

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**  
**ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA**

**Modelo hidrogeológico y disponibilidad hídrica de la cuenca  
hidrográfica Huacas-Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste.**

**Tesis de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en  
Geología**

**José Daniel Vargas Bolaños**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio**

**Febrero, 2019**



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

## BOLETA DE AUTORIZACIÓN DEL AUTOR PARA PUBLICAR INFORMACIÓN

Yo, José Daniel Vargas Bolaños

N° Cédula 1-1368-0602

Dependencia Area Funcional de Hidrogeología -UEN Gestión Ambiental

Autorizo al Centro de Documentación e Información para incluir y publicar en el sitio Web y la intranet del AyA la siguiente información:

Autor(es): José Daniel Vargas Bolaños

Título: Modelo hidrogeología y disponibilidad hídrica de la Cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste

E-mail: jdvargas@aya.go.cr

N° Teléfono: 8869-4816

Firma: 

Tesis de graduación sometida y aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Licenciatura en Geología y el Comité Evaluador de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciado en geología.

**Comité Evaluador**



---

**MSc. Viviana Ramos Sánchez**

Directora



---

**Dr. Marco Barahona Palomo**

Miembro del Comité Asesor



---

**MSc. Héctor E. Zúñiga Mora**

Miembro del Comité Asesor



---

**MSc. Ingrid Vargas Azofeifa**

Miembro del Tribunal Evaluador



---

**Dr. Mauricio Mora Fernández**

Director de la Escuela Centroamericana de Geología

Presidente del Tribunal Evaluador



---

**Geól. José Daniel Vargas Bolaños**

Postulante

## DEDICATORIA

*A Dios, a mi familia y amigos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados por brindar el financiamiento para desarrollar la investigación.

A los compañeros del Área Funcional de Hidrogeología de la UEN Gestión Ambiental, por su apoyo y colaboración durante los diferentes trabajos de campo.

A los miembros del Comité Asesor M.Sc. Viviana Ramos, Dr. Marco Barahona y M.Sc. Héctor Zúñiga por el acompañamiento, las recomendaciones y motivación para culminar de la mejor manera este trabajo.

Al personal de las ASADAS de Villareal, Santa Rosa, Huacas, Garita, Lomas, Matapalo, Lomas-La Josefina-Los Robles y Playa Grande por la información de los pozos suministrada.

Al Instituto Meteorológico Nacional por compartir los datos climatológicos empleados en la investigación.

Al Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento por facilitar los reportes de perforación solicitados.

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	1
1.1	Justificación y Tema de Investigación.....	1
1.2	Objetivo General.....	3
1.3	Objetivos específicos.....	3
1.4	Hipótesis.....	3
1.5	Ubicación.....	3
1.6	Relieve y elevación.....	4
1.7	Precipitación de lluvia y temperatura .....	4
1.8	Alcances y limitaciones.....	5
2	Marco Teórico y Antecedentes .....	7
2.1	Antecedentes .....	7
2.2	Marco Teórico.....	10
2.2.1	Cartografiado geológico.....	10
2.2.2	Pruebas de infiltración del suelo (Metodología de Kostiakov) .....	10
2.2.3	Aforos diferenciales .....	10
2.2.4	Muestreo de suelos .....	11
2.2.5	Prospección Geofísica.....	11
2.2.6	Balace hídrico de suelos.....	11
3	Metodología de Trabajo.....	12
4	Geología.....	31
4.1	Contexto Geológico Regional .....	31
4.1.1	Complejo de Nicoya.....	31
4.1.2	Depósitos Cuaternarios Recientes.....	33
4.2	Contexto Geo estructural Regional .....	34
4.3	Contexto Geológico Local.....	35
4.3.1	Unidad de basaltos.....	35
4.3.2	Unidad de radiolaritas.....	36
4.3.3	Unidad de intrusivos .....	37
4.3.4	Unidad de depósitos coluviales .....	38
4.3.5	Unidad de depósitos aluviales .....	39
4.4	Contexto Geo estructural Local.....	40
4.4.1	Fallas paleotectónicas .....	40

4.4.2	Fallas neotectónicas.....	40
4.4.3	Alineamientos geológicos .....	41
5	Contexto Hidrogeológico.....	43
5.1	Subcuenca Río Lajas (SRL) .....	47
5.1.1	Basaltos.....	47
5.1.2	Radiolaritas .....	63
5.1.3	Intrusivos .....	67
5.1.4	Depósitos aluviales.....	69
5.2	Subcuenca Río San Andrés (SRSA).....	70
5.2.1	Basaltos.....	70
5.2.2	Radiolaritas .....	71
5.2.3	Intrusivos .....	72
5.2.4	Depósitos aluviales.....	72
5.3	Subcuenca Playa Grande (SPG) .....	76
5.3.1	Basaltos.....	76
5.3.2	Radiolaritas .....	76
5.3.3	Intrusivos .....	76
5.3.4	Depósitos aluviales.....	77
6	Parámetros Hidráulicos de la unidad hidrogeológica .....	77
6.1	Subcuenca Río Lajas (SRL) .....	77
6.2	Subcuenca Río San Andrés (SRSA).....	78
6.3	Subcuenca Playa Grande (SPG) .....	79
7	Niveles estáticos monitoreo de pozos.....	80
7.1	Subcuenca Río Lajas (SRL) .....	81
7.2	Subcuenca Río San Andrés (SRSA).....	83
7.3	Subcuenca Playa Grande (PG).....	84
8	Aforos Diferenciales.....	88
8.1	Subcuenca Río Lajas (SRL) .....	88
8.2	Subcuenca Río San Andrés (SRSA).....	89
8.3	Subcuenca Playa Grande (SPG) .....	89
9	Balance Hídrico de Suelos.....	91
9.1	Parámetros Climatológicos .....	91
9.1.1	Precipitación (P) .....	91
9.1.2	Temperatura (T) .....	94
9.1.3	Evapotranspiración potencial (ETP).....	94

9.2	Coeficiente de Infiltración (Ci) .....	97
9.2.1	Infiltración del Suelo (Kfc) .....	97
9.2.2	Pendiente del Terreno (Kp).....	99
9.2.3	Cobertura Vegetal (Kv) .....	99
9.3	Parámetros Físicos del Suelo (CC y PM).....	103
9.4	Retención de Lluvia en el Follaje (Ret) .....	107
9.5	Precipitación que Infiltra (Pi) .....	107
9.6	Escorrentía Superficial (ESC) .....	111
9.7	Coeficiente de Humedad al Final del mes antes de la ETP (C1).....	111
9.8	Coeficiente de Humedad al Final del mes después de la ETP (C2) .....	114
9.9	Humedad Disponible (HD) .....	117
9.10	Evapotranspiración real promedio (ETR) .....	117
9.11	Humedad del Suelo al Final del Mes (HSf) .....	117
9.12	Recarga Potencial al Acuífero (Rp).....	121
10	Disponibilidad Hídrica Subterránea .....	133
10.1	Volumen de la Recarga Potencial Anual al Acuífero .....	133
10.2	Volumen de Agua Subterránea por Extracción de Pozos.....	134
10.3	Volumen de Agua Subterránea por Descarga Natural .....	136
11	Conclusiones y Recomendaciones.....	140
12	Bibliografía .....	146
13	Anexos .....	150
13.1	ANEXO 1. Análisis macroscópico y microscópico de roca. ....	150
13.2	ANEXO 2. Cuadro resumen de los pozos de la base de datos del SENARA... 161	
13.3	ANEXO 3. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). ....	167
13.4	ANEXO 4. Pruebas de bombeo procesadas. ....	183
13.5	ANEXO 5. Monitoreo de niveles del agua subterránea en pozos. Estación lluviosa (Set-Dic) 2017. ....	199
13.6	ANEXO 6. Aforos diferenciales. ....	203
13.7	ANEXO 7. Parámetros climatológicos (Lluvia y Temperatura). ....	206
13.8	ANEXO 8. Pruebas de infiltración. ....	210
13.9	ANEXO 9. Modelo de elevación del terreno para la zona de estudio. ....	212
13.10	ANEXO 10. Cuadro de concesiones del MINAE.....	214
13.11	ANEXO 11. Cálculo de la extracción del agua subterránea por pozo. ....	220

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	6
<b>Figura 2.</b> Esquema básico del sondeo eléctrico vertical con arreglo tipo Schlumberger (tomado de Reynolds (1997)). .....	15
<b>Figura 3.</b> Esquema básico del sondeo eléctrico vertical con arreglo tipo Schlumberger (tomado de Reynolds (1997)). .....	16
<b>Figura 4.</b> Dispositivo Wenner Alfa (tomado de Reynolds (1997)). .....	17
<b>Figura 5.</b> Arreglo típico de campo del sistema Stratagem (tomado de Geometrics (2000)). .....	19
<b>Figura 6.</b> Diagrama del balance hídrico de suelos. Basado en Schosinsky (2006).....	30
<b>Figura 7.</b> Mapa de la geología local. ....	42
<b>Figura 8.</b> Mapa de la ubicación de la prospección geofísica.....	46
<b>Figura 9.</b> Perfil hidrogeológico A-A' .....	48
<b>Figura 10.</b> Perfil hidrogeológico B-B' .....	49
<b>Figura 11.</b> Perfil hidrogeológico C-C'.....	50
<b>Figura 12.</b> Perfil hidrogeológico D-D'.....	52
<b>Figura 13.</b> Perfil hidrogeológico E-E' .....	53
<b>Figura 14.</b> Perfil hidrogeológico F-F'.....	54
<b>Figura 15.</b> Sección MT 1. ....	56
<b>Figura 16.</b> Sección MT 2. ....	57
<b>Figura 17.</b> Sección MT 3. ....	58
<b>Figura 18.</b> Sección MT 4. ....	59
<b>Figura 19.</b> Sección MT 5. ....	60
<b>Figura 20.</b> Sección MT 6. ....	61
<b>Figura 21.</b> Tomografía eléctrica 1 (500 m). ....	62
<b>Figura 22.</b> Perfil hidrogeológico G-G' .....	65
<b>Figura 23.</b> Perfil hidrogeológico H-H'.....	66
<b>Figura 24.</b> Perfil hidrogeológico I-I' .....	68
<b>Figura 25.</b> Perfil hidrogeológico J-J' .....	74
<b>Figura 26.</b> Tomografía eléctrica 2 (1000 m). ....	75
<b>Figura 27.</b> Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo José Catalino Jaén. ....	82
<b>Figura 28.</b> Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo María Luisa Contreras. ....	82
<b>Figura 29.</b> Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo del Plantel Refundores. ...	83
<b>Figura 30.</b> Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo VI-94.....	84
<b>Figura 31.</b> Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo 5 ASADA Playa Grande...	85
<b>Figura 32.</b> Mapa de líneas isofreáticas del acuífero Huacas-Tamarindo. ....	87
<b>Figura 33.</b> Mapa de ubicación de los afloros diferenciales. ....	90
<b>Figura 34.</b> Lluvia promedio mensual de la estación meteorológica No. 72149 del IMN. ..	92
<b>Figura 35.</b> Mapa de la precipitación de lluvia para el mes de noviembre.....	93
<b>Figura 36.</b> Temperatura promedio mensual de la estación meteorológica No. 72149 del IMN.....	94
<b>Figura 37.</b> Mapa de la evapotranspiración potencial del mes de noviembre.....	96
<b>Figura 38.</b> Mapa del coeficiente de infiltración.....	98
<b>Figura 39.</b> Mapa de la fracción que infiltra por pendiente. ....	100
<b>Figura 40.</b> Mapa de la fracción que infiltra por cobertura vegetal. ....	101
<b>Figura 41.</b> Mapa del coeficiente de infiltración.....	102
<b>Figura 42.</b> Mapa de la capacidad de campo por unidad geológica en milímetros.....	105

<b>Figura 43.</b> Mapa del punto de marchitez por unidad geológica en milímetros. ....	106
<b>Figura 44.</b> Mapa de la retención de lluvia por el follaje. ....	108
<b>Figura 45.</b> Comparación de la Precipitación que infiltra y la Evapotranspiración potencial. .....	109
<b>Figura 46.</b> Mapa de la precipitación que infiltra en milímetros. ....	110
<b>Figura 47.</b> Mapa de escorrentía superficial para el mes de noviembre en milímetros....	112
<b>Figura 48.</b> Mapa del coeficiente de humedad al final del mes antes de la ETP (C1). ....	113
<b>Figura 49.</b> Mapa de la evapotranspiración potencial real para noviembre. ....	115
<b>Figura 50.</b> Mapa del coeficiente de humedad al final del mes después de la ETP. ....	116
<b>Figura 51.</b> Mapa de la humedad disponible en milímetros para el mes de noviembre...	118
<b>Figura 52.</b> Mapa de la evapotranspiración real promedio del mes de noviembre. ....	119
<b>Figura 53.</b> Mapa de la humedad del suelo en milímetros al final del mes de noviembre. .....	120
<b>Figura 54.</b> Mapa de la recarga potencial en milímetros para el mes de noviembre. ....	122
<b>Figura 55.</b> Mapa de la recarga potencial anual en milímetros. ....	123
<b>Figura 56.</b> Mapa de clasificación de la recarga acuífera.....	125
<b>Figura 57.</b> Mapa de la recarga potencial anual en m <sup>3</sup> . ....	126
<b>Figura 58.</b> Recarga promedio mensual en millones de m <sup>3</sup> . ....	131
<b>Figura 59.</b> Lluvia y recarga promedio mensual.....	132

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera para la latitud 10°. ....	26
<b>Cuadro 2.</b> Valores de resistividad eléctrica. ....	44
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros hidráulicos Subcuenca Río Lajas. ....	77
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros hidráulicos Subcuenca Río San Andrés. ....	79
<b>Cuadro 5.</b> Parámetros hidráulicos Subcuenca Playa Grande.....	80
<b>Cuadro 6.</b> Cálculo de la ETP.....	95
<b>Cuadro 7.</b> Coeficiente de infiltración del suelo por unidad geológica. ....	97
<b>Cuadro 8.</b> Tipo de cobertura vegetal. ....	99
<b>Cuadro 9.</b> Parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez del muestreo de suelos. ....	104
<b>Cuadro 10.</b> Recarga potencial anual de la Subcuenca del Río Lajas. ....	127
<b>Cuadro 11.</b> Recarga potencial anual de la Subcuenca del Río San Andrés. ....	128
<b>Cuadro 12.</b> Recarga potencial anual de la Subcuenca Playa Grande. ....	129
<b>Cuadro 13.</b> Volumen de la recarga potencial por unidad geológica.....	130
<b>Cuadro 14.</b> Relación lluvia mensual y recarga potencial promedio (mm). ....	132
<b>Cuadro 15.</b> Volumen de la recarga potencial anual por subcuenca.....	133
<b>Cuadro 16.</b> Volumen de extracción de pozos por uso, según Dirección de Agua del MINAE. ....	135
<b>Cuadro 17.</b> Volumen de extracción por uso para cada subcuenca.....	135
<b>Cuadro 18.</b> Volumen de extracción por subcuenca. ....	136
<b>Cuadro 19.</b> Volumen de descarga natural para la subcuenca del Río San Andrés.....	137
<b>Cuadro 20.</b> Volumen de descarga natural para la subcuenca del Río Lajas.....	137
<b>Cuadro 21.</b> Volumen de descarga natural para la subcuenca de Playa Grande.....	137

<b>Cuadro 22.</b> Volumen de agua subterránea almacenado en el acuífero Huacas-Tamarindo por subcuenca. ....	138
<b>Cuadro 23.</b> Disponibilidad hídrica en el acuífero Huacas-Tamarindo. ....	139

### ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 1.</b> Basaltos fracturados. Coordenadas 256166 N / 342661 E. ....	36
<b>Foto 2.</b> Basaltos fracturados. Coordenadas 255578 N / 341743 E. ....	36
<b>Foto 3.</b> Radiolarita plegada. Coordenadas 262800 N / 338000 E. ....	37
<b>Foto 4.</b> Radiolarita estratificada. Coordenadas 259114 N / 336247 E. ....	37
<b>Foto 5.</b> Rocas intrusivas del Complejo de Nicoya. Coordenadas 258994 N / 341931 E. .	38
<b>Foto 6.</b> Bloque de dolerita. Coordenadas 258373 N / 340466 E. ....	38
<b>Foto 7.</b> Depósito coluvial al sur de la localidad de Villareal. Coordenadas 253382 N / 339074 E. ....	39
<b>Foto 8.</b> Depósito coluvial camino a playa Pedregosa. Coordenadas 260957 N / 335569 E. ....	39
<b>Foto 9.</b> Aluvión en cauce de la quebrada Sacamil. Coordenadas 262211 N / 3341602 E. ....	40
<b>Foto 10.</b> Depósito aluvial subyaciendo suelo. Coordenadas 262091 N / 340706 E. ....	40

## RESUMEN

La zona de estudio se localiza al noroeste de la provincia de Guanacaste, abarcando los poblados de Villareal, Santa Rosa, Huacas, Matapalo, entre otros; cubriendo un área de 81 km<sup>2</sup>. Litológicamente está constituida por rocas basálticas, intrusivas y radiolaritas del Complejo de Nicoya, así como depósitos coluviales y aluviales; de los cuales estos últimos constituyen la unidad geológica más abundante abarcando un 41 % del área de estudio. Las rocas del Complejo de Nicoya corresponden con el basamento, el cual es sobreyacido por los depósitos coluviales y aluviales, en algunos sectores de la parte media y baja de la cuenca Huacas-Tamarindo.

La cuenca está conformada por las subcuencas: Subcuenca Río San Andrés, Subcuenca Río Lajas y Subcuenca Playa Grande. Para las cuales, la precipitación promedio anual en el área de estudio es de 1.538 mm.

Se determinan los parámetros hidráulicos de transmisividad y conductividad hidráulica de las unidades hidrogeológicas del área de estudio, por lo que se obtiene para la unidad de basaltos en la Subcuenca Playa Grande valores de transmisividad entre 0,20 a 26,9 m<sup>2</sup>/d y valores de conductividad hidráulica entre 0,01 a 0,87 m/d; considerados como algo permeables. La unidad de radiolaritas en la Subcuenca Río San Andrés presenta valores de transmisividad entre 83 a 297 m<sup>2</sup>/d y valores de conductividad hidráulica entre 3,2 a 14,3 m/d; catalogados como permeables. La unidad de depósitos aluviales en la Subcuenca Río Lajas muestra valores de transmisividad entre 0,45 a 360 m<sup>2</sup>/d y valores de conductividad hidráulica entre 0,02 a 17,10 m/d; considerados como permeables hasta algo permeable.

Hidrogeológicamente el acuífero Huacas-Tamarindo es conformado por las unidades hidrogeológicas de las radiolaritas, los basaltos, los intrusivos, los depósitos coluviales y aluviales; las cuales en conjunto constituyen un acuífero libre. Para el cual, el mapa de líneas isofreáticas muestra que el flujo del agua subterránea descarga de manera natural hacia el sector donde se encuentra el estero de Tamarindo en una franja de aproximadamente 6 km de longitud, mostrando elevaciones para el nivel freático entre 2 a 52 m.s.n.m. para la zona de estudio

A partir del balance hídrico de suelos se calcula un volumen de recarga de 817 L/s, de los cuales, 59 L/s corresponden a la Subcuenca Playa Grande (6 km<sup>2</sup>), 237 L/s a la Subcuenca Río San Andrés (24 km<sup>2</sup>) y 521 L/s a la Subcuenca Río Lajas (51 km<sup>2</sup>). El volumen de extracción por pozos para la Subcuenca Playa Grande es de 23 L/s, para la Subcuenca Río San Andrés 147 L/s y para la Subcuenca Río Lajas 233 L/s. Mientras que el volumen de extracción por la descarga natural es de 25 L/s para la Subcuenca Playa Grande, 19 L/s para la Subcuenca Río Lajas y 45 L/s para la Subcuenca Río San Andrés.

La disponibilidad hídrica subterránea para el acuífero Huacas-Tamarindo considerando un 40 % del volumen almacenado como volumen de reserva de agua subterránea, es de 6 L/s para la Subcuenca Playa Grande, 27 L/s para la Subcuenca Río San Andrés y 161 L/s para la Subcuenca Río Lajas.

Palabras claves: acuífero, transmisividad, conductividad hidráulica, balance hídrico de suelos, disponibilidad hídrica.

# 1 Introducción

## **1.1 Justificación y Tema de Investigación**

La Región Chorotega ha venido presentando un auge en la generación de fuentes de empleo a partir del turismo (hotelería y servicios de restaurantes) y del suministro de agua, la evacuación de aguas residuales y la gestión de desechos, según se indica en el último Informe del Estado de la Nación (2016). Este aumento corresponde a un 73 %, dicha cifra refleja que se ha venido trabajando fuertemente en el abastecimiento de agua para la población de esta región, y de la mano con una política ambiental responsable.

En este informe se indica que la mayor fuente generadora de empleo es la actividad hotelera y de restaurantes, la cual reporta un total de 21.577 empleos para el año 2015 y que ha desarrollado un incremento del 38 % respecto el año anterior (13.371 empleos).

El cantón de Santa Cruz, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), presenta una población de 64.118 habitantes para el año 2016, y se estima un aumento de 10.511 habitantes para el año 2025.

Por esta razón el Estado debe seguir generando fuentes de trabajo en la región de forma continua, y como ya se ha mencionado, regionalmente la mayor fuente de empleo es el turismo, de modo que para que estas actividades tengan estabilidad y continuidad deben operar con el abastecimiento permanente de agua potable. Por lo tanto, es de vital importancia para la zona de Tamarindo y alrededores (Matapalo, Villareal, Huacas, Playa Grande, entre otros), los cuales corresponden con sitios altamente turísticos, contar con un estudio hidrogeológico actualizado y detallado de la situación en que se encuentra el recurso hídrico subterráneo en las inmediaciones de estas localidades, bajo las cuales se encuentra el acuífero Huacas-Tamarindo.

Según datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) el efecto del ENOS (El Niño) en Costa Rica para el año 2015 fue muy fuerte (IMN, 2016). Para la vertiente del Pacífico los valores acumulados de lluvia tienden a ser mucho menores de lo normal, mostrando variaciones en la cantidad de las precipitaciones para la Región Chorotega de hasta un 60 %.

Aunado a esto, el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica (Hidalgo et al., 2013), han estimado que durante los

próximos 35 años la Región Centroamericana experimentará disminuciones en las lluvias desde el 5 % y un aumento en la temperatura de 4 °C.

Por esta razón se debe considerar estos escenarios climáticos (en los cálculos del balance hídrico de suelo) de modo que se pueda contar con una base de datos continua y actualizada de todos los parámetros meteorológicos e hidrogeológicos relacionados en el ciclo del agua, iniciando con las precipitaciones hasta el momento que es utilizada por la población, a partir de las fuentes de aprovechamiento subterráneas (pozos, manantiales) y superficiales (tomas en los ríos), para que de este modo sirva de insumo para desarrollar un Balance Hídrico Nacional.

Dentro de la zona de estudio, se han presentado problemas de desabastecimiento en varias de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS), por ejemplo, las ASADAS de Lomas y Santa Rosa. Debido a la falta de infraestructura para la obtención del recurso hídrico, así como en la distribución del mismo.

En relación con el déficit en infraestructura de los acueductos, se han generado casos en las zonas costeras (Tamarindo, Playa Grande, por ejemplo), en donde los pozos de abastecimiento de estas ASADAS han sido operados a caudales y regímenes de bombeo inadecuados, para poder suplir del preciado líquido a las poblaciones, razón por la cual ha generado que estas fuentes se salinicen debido a la cercanía con el estero de Tamarindo.

Debido a esto, es de vital interés para los entes operadores del recurso hídrico, y en este caso para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, determinar aquellas zonas que presenten mejores condiciones hidrogeológicas para ubicar futuras fuentes que sirvan para el abastecimiento de la población, que no vayan a alterar o poner en peligro las fuentes ya existentes, o que puedan generar problemas de sobreexplotación en el acuífero, con el fin de garantizar la protección, la preservación y definir políticas para el buen uso y manejo del recurso hídrico subterráneo para el acuífero Huacas-Tamarindo.

Anteriormente ya se han realizado estudios hidrogeológicos para el acuífero Huacas-Tamarindo (Morera & Matamoros, 2003; Arias, 2007 y Agudelo 2013), sin embargo, esta investigación presenta un modelo hidrogeológico para el acuífero más actualizado, a partir de métodos geofísicos, integración de información geológica e hidrogeológica; donde se determina la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo. Mediante una mayor densidad de datos de campo (nivel de agua subterránea en los pozos, análisis de laboratorio de

suelos, monitoreo de pozos por parte de la Comisión Técnica Interinstitucional (CTI) la cual está conformada por el SENARA, AyA y la Dirección de Agua del MINAE, reportes de perforación de pozos, datos de estaciones meteorológicas, entre otros) y además, se trabaja con datos más actualizados y otras herramientas como la prospección geofísica y el cálculo de la recarga al acuífero mediante la herramienta de álgebra de mapas, lo cual permite desarrollar una aproximación más cercana de las condiciones hidrogeológicas que se presentan en el acuífero Huacas-Tamarindo.

## **1.2 Objetivo General**

Establecer el modelo hidrogeológico de la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo a partir de métodos geofísicos e hidrogeológicos, con el fin de determinar el potencial hídrico de las unidades hidrogeológicas presentes en el área.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Definir las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, para establecer su distribución espacial y potencial hídrico.
- Elaborar la red de flujo del agua subterránea y la ubicación de las zonas de recarga y descarga del acuífero Huacas-Tamarindo, a partir de un balance hídrico de suelos para estimar el potencial hídrico de las unidades hidrogeológicas.
- Determinar la disponibilidad hídrica en la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo mediante un balance hídrico de suelos, para cuantificar la explotación del agua subterránea en el acuífero Huacas-Tamarindo.

## **1.4 Hipótesis**

El volumen de agua que recarga el acuífero Huacas-Tamarindo es mayor que el volumen de agua subterránea que se descarga de manera natural al estero de Tamarindo y de forma artificial a través de pozos de extracción.

## **1.5 Ubicación**

La zona de estudio se ubica entre las coordenadas Lambert Norte 253000 / 264000 latitud y 333000 / 346000 longitud, la cual representa un área de 81 km<sup>2</sup>, en las hojas cartográficas de Villareal, Matapalo y Diria del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50.000.

Comprende los poblados de Villarreal, Santa Rosa, San Andrés, El Llano, El Llanito, Tacasolapa, Lomas, Garita, Salinas, Matapalo, Huacas, entre otros (Figura 1) en los distritos de Tamarindo, Cabo Velas y Tempate, de Santa Cruz, provincia de Guanacaste.

La cuenca Huacas-Tamarindo comprende las subcuencas de los ríos San Andrés y Lajas, las cuales presentan un área de 24 km<sup>2</sup> y 51 km<sup>2</sup>, respectivamente. Así como la subcuenca del sector de Playa Grande, con una extensión de 6 km<sup>2</sup> (Figura 1).

### **1.6 *Relieve y elevación***

La cuenca Huacas-Tamarindo muestra elevaciones entre 0 y 30 m.s.n.m. para la parte baja para los poblados de Santa Rosa y Villarreal en la subcuenca del Río San Andrés, mientras que para la subcuenca del Río Lajas presenta estas elevaciones en los poblados de Huacas, Lomas, Matapalo y El Llanito. Por otro lado, la subcuenca de Playa Grande muestra estas elevaciones para el poblado de Salinas y al igual que las otras dos subcuencas, en las inmediaciones del estero de Tamarindo.

El sector medio de la cuenca Huacas-Tamarindo presenta elevaciones entre 31 y 90 m.s.n.m. los cuales corresponden con la parte media de la comunidad de Santa Rosa en la subcuenca del Río San Andrés, el sector medio de los poblados de Huacas y Matapalo para la subcuenca del Río Lajas y la parte media hacia el norte de la comunidad de Salinas para la subcuenca de Playa Grande.

Para la zona alta de la cuenca en estudio las elevaciones que se muestran para las subcuencas de los ríos San Andrés y Lajas, así como para la subcuenca de Playa Grande, se encuentra entre los 91 y los 416 m.s.n.m. para los sitios de mayor elevación de la cuenca.

En cuanto a las pendientes que se presentan para la zona baja de la cuenca Huacas-Tamarindo, se encuentran entre 0 y 2 % de inclinación. Para el sector medio de la cuenca de interés, las inclinaciones van desde los 2 % a más de 7 %. Mientras que para la parte alta de la cuenca Huacas-Tamarindo las pendientes son mayores a 7 %.

### **1.7 *Precipitación de lluvia y temperatura***

Los parámetros climáticos de precipitación y temperatura empleados para la zona de estudio son determinados a partir de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) No. 72149, con un periodo de registro de datos utilizados en el presente

estudio del año 2004 al año 2017. Esta estación meteorológica se ubica en San José de Pinilla del cantón de Santa Cruz. A la elevación de 15 m.s.n.m. y a una distancia de 5 km al sur del poblado de Villareal (coordenadas 249515 N / 334979 E).

Según el registro de datos la época de menor precipitación de lluvia es entre los meses de diciembre a abril y por el contrario el periodo de mayor precipitación de lluvia es entre los meses de mayo a noviembre, siendo octubre el mes que registra mayor cantidad de lluvia con 385 mm. En cuanto a la temperatura, el mes que registra la temperatura máxima promedio es el mes de abril con 28,8 °C y el mes de menor temperatura promedio se da en el mes de octubre con 25,8 °C.

### **1.8 Alcances y limitaciones**

La investigación describirá el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero Huacas-Tamarindo, ubicado en la región costera del cantón de Santa Cruz de Guanacaste (Figura 1) a partir de la caracterización hidrogeológica del acuífero en estudio. Se cuantifica, además, la disponibilidad del acuífero mediante la determinación de la recarga potencial anual y del cálculo de la descarga natural en el sector del estero de Tamarindo, así como la descarga artificial a partir de pozos, considerando un 40 % del volumen almacenado en el acuífero tras considerar las entradas menos salidas del recurso hídrico subterráneo del acuífero Huacas-Tamarindo.

Cabe indicar que pesar de que el acuífero en estudio se localiza en una zona costera, la presente investigación no considera el tema de la calidad del recurso hídrico subterráneo dentro de sus objetivos y alcances.

En cuanto a las limitaciones presentadas durante el desarrollo de esta investigación, el ingreso a los sitios más cercanos (terrenos privados) a los alrededores del estero de Tamarindo fue restringido debido a la falta de accesos o permisos de los propietarios. Por otro lado, la información solicitada a las ASADAS que se encuentran dentro de la zona de interés, en relación al número de pozos utilizados o registrados, además de los caudales empleados que fueron comunicados. Por otra parte, la cuantificación de caudales de extracción de perforaciones ilegales empleados para diferentes usos, es otra de las limitaciones consideradas.

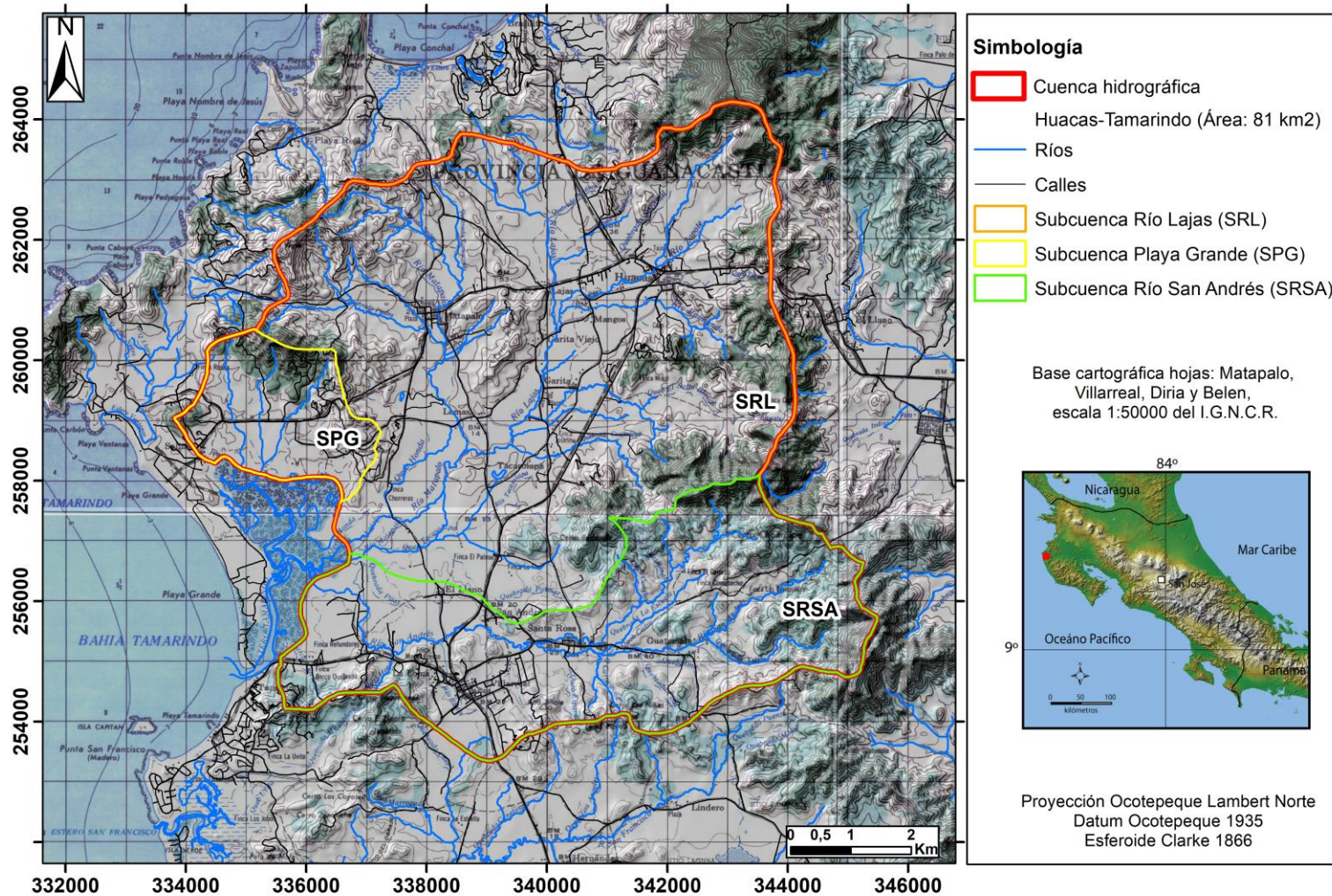


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

## 2 Marco Teórico y Antecedentes

### 2.1 Antecedentes

Arias (2002) realiza los primeros estudios de geofísica aplicada a las aguas subterráneas, mediante el equipo EM-34 de Geonics con el cual, realiza un perfil electromagnético de 700 m de longitud, utilizando dipolos verticales y horizontales empleando una separación entre las bobinas de 10, 20 y 40 m.

A partir de esta investigación, este autor interpreta que los depósitos aluvionales en la subcuenca del río San Andrés se caracterizan por la existencia de gran cantidad de meandros de reducido tamaño, lo cual hace pensar en procesos de depositación de materiales finos como limos y arcillas que caracterizan los sectores conductores y, por otra parte, la depositación de arenas y gravas que corresponden con los sectores resistivos.

Posteriormente, Morera & Matamoros (2003) llevan a cabo un estudio hidrogeológico en la zona para determinar la evaluación del potencial y la demanda hídrica subterránea para el acuífero Huacas-Tamarindo, en el cual mencionan que los acuíferos de esta región están albergados en materiales aluviales y que el basamento pertenece a rocas del complejo de Nicoya.

Mencionan un espesor máximo para el acuífero aluvional de 15 m, siendo el basamento las rocas del Complejo de Nicoya.

A partir de 14 muestreos de suelos y 13 pruebas de infiltración, así como un mapa de uso de suelo a escala 1:200.000 (hoja Nicoya, OPSA), realizan una caracterización de los suelos para la zona de estudio, la cual presenta una superficie total de 87 km<sup>2</sup> para las cuencas de los ríos Matapalo y San Andrés.

Mencionan transmisividades para el acuífero aluvional, que varían entre los 400 y los 1.739 m<sup>2</sup>/día, debido al carácter de heterogeneidad y discontinuidad en el espesor y granulometría de la formación acuífera.

Además, estos autores, estiman una recarga de 240 l/s (359.71 mm de agua) para un área de 47,34 km<sup>2</sup>, lo que representa una recarga en el acuífero de 7.568.640 m<sup>3</sup>/año. Por otro lado, calculan una extracción de 6.591.024 m<sup>3</sup>/año del acuífero.

Finalmente, Morera & Matamoros (2003) concluyen que no se observa una relación entre las precipitaciones y las fluctuaciones del nivel estático en los pozos, y concluyen que la recarga en el acuífero se da en los cauces de los ríos (tramos influentes) o en los bordes de las laderas.

Arias (2007) argumenta que debido a la limitada información geológica e hidrogeológica existente, se procede en el año 2005 a la aplicación de métodos electromagnéticos para conocer características litológicas, profundidad del nivel estático, conductividad y resistividad del suelo, con el fin de esclarecer el modelo conceptual del acuífero Huacas-Tamarindo, además de conocer la extensión de la intrusión salina, y conocer algunos parámetros necesarios para la obtención del índice de vulnerabilidad intrínseca en la zona.

Este autor menciona que el sistema acuífero aluvial está constituido por lentes, paleocanales e intercalaciones de materiales de diferente granulometría (gravas, limos, arcillas) que controlan espacialmente las propiedades hidráulicas y características hidrogeológicas del mismo, donde su espesor no sobrepasa los 35 m y la dirección predominante del flujo del agua subterránea es hacia el SW con salida hacia el estero Tamarindo. Determina algunos parámetros hidráulicos como, por ejemplo: la transmisividad en un rango entre 350 m<sup>2</sup>/d a 1.800 m<sup>2</sup>/d; caracteriza el agua como bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcica con tendencia magnésica, con un pH neutro y valores de conductividad eléctrica del orden de los 450 µS/cm.

En dicho estudio, se emplea el método electromagnético en el dominio de la frecuencia mediante el equipo EM-34 de la casa Geonics, así como el equipo TEM-FAST 48 HPC. Además, se realizan 4 perfiles electromagnéticos en el dominio de la frecuencia, a partir de los cuales se relacionan valores para asumir invasión de agua salada en los suelos, en distancias menores a los 100 m de longitud desde la línea de costa hacia el continente, en la barra arenosa de Playa Grande, por lo que se menciona que existe un equilibrio hidrodinámico entre el agua dulce y el agua salada dentro del aluvión.

En cuanto a la cobertura del acuífero Arias (2007) considera que un 19 % del área está cubierta por materiales no consolidados, un 72 % del área se encuentra cubierta por aluviones con granulometría heterogénea y el restante 9 % del área está cubierta por aluviones con algunas intercalaciones de lentes de arcilla.

En relación con la profundidad del nivel del agua subterránea un 18 % del territorio del acuífero el nivel del agua subterránea se encuentra a menos de 2 m, un 71 % del territorio del acuífero el nivel del agua subterránea se encuentra entre los 2 y los 5 m de profundidad, y un 11 % del área del acuífero el nivel del agua subterránea se encuentra entre los 5 y los 10 m de profundidad (Arias, 2007).

A partir de la metodología de GOD Arias (2007) que un 19 % del área del acuífero presenta una vulnerabilidad extrema a la contaminación correspondiente a la zona del estero de Tamarindo, estero Ventanas, playa Grande y Tamarindo. Un 43 % como moderada y un 38 % una vulnerabilidad a la contaminación baja, para el acuífero aluvial.

Finalmente, Arias (2007) concluye que en la zona de estudio en un 18 % del área existe un acuífero no confinado, un 52 % del área existe un acuífero no confinado pero cubierto por una capa de suelo y el restante 30 % del área existe un acuífero que es semiconfinado. Por lo tanto, ante los resultados expuestos por Arias (2007) no se cuantifica la recarga potencial para el acuífero Huacas-Tamarindo, ni se determina la disponibilidad hídrica del acuífero, las cuales serán establecidas en la presente investigación.

En el Plan de Abastecimiento de Agua y Gestión Integrada de las Aguas Residuales para Guanacaste de julio del 2008 (PAAG, 2008), se menciona que desde hace años, acuíferos costeros como el de Tamarindo presenta problemas de sobreexplotación, evidenciado por la disminución de niveles del acuífero y de los caudales de extracción de los pozos o la salinización de pozos por efectos de intrusión salina.

Recientemente Agudelo (2013) realiza un estudio hidrogeológico para el acuífero de Huacas-Tamarindo en el cual, a partir de datos de cartografiado geológico del año 2009, muestreo de suelos para análisis de laboratorio, pruebas de infiltración de suelos, campaña geofísica (sondeos electromagnéticos), aforos diferenciales, así como datos meteorológicos, mapa de uso del suelo (del año 2003) y otros datos bibliográficos sobre características físicas intrínsecas del suelo (porosidad, punto de marchitez y capacidad de campo de suelos). En dicho estudio define una recarga potencial de 1.219 L/s, presentando el mayor porcentaje de recarga en la unidad de aluviones (57 %) y el menor en la unidad de intrusivos (6%). Sin embargo, la presente investigación se desarrollará mediante una mayor densidad de datos de campo (nivel de agua subterránea en los pozos, análisis de laboratorio de suelos, monitoreo de pozos, reportes de perforación de pozos,

datos de estaciones meteorológicas, entre otros) y además, se trabaja con datos más actualizados y otras herramientas como la prospección geofísica y el cálculo de la recarga al acuífero mediante la herramienta de álgebra de mapas, lo cual permite desarrollar una aproximación más cercana de las condiciones hidrogeológicas que se presentan en el acuífero Huacas-Tamarindo.

## **2.2 Marco Teórico**

Este apartado describe las metodologías de trabajo para llevar a cabo la presente investigación, desde la toma de datos en las visitas a la zona de estudio, hasta el procesamiento, análisis e integración de todos los datos para establecer el modelo hidrogeológico desarrollado a partir de la investigación.

### **2.2.1 Cartografiado geológico**

El cartografiado geológico es la base de toda investigación geológica, el cual consiste en el análisis y descripción detallada de los afloramientos rocosos en las inmediaciones de la zona de estudio.

Esta actividad contempla la descripción y caracterización de las unidades geológicas, así como las estructuras tectónicas presentes en la zona de estudio a raíz de la influencia estructural regional presente en la península de Nicoya.

### **2.2.2 Pruebas de infiltración del suelo (Metodología de Kostiaikov)**

Este tipo de prueba consiste en llevar a cabo en el campo un ensayo con el que se puede obtener un dato que es relacionado con la permeabilidad de la zona no saturada.

A pesar de que existen diferentes metodologías para realizar este tipo de prueba (Porchet, permeámetro de Guelph, entre otros) para efectos de esta investigación se utilizó la metodología de Kostiaikov o de doble anillo concéntrico, ya que es la metodología sugerida para la determinación del análisis de la recarga, según SENARA (2017).

### **2.2.3 Aforos diferenciales**

Los aforos que se realizan en las quebradas y los ríos de las cuencas hidrográficas son utilizados como herramienta principal para determinar la comunicación hidráulica entre los cursos de agua y el acuífero.

Es por tal razón que se realiza una campaña de aforos en quebradas y ríos principales de la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo (ríos San Andrés, Matapalo y Lajas), para de esta forma caracterizar los tramos que son influentes o efluentes.

#### **2.2.4 Muestreo de suelos**

Se lleva a cabo un muestreo de suelos producto de meteorización de los diferentes materiales geológicos que conforman la zona de estudio, lo cual permite dar a conocer cuáles son sus propiedades físicas a partir de ensayos de laboratorio.

En esta investigación se recolectarán muestras de suelo para llevar a cabo ensayos de laboratorio con el objetivo de analizar: granulometría, gravedad específica, capacidad de campo, punto de marchitez, porcentaje agua útil, densidad aparente, densidad real y porcentaje de porosidad.

#### **2.2.5 Prospección Geofísica**

Los métodos geofísicos aplicados al estudio e investigación de las aguas subterráneas son utilizados como métodos indirectos, a través de los cuales se logra determinar la existencia y distribución de los materiales en el subsuelo, así como su naturaleza, analizando la variación de las propiedades físicas de las rocas con la profundidad.

En esta investigación se utilizan como métodos de prospección geofísica, el método eléctrico y el método magnetotelúrico, a partir de los cuales, se determina la variación de la resistividad eléctrica de las rocas con la profundidad.

#### **2.2.6 Balance hídrico de suelos**

El balance hídrico de suelos es una metodología presentada por Schosinsky (2006) la cual consiste en estimar la recarga potencial de los acuíferos con base en variables de la distribución de la precipitación y coeficientes de infiltración en el suelo.

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo se determinan: la precipitación mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente. Una vez determinados estos valores, se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación de Schosinsky, (2006).

Conocida la infiltración, es posible realizar el balance de suelos, para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado.

### 3 Metodología de Trabajo

La metodología aplicada en el desarrollo de la investigación, así como las actividades programadas, se describen a continuación.

*A. Búsqueda y consulta de información bibliográfica sobre estudios geológicos y/o hidrogeológicos en la zona de Tamarindo y alrededores.*

*B. Cartografiado geológico e hidrogeológico, a una escala de trabajo 1: 25000.*

Para llevar a cabo el cartografiado geológico se requirió el uso de la piqueta de campo, lupa, libreta de campo, ácido clorhídrico, brújula geológica, hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN) a escala 1:50000, cartografía a escala 1:5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, equipo de sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), telémetro láser.

Con base en el cartografiado geológico se realizó una validación geológica de la zona de estudio, de la cartografía existente según Denyer et al., (2014).

*C. Elaboración de pruebas de infiltración mediante la metodología de Kostikov, distribuidas por toda la zona de investigación.*

A continuación, se detalla el procedimiento para trabajar esta metodología:

#### ➤ **C1. Determinación de la velocidad de infiltración con el método de Kostikov**

Este método consiste en instalar en el suelo un par de anillos de acero concéntricos cuyas dimensiones son de 52 cm de diámetro y 20 cm de alto para el anillo mayor, y de 33 cm de diámetro y 30 cm de alto para el anillo menor (dimensiones utilizadas en esta investigación).

Se requiere de varios utensilios para desarrollar esta prueba, entre los que podemos mencionar: par de anillos de acero, recipientes con agua, mazo, cronómetro, libreta, cinta métrica y regla).

#### ➤ **C2. Instalación de los anillos**

Se deben colocar los anillos en el sitio escogido para realizar la prueba, el cual debe ser representativo de la unidad geológica que se quiere evaluar, ser una zona natural (ausente de raíces, rellenos, zonas compactas) en sus alrededores.

Se coloca el anillo de mayor diámetro en el sitio escogido y se golpea con el mazo hasta que el anillo profundice unos 5 cm (según el tipo de suelo), posteriormente se coloca en su interior y lo más centrado posible el anillo de menor diámetro y se golpea con el mazo

para que profundice unos 5 cm. Al finalizar de clavar los anillos es el suelo se debe revisar que hayan sido clavados de tal manera que sus bordes mantengan un nivel homogéneo.

### ➤C3. Aplicación del agua en los anillos

Luego de instalar los anillos en el sitio requerido, se coloca una regla en posición vertical en el interior del anillo de menor diámetro para poder llevar a cabo las mediciones del descenso del agua durante el ensayo.

Se llena con agua el espacio entre el anillo interno y externo hasta su borde, el cual tiene como función producir una barrera en forma de lóbulo o gota de agua alrededor del anillo externo, esto para que el agua que ingresa en el anillo interno descienda verticalmente.

Seguidamente se procede a llenar con agua el anillo interno hasta una altura de 7,5 cm. Una vez alcanzada esta medida se da inicio con el ensayo.

Durante todo el ensayo se debe mantener con agua hasta el borde del anillo externo el espacio entre el anillo interno y externo, y cada momento que el agua en el anillo interno descienda hasta los 2,5 cm se deberá realizar una recarga de agua hasta alcanzar una altura de 7,5 cm.

El ensayo se lleva a cabo por un tiempo de 2 horas continuas, en donde se debe tomar nota de la altura de la columna de agua en el anillo interior por intervalos que han sido establecidos por el profesional responsable previamente, por ejemplo: a los 0 min, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min, 6 min, 8 min, 10 min, 12 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 35 min, 40 min, 50 min, 60 min, 75 min, 90 min, 105 min y 120 min. Siempre con el cuidado y la atención de que no ingrese agua en el anillo interior durante las mediciones de los 7,5 cm a los 2,5 cm y de que ninguno de los anillos se quede sin agua.

### ➤C4. Cálculo de la velocidad de infiltración

Ya obtenidos los datos del ensayo, se procesan e ingresan en una hoja electrónica denominada “tabla para el cálculo de mínimos cuadrados para pruebas de infiltración”. Mediante el uso de esta hoja electrónica es que se determina el valor de la velocidad de infiltración en centímetros por minuto.

Graficando en el eje de las ordenadas los valores de infiltración acumulados determinados en la hoja electrónica, contra los valores del tiempo de las mediciones realizadas durante el ensayo en el eje de las abscisas, resulta una gráfica que define una curva hiperbólica a

partir de la cual el valor de infiltración básico se encuentra donde los valores del decrecimiento de infiltración son casi iguales y es asíntota al eje de las abscisas.

A partir de este procedimiento se adquiere el valor de la velocidad de infiltración en cm/min, el cual es homólogo a la permeabilidad en cm/min.

*D. Muestreo de suelos distribuidos en el área de estudio, para cada una de las unidades litológicas, en donde se toman dos muestras inalteradas del suelo representativo por medio de dos recipientes de pared delgada o "Shelby", uno de ellos de 5,5 cm (2,16") de diámetro por 7 cm (2,75") de alto para la obtención de la porosidad, densidad aparente, densidad real, peso húmedo, peso seco, peso saturado y porcentaje de agua útil, mientras que el otro recipiente de 5,5 cm (2,16") de diámetro por 2,2 cm (0,78") de alto para la obtención de la capacidad de campo y el punto de marchitez. Con estos parámetros se calcularán posteriormente la evapotranspiración real y finalmente la recarga potencial del acuífero Huacas-Tamarindo.*

Seguidamente se describe el proceso que se llevó a cabo durante el muestreo de suelos:

- 1-Previo a la recolección de las muestras de suelo en el campo se seleccionan sitios idóneos en la totalidad del área de estudio, a partir de la ubicación de las diferentes unidades geológicas.
- 2-Una vez establecidos los sitios de muestreo, se prepara el terreno quitando levemente la vegetación presente hasta obtener un horizonte inalterado a simple vista y que se encuentra *in situ*, teniendo el cuidado de recolectar las muestras en suelos inalterados, que no hayan sido removidos y que no se encuentre compactado por el paso de personas, vehículos o animales, por ejemplo.
- 3-La recolección de la primera muestra es la de los materiales inalterados, la misma es envuelta en papel aceitado para evitar pérdida de humedad; o mediante cilindros de hierro los cuales son sellados en sus extremos.
- 4-Seguidamente se toma la muestra alterada, cada laboratorio define la cantidad de muestra necesaria para los ensayos correspondientes. Estos materiales se separan por medio de bolsas plásticas según la cantidad y/o peso necesario.

5-Finalmente, el etiquetado de la muestra debe de contener como mínimo: fotografía, coordenadas, código de muestra y la cobertura correspondiente para garantizar su estado óptimo durante el traslado al laboratorio que corresponda.

Se recolectaron para ser analizados en el laboratorio un total de 34 muestras de suelo distribuidos en la zona de estudio y contemplando varios sitios por unidad geológica, con el objetivo de determinar los parámetros anteriormente citados.

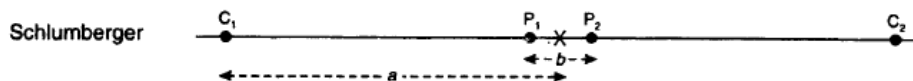
*E. Prospección geofísica, mediante la elaboración de 30 sondeos eléctricos verticales dentro de la zona en estudio, además de 2 tomografías eléctricas y 5 secciones geofísicas mediante la metodología de prospección magnetotelúrica; para la elaboración del modelo hidrogeológico del acuífero Huacas-Tamarindo.*

A continuación, se describen las diferentes metodologías que se implementaron para desarrollar esta investigación.

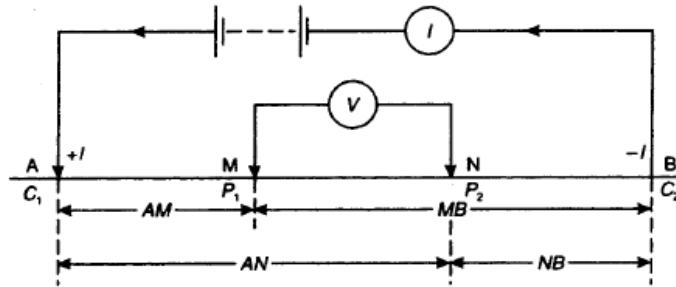
### ➤E1. Metodología de Prospección Eléctrica (Sondeos eléctricos verticales)

El método se realizó con un arreglo cuadrípolar tipo *Schlumberger* (Figura 2), en el cual se usan 4 electrodos colineales en superficie; los dos exteriores ( $C_1$ - $C_2$ ), conectados en serie a una batería o fuente de poder son los electrodos de corriente, en tanto que los interiores ( $P_1$ - $P_2$ ) se denominan de potencial (Figura 3).

El equipo utilizado fue un resistímetro, marca Tigre de la compañía inglesa Allied Associates y para la interpretación de los datos, se trabajó con el programa IPI2win.



**Figura 2.** Esquema básico del sondeo eléctrico vertical con arreglo tipo Schlumberger (tomado de Reynolds (1997)).



**Figura 3.** Esquema básico del sondeo eléctrico vertical con arreglo tipo Schlumberger (tomado de Reynolds (1997)).

Varios modelos que se construyen pueden generar una misma curva de campo, de ahí la importancia de tener guías estratigráficas o cierto conocimiento de la geología del entorno para tratar de evocar un modelo más ajustado a la realidad geológica.

### ➤E2. Profundidad de auscultación

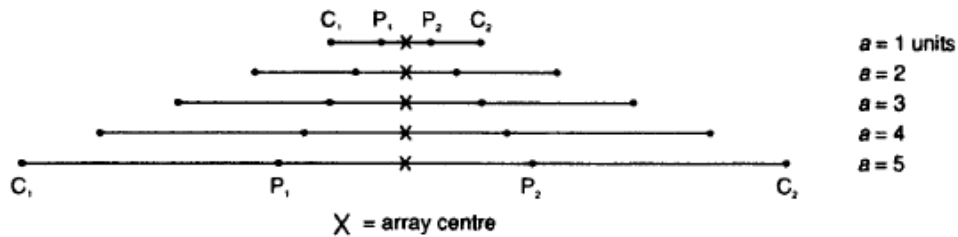
La profundidad de auscultación de un sondeo va a depender básicamente del contraste de impedancia eléctrica de los materiales tanto como de la resistividad aparente de cada una de las capas.

En términos generales, la profundidad de penetración a investigar se estima entre 15 – 25 % del AB total, para la presente investigación se trabajó con un AB= 300 m, se espera una profundidad de penetración teórica entre los 45 y 75 metros. En toda salida de cualquier *software* que se use para modelar un sondeo, se acredita a la última capa, una profundidad infinita.

A partir de esta metodología de trabajo se realizaron 30 sondeos eléctricos verticales distribuidos en la zona de estudio.

### ➤E3. Metodología de Prospección Eléctrica (Tomografía eléctrica)

Para esta investigación tomográfica se usó el método de Imagen de Resistividad (*Resistivity Imaging*). El arreglo electródico utilizado para el método de tomografía eléctrica es el Alfa Wenner, en el cual los electrodos tanto potencial como de corriente tienen una separación equidistante durante la toma de mediciones. Para ganar profundidad después de cada barrido se aumenta la separación del valor indicado como “a” (Figura 4).



**Figura 4.** Dispositivo Wenner Alfa (tomado de Reynolds (1997)).

El equipo utilizado fue un resistivímetro marca Tigre de la compañía inglesa Allied Associates y el programa empleado para el procesamiento de los datos fue el AGI EarthImager 2D.

Para los fines de esta investigación se realizaron 1500 m de tomografía eléctrica, divididos en dos secciones: una primera sección de 1000 m de longitud y una segunda sección de 500 m de longitud.

#### ➤E4. Metodología de Prospección Magnetoteléurico

Para la investigación se desarrolló esta metodología mediante la utilización del equipo Stratagem EH4 de la casa Geometrics, el cual consiste en un sistema magnetoteléurico (MT) que se utiliza para medir la resistividad eléctrica de la tierra en un rango de profundidad desde unos cuantos metros, hasta más de un kilómetro. Este sistema utiliza, además, tanto señales electromagnéticas naturales como las artificiales para obtener un sondeo eléctrico continuo de la tierra bajo el sitio de medición.

Los sistemas MT se utilizan para medir la impedancia eléctrica en la superficie terrestre (razón entre el campo magnético y el campo eléctrico), utilizando una serie de mediciones simultáneas de fluctuaciones eléctricas y magnéticas locales del campo. Estas mediciones de campo se hacen durante un periodo de varios minutos; las cuales se transforman mediante la Transformada de Fourier y se almacenan como espectros de potencia. La impedancia de la superficie que se calcula de estos valores espectrales es una función compleja de la frecuencia donde los rasgos de poca profundidad o cercanos influyen en los datos de frecuencia más alta, y las estructuras de más profundidad y distancia influyen en los datos de baja frecuencia.

Un sondeo de MT brinda un cálculo de la resistividad vertical bajo el sitio de recepción e indica la complejidad geoelectrica en el sitio de sondeo. En áreas donde la distribución de

la resistividad no cambia rápidamente de una estación de medición a otra, el sondeo de resistividad es un cálculo razonable de las capas geoelectricas bajo el sitio.

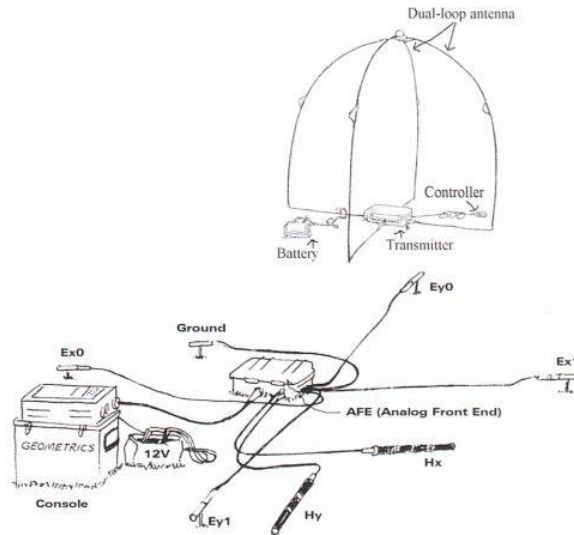
El sistema Stratagem consiste en dos componentes básicos; un receptor y un transmisor (Figura 5). En el rango de alta frecuencia, las señales naturales normalmente son débiles y el uso de un transmisor puede mejorar la calidad de los datos. Para ciertas aplicaciones y bajo ciertas condiciones (estratos conductores o muy conductores suprayacentes), puede no ser necesario el uso de potencia adicional de señal de alta frecuencia que da el transmisor.

El transmisor consiste en una antena de espira dual (*dual-loop*), electrónica del transmisor y un controlador, los cuales son alimentados por una batería de 12 voltios. El transmisor proporciona campos fuente no polarizados los que permiten mediciones tensoriales reales de la resistividad del suelo, esto proporciona una interpretación más exacta que con las fuentes de transmisión de señal de polo sencillo.

Los campos magnéticos son detectados por dos sensores perpendiculares de campo