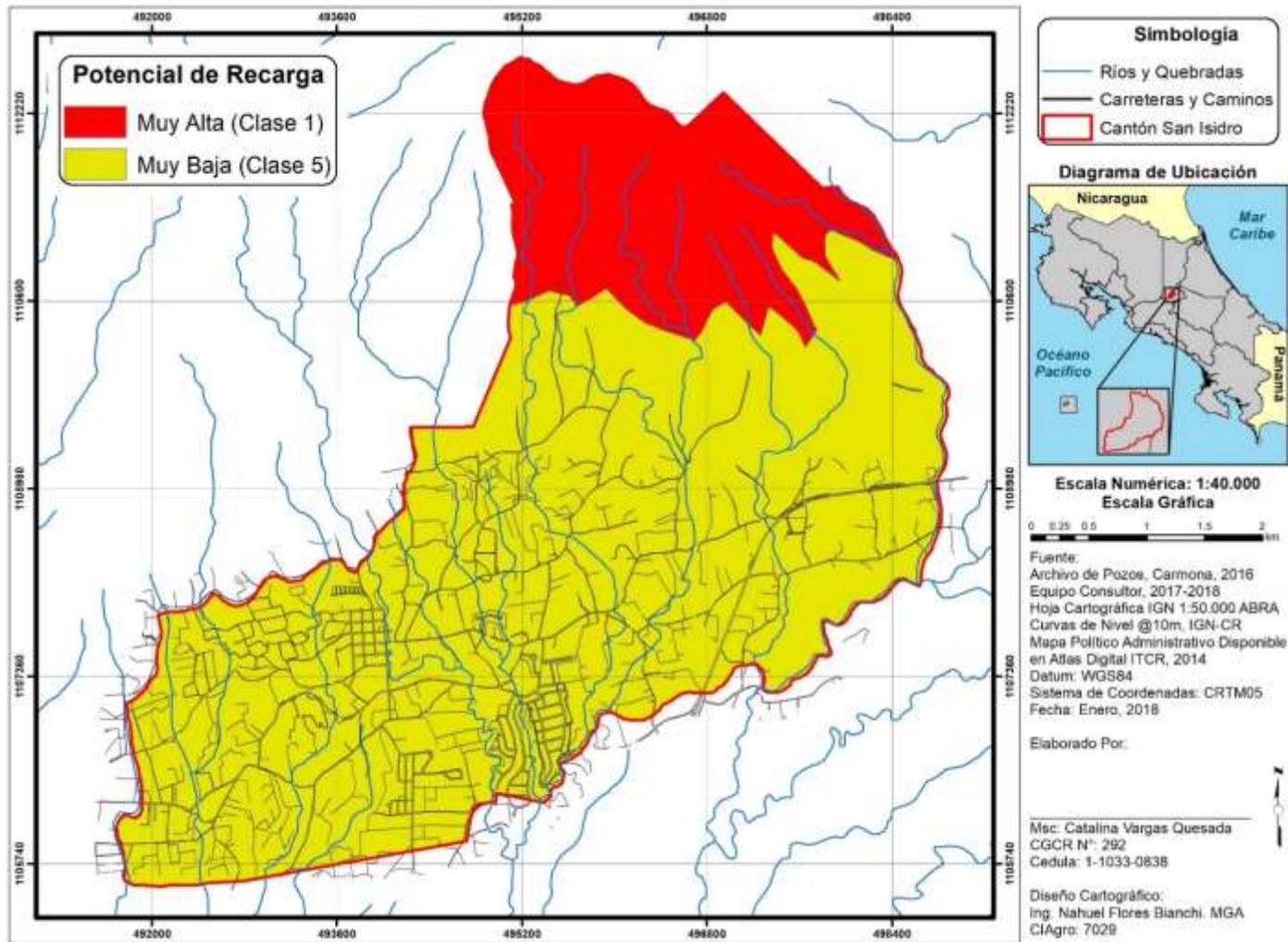


Figura N°15: Mapa de recarga neta potencial

CAPITULO 5

VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA INTRINSECA

5.1 Metodología

Como resultado del análisis de todas las variables consideradas, se presentan los cálculos y mapas que muestran la vulnerabilidad de los acuíferos cantonales. Este método determina la vulnerabilidad hidrogeológica de un acuífero o cuenca (Foster and Hirata, 1991), tomando en cuenta tres parámetros importantes que controla la penetración de una carga contaminante hacia el acuífero. Los parámetros establecidos por este método son los siguientes:

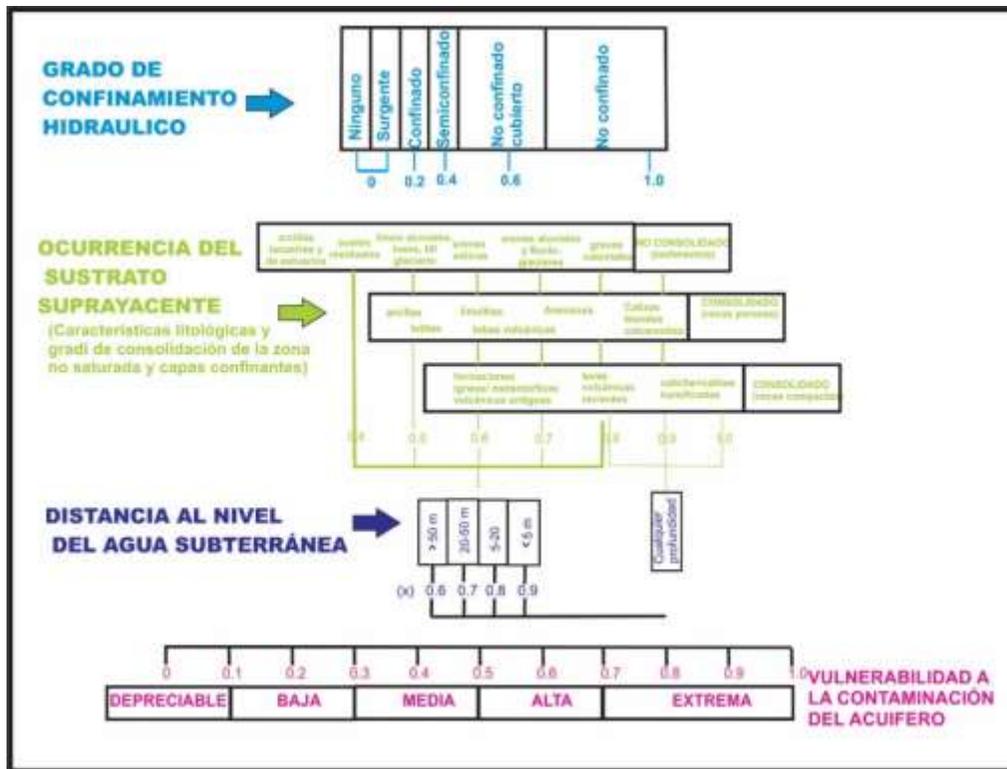
- 1) Distancia al nivel freático.
- 2) El tipo de Ocurrencia del agua subterránea (grado de confinamiento).
- 3) el Substrato litológico (litología y grado de consolidación).

Con los tres parámetros establecidos se procede a realizar una multiplicación de los valores asignados, para posteriormente ubicarlos en el rango de la vulnerabilidad del acuífero.

Para determinar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero se utilizó la metodología GOD, (*en ingles: Ground wáter hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to ground wáter table*) la cual se basa en los tres parámetros ya indicados.

El método GOD es sólo el primer paso para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca, para posteriormente tomar en cuenta la carga contaminante, o sea la ubicación de las fuentes de contaminación existentes o futuras.

En el esquema que establece el proceso y metodología para el cálculo de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.



Esquema para determinar la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, método GOD (Tomado de Foster and Hirata, 1991)

Los parámetros establecidos para cada factor son los siguientes:

- 1) Distancia al nivel freático: El índice de este parámetro tiene una escala entre 0,4 y 1,0
- 2) El tipo de ocurrencia del agua subterránea: se refiere al grado de confinamiento hidráulico. El índice de este parámetro tiene una escala entre 0,0 y 1,0
- 3) el Substrato litológico (litología y grado de consolidación). El índice de este parámetro tiene una escala entre 0,4 y 1,0.

El índice final de la vulnerabilidad de acuíferos según el método GOD, es el producto de los índices obtenidos, para cada uno de estos parámetros, teniendo un rango entre 0 y 1, es decir vulnerabilidad de depreciable, baja, media, alta y extrema, de acuerdo con los siguientes criterios de clasificación

Cuadro N°16: Clases de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Foster et. al, 2003)

Índice	Clase de vulnerabilidad	Definición
0 – 0,1	Despreciable	Presencia de capas confinantes, en las que el flujo vertical es insignificante
0,1 – 0,3	Baja	Solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
0,3 – 0,5	Media	Vulnerable a algunos contaminantes conservativos cuando son descargados o lixiviados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
0,5 – 0,7	Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados), en muchos escenarios de contaminación
0,7 - 1	Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.

Para realizar el análisis de la vulnerabilidad se procedió a determinar la profundidad del nivel estático, la litología de la zona no saturada y el tipo de acuífero. En función de estas características a cada uno se le asigna un valor, para luego multiplicar estos valores, y asignar un número para calificar la vulnerabilidad.

5.2 Distancia al nivel freático

Para definir la distancia se utilizó la información obtenida en los pozos y piezómetros realizados ubicándolos en los siguientes rangos:

Distancia	Valor
Menos de 5 m	0.9
De 5m- 20 m	0.8
De 20 m – 50 m	0.7
Mayor de 50m	0.7

Analizando cada pozo se utilizaron los siguientes pozos, para determinar la distancia del nivel del agua, cabe mencionar que en los piezómetros realizados a 20 metros de profundidad no se identificó el nivel del agua.

Cuadro N°17: Pozos utilizados para determinar el parámetro GOD, distancia del nivel del agua.

Pozo	X	Y	NE	Profundidad de agua
BA0514	532000	225025	9	De 5m- 20 m
BA0515	531935	224875	13	De 5m- 20 m
BA0534	533700	225200	9	De 5m- 20 m

BA0651	532150	224840	3,5	Menos de 5 m
BA0694	534050	225150	18	De 5m- 20 m
BA0701	531800	224920	39	De 20 m – 50 m
BA0516	531960	224769	15,8	De 5m- 20 m
BA0580	534550	223600	2,8	Menos de 5 m
BA0594	534950	223600	16	De 5m- 20 m
BA0637	532625	223920	61	Mayor de 50m
BA0739	534800	224400	9	De 5m- 20 m
BA0742	531150	224100	51	Mayor de 50m
BA0754	531630	223760	7,7	De 5m- 20 m
BA0774	532600	224150	11	De 5m- 20 m
BA0783	533250	224100	1	Menos de 5 m
BA0819	532640	224440	5	De 5m- 20 m
BA0834	532760	223819	3	Menos de 5 m
BA0863	533233	224275	26	De 20 m – 50 m
BA0019	529900	222900	1,6	Menos de 5 m
BA0020	530100	222500	2,1	Menos de 5 m
BA0270	533150	223450	10,1	De 5m- 20 m
BA0458	533350	223100	8,3	De 5m- 20 m
BA0575	534850	223500	8,1	De 5m- 20 m
BA0595	531576	222780	7	De 5m- 20 m
BA0753	534900	223500	8,1	De 5m- 20 m
BA0772	531575	223150	4	Menos de 5 m
BA0877	531704	223326	12	De 5m- 20 m
BA0022	529900	222000	1,1	Menos de 5 m
BA0023	530000	222000	1,8	Menos de 5 m
BA0485	532440	222040	1,4	Menos de 5 m
BA0492	531500	222100	####	Mayor de 50m
BA0510	532500	221900	26,7	De 20 m – 50 m
BA0611	531000	221900	####	Mayor de 50m

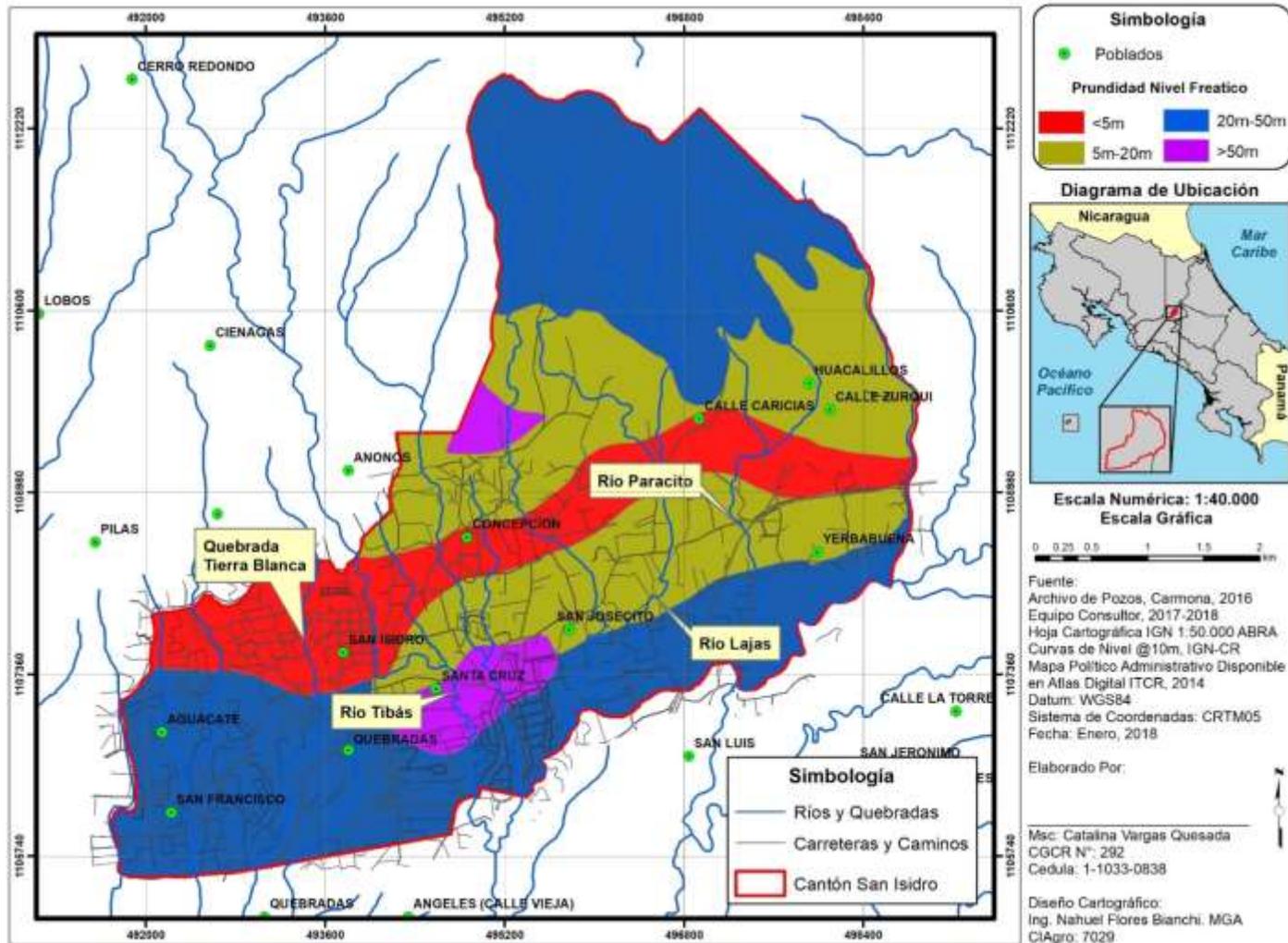


Figura N° 16: Mapa de Distancia del nivel de agua

5.3 Grado de confinamiento hidráulico

Para determinar el grado de confinamiento del acuífero se tomó en cuenta la profundidad del nivel de agua de cada pozo y el espesor de la zona no saturada. En el cantón existen los materiales de origen volcánico ocasionando acuíferos compuestos por lavas y lahares.

Como se mostró anteriormente se definieron acuíferos libres, semiconfinados y confinados asignándoles un valor a cada categoría. Esto también esta e función de la profundidad del agua subterránea.

Cuadro N°18 Grado de confinamiento

Categoría	Valor
Confinado	0.2
Semiconfinado	0.4
Libre	0.5
No confinado	0.7

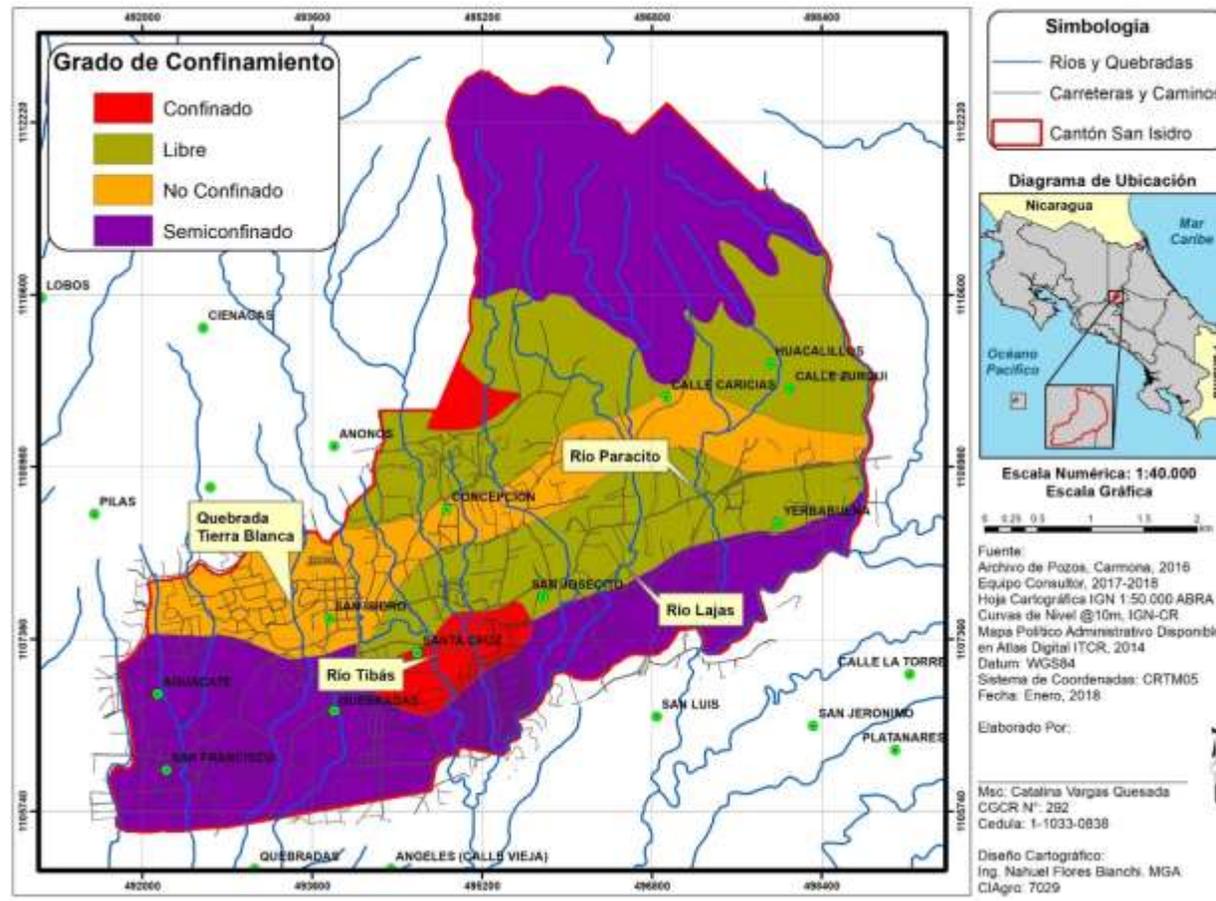


Figura N° 17: Mapa de grado confinamiento

5.4 Substrato litológico

Este parámetro se refiere al tipo de litología de la zona no saturada, por lo que al igual que los otros parámetros se realizó basado en la descripción de las columnas litológicas de los pozos registrados en la zona y la geología local del cantón.

Las tablas de valores para la calificación de las zonas de cada uno de los mapas es la siguiente:

Cuadro N°19 Sustrato Litológico

Litología	Valor
Lahares y Coluvios	0.8
Tobas	0.6
Formaciones Igneas, Lavas Zurquí	0.6

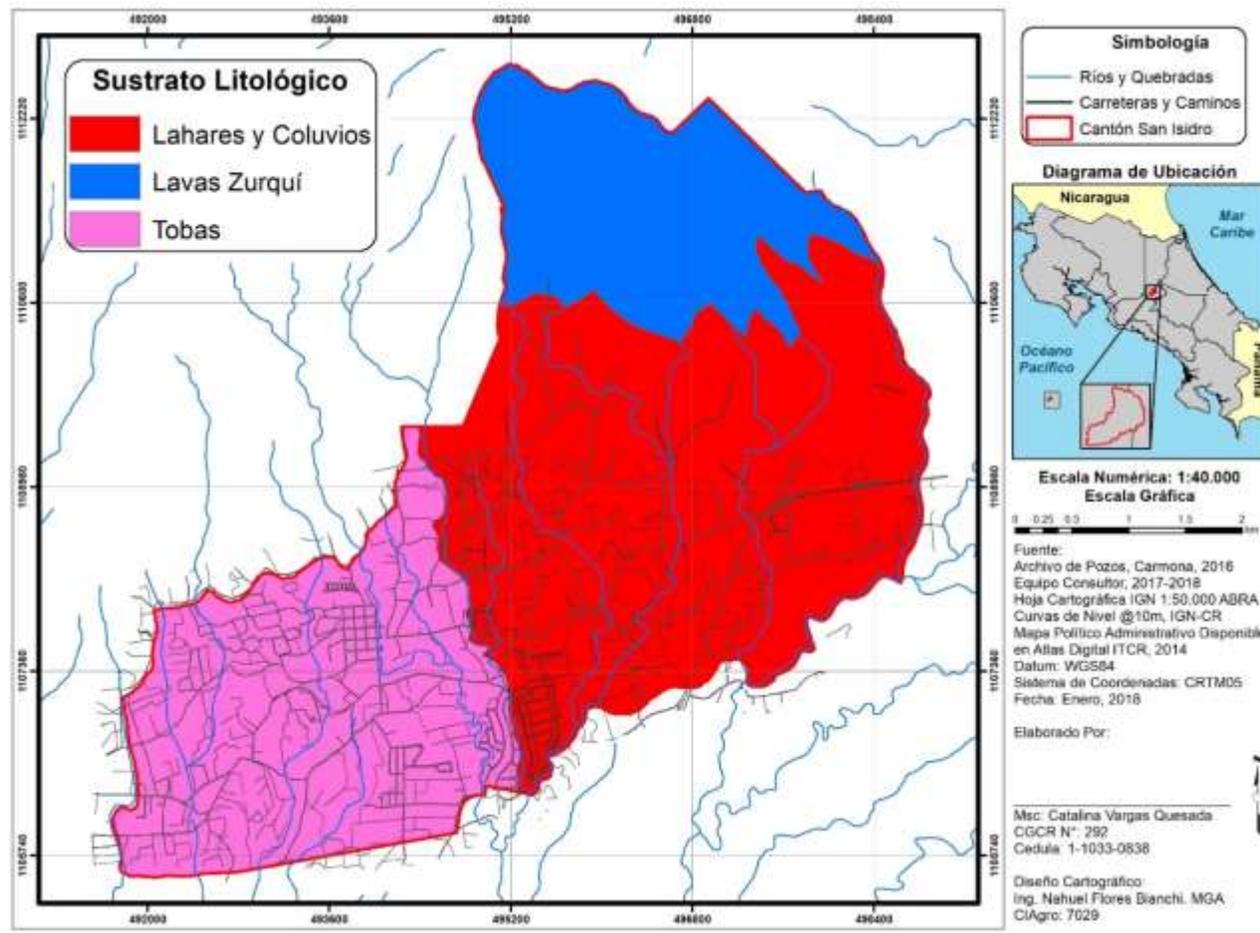


Figura N° 18: Mapa de sustrato litológico.

5.5 Mapa de vulnerabilidad del acuífero.

Las características hidrogeológicas del cantón muestran una confluencia de materiales con propiedades hidráulicas muy variadas (coladas de lava, materiales Vulcano clásticos) los cuales presentan diversos grados de alteración y composición. Los acuíferos reconocidos son La Libertad y Colima Superior. Para establecer las características hidrogeológicas, mismas que determinan en su conjunto la vulnerabilidad o no, de los acuíferos del cantón se tomó en cuenta los pozos registrados en la zona.

El producto final del mapa de vulnerabilidad corresponde a la suma de cada uno de los polígonos obtenidos de las siguientes variables: profundidad del nivel del agua, sustrato litológico y grado de confinamiento del acuífero (ver mapas N°8, N°9 y N°10. Mediante un sistema de información geográfica y usando la aplicación algebra de mapas se obtiene el resultado esperado, que se muestra en la Figura N° 19, utilizando la siguiente tabla de valores:

Cuadro N°20 Valores para clases de vulnerabilidad

Índice	Clase de vulnerabilidad
0 – 0,1	Despreciable
0,1 – 0,3	Baja
0,3 – 0,5	Media
0,5 – 0,7	Alta
0,7 - 1	Extrema

Como se observa en el mapa de vulnerabilidad del cantón de San Isidro de Heredia, la metodología utilizada estableció únicamente dos categorías de vulnerabilidad de los acuíferos: una de vulnerabilidad baja que se localiza en la parte central del cantón sobre el eje este- oeste y una vulnerabilidad media, que se ubica en el sector norte (P.N.Braulio Carrillo) y en el sector sur (terrenos planos poco poblados colindantes con Santo Domingo y San Pablo especialmente.

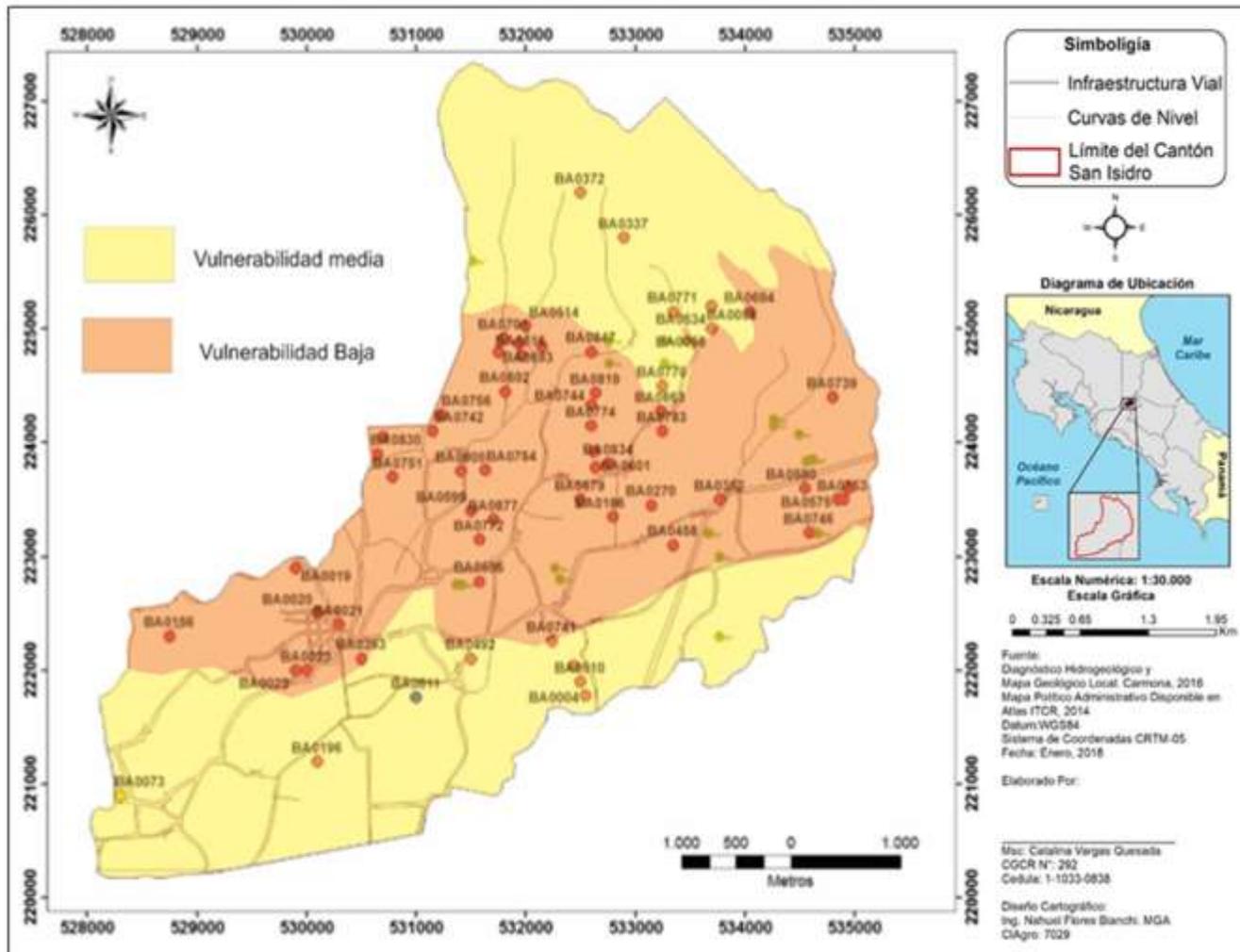


Figura N° 19: Mapa de Vulnerabilidad

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se utilizó la metodología recomendada por SENARA para las perforaciones de suelos, las pruebas de infiltración y el cálculo de los perímetros de protección a los pozos y manantiales, además se trazaron las zonas de protección hidro geomorfológica para los manantiales.
2. Se calculó la vulnerabilidad del acuífero con el método GOD, utilizando los parámetros de distancia al nivel freático, grado de confinamiento del acuífero y el sustrato litológico.
3. SE identificaron las zonas con recarga potencial del acuífero, utilizando la metodología de Schosinskyi & Losilla, utilizando los parámetros de unidades litológicas, capacidad de infiltración, climatología, punto de marchites, densidad aparente y profundidad de raíces.
4. En forma sintética, los resultados son los siguientes:
 - a) Existe una zona de recarga potencial alta del acuífero al norte del cantón, arriba de la coordenada 1110600, la mayoría de esos terrenos se ubican dentro de los límites del Parque Nacional Braulio Carrillo. El resto del cantón se califica como recarga potencial muy baja.
 - b) Existe una zona de baja vulnerabilidad hidrogeológica, ubicada hacia el sector central del cantón sobre el eje este-oeste, que ocupa el 12.61 Km² y representa el 47.4% del área cantonal. La zona de vulnerabilidad media se localiza en el sector norte y sur del cantón, con un área de 14.04 Km² ocupando un 52.6 % del cantón. No se identificaron áreas con una vulnerabilidad alta a la contaminación, debido a las características litológicas y de recarga identificadas.
5. Las restricciones de uso para los terrenos en el plan regulador, estarán de acuerdo con la matriz de vulnerabilidad genérica de protección de acuíferos publicada por SENARA y ajustada para el caso específico del cantón de San Isidro de Heredia utilizando los resultados del presente estudio.

6. Las zonas de protección absoluta de ríos, quebradas, manantiales y pozos, deberán ser respetadas y dedicadas solamente a conservación, no hay actividades compatibles con estas áreas.
7. Cualquier modificación al Mapa de Vulnerabilidad presentado estará en función de estudios de detalle para el sitio y a la obtención de nuevos parámetros hidráulicos, que permitan un mayor detalle al mapa.
8. La Municipalidad de San Isidro de Heredia deberá mejorar su sistema de información en oficina y en campo en cuanto a las fuentes utilizadas para abastecimiento.
9. Para todos aquellos lotes con el área mínima para uso residencial o lotes consolidados con áreas menores a las mínimas, se eliminara el uso de tanque séptico y en su lugar se utilizara el sistema de tratamiento de aguas residuales denominada sistema FAFA.
10. Para lotes mayores a los 2.500 m² en cualquiera de las zonas del plan regulador, no se permitirá el desfogue de aguas pluviales a las redes colectoras, siendo como un requisito confinar todas las pluviales dentro del predio.
11. Los resultados del estudio de vulnerabilidad del acuífero serán incorporados al plan regulador como normas del reglamento de zonificación, que garanticen la protección del recurso de agua subterránea.
12. Una vez elaborado el proceso técnico de integración de la variable hidrogeológica al plan regulador urbano, la Municipalidad de San Isidro de Heredia, informara de los resultados a SENARA dentro del proceso de aprobación del plan regulador.

CAPITULO 7 ***REFERENCIAS***

- ✓ ALVARADO, G., 1989: Los volcanes de Costa Rica. -175 págs. Editorial UNED, San José, Costa Rica.
- ✓ ALVARADO, G.E. & GANS, P.B., 2012: Síntesis geomorfológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. Rev. Geol. Amér. Central, 46: 7 – 122.
- ✓ ANÓNIMO, 1975: Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas de Costa Rica.- 261 págs. ONU, San José.
- ✓ ARIAS, M., 2002: La prospección geoeléctrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología.- Rev. Geol. América Central, 27: 21-26.
- ✓ ARREDONDO, S., 1994: Aguas subterráneas y Fuentes Termales- en Denyer, P. & Kussmaul, S. (compiladores), (1994): Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica - Edit. Tecnológica de Costa Rica: 98-108 págs.
- ✓ ARREDONDO, S., SOTO, J.G., 2006: Edad de las lavas del miembro Los Bambinos y sumario científico de la Formación Barva, Costa Rica. Revista geológica de América Central, 34: 59-71.
- ✓ ASTORGA, A. & ARIAS, M., 2003: Mapa de geoaptitud hidrogeológica de Costa Rica: implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. - Rev. Geol. América Central, 29: 95-101.
- ✓ BALLESTERO, M., 2013: Agenda del agua de Costa Rica 2013-2030.-144 págs. Internacional Atomic Energy Agency, ONU [Inf. Técnico].
- ✓ BGS & SENARA, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. - Escala 1:50.000, E.S.R. Limited, Inglaterra.
- ✓ CALVO, J., 1999: Principios de hidrología forestal tropical. -136 págs. Inst. Technol. Costa Rica, Esc. Ing. Forestal, Cartago, Costa Rica.
- ✓ CARMONA, T., 2016: Evaluación hidrogeológica del cantón San Isidro de Heredia y su aplicación a la conservación del recurso hídrico, planificación urbana y ordenamiento territorial. - 132 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ✓ CASTRO, A., 1999: Caracterización hidrogeológica y manejo de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Tibás macizo Zurquí, Valle Central Costa Rica.- 176 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ✓ CROSBY, I.R., 1943: Geología del cañón del río Virilla: Meseta Central de Costa Rica.- 19 págs. Dpto. Nacional de Agricultura, [Informe Técnico].
- ✓ CUSTODIO, E., & LLAMAS, M., 1983: Hidrogeología Subterránea. Tomo I. – 1155 págs. Ed. Omega S.A. Barcelona, España.
- ✓ DOBLES, L., 1934: La provincia de Heredia: Apuntamientos Geográficos.- págs. 160 págs. Imprenta y Librería Lehmann, 1934, San José.
- ✓ ECHANDI, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente norte del río Virilla.- 123 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].
- ✓ FERNÁNDEZ, M., 1969: Datos generales sobre manantiales y brotes localizados durante los reconocimientos geológicos de las partes norte y este de la cuenca del río Virilla. -14 págs. SENAS, San José [Inf. Interno 54].
- ✓ FOSTER, S., 1987: Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. - Proceedings and Information of International Conference: Vulneability of Soil and Groundwater to Pollutants, 38: 69-86.

- ✓ FOSTER, S., HIRATA, R., GOMEZ, D., 2003: Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. -115 págs. Ed. Banco Mundial, Washington, DC.
- ✓ GONZALES, M., LOPEZ, D., CARMONA, T., 2015: Estudio Hidrogeológico de los cantones de Santa Bárbara, San Rafael, y San Isidro de la provincia de Heredia. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Univ. de Costa Rica.
- ✓ GÓMEZ, A., 1987: Evaluación del potencial de los acuíferos y diseño de las captaciones de agua subterránea en la zona de Puente de Mulas, provincia de Heredia, Costa Rica.- 23 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ✓ HARGREAVES, G., & SAMANI, Z., 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature. -Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- ✓ HENRÍQUEZ, H., & CABALCETA, C., 1999: Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. -111 págs. ACCS-UCR, San José.
- ✓ HERRERA, W. 1985. Clima de Costa Rica. Pp. 9-118. En: L. D. Gómez Pignataro (ed.), Vegetación y Clima de Costa Rica, volumen 2. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica
- ✓ HIDALGO, P., ALVARADO, G., LINKIMER, L., 2004: La lavina del Valle Central (Costa Rica): ¿Lahar o Debris Avalanche?. - Rev. Geol. América Central, 30: 101-109.
- ✓ LOSILLA, M. & RODRÍGUEZ, H., 1994: Normas para el cálculo de los tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea. AyA, San José. [Inf. Interno].
- ✓ LOSILLA, M., 1992: Mapa de fuentes de acueductos y sus áreas de recarga. - 17 págs. FUNDECOR, Heredia.
- ✓ LOSILLA, M., RODRIGUEZ, H., SHOSINSKY, G., STIMSON, J., BETHUNE, D., 2001: Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. -205 págs. Ed. De la Universidad de Costa Rica, San José.
- ✓ MADRIGAL, R., & ROJAS, E., 1980: Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica.-79 págs. SEPSA, San José.
- ✓ PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno medio (0,33 Ma) del Valle Central de Costa Rica.- 170 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis de Lic.].
- ✓ PROTTI, R., 1986: Geología del flanco sur del Volcán Barva. Boletín de Vulcanología de la Universidad Nacional, 17: 23-31.
- ✓ RAMÍREZ, R. & ALFARO, A., 2002: Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica. - Rev. Geol. América Central, 27: 53-60.
- ✓ RAMOS, V., 2001: Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos de un sector al Noreste del Valle Central, Costa Rica. - 78 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ✓ RODRIGUEZ, H.V., 1980: Condiciones de recarga y descarga del acuífero del campo de pozos de la Valencia de Heredia. – 26 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].

- ✓ SÁENZ, L., 2015: Estudio geológico y geofísico para la ubicación de un pozo proyecto zona de San Isidro de Heredia ESPH. Empresa de Servicios Públicos de Heredia. [Informe Técnico].
- ✓ SÁNCHEZ, X., FERNANDEZ., G., 2007: Gestión de los recursos hídricos: los modelos hidrogeológicos como herramienta auxiliar. - Rev. De la Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 15(3):250-256.
- ✓ SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. - Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- ✓ SCHOSINSKY, G., 1998: Modelo de flujo para la zona no saturada: zonosa.- Rev. Geol. América Central, 21: 69-80.
- ✓ SCHOSINSKY, G., 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. - Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 13-30.
- ✓ SENARA, 2015. Gaceta No. 137 del jueves 16 de julio del 2015. Metodología de Estudios Hidrogeológicos y los Términos de Referencia para Planes Reguladores. Reglamento de la Transición para la Revisión y Aprobación de Planes Reguladores. San José, Costa Rica.
- ✓ SENARA, BGS, 1985: Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica.- Escala 1:50 000. SENARA, BGS, San José.
- ✓ SHOSINSKY, G., 2006: Cálculo de recarga potencial de acuíferos mediante balance hídrico de suelos.- Rev. Geol. América Central, 19/20:13-30.
- ✓ TODD, D.K., 1980: Ground water hydrology. - 336 págs. John Wiley, Nueva York.
- ✓ UNESCO, 2007: Balance hídrico superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°10.-49 págs. UNESCO, Uruguay.
- ✓ VARGAS, A., 1994: Evaluación de características químicas de aguas superficiales e hidrogeológicas en las subcuencas parte alta río Virilla y río Durazno, cantón de Vásquez de Coronado, Provincia de San José, Costa Rica.-239 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ✓ WILLIAMS, H., 1952: Volcanic history of the Meseta Central Occidental Costa Rica. University of California Publications in Geological Sciences, 29(4):145-178.

ANEXOS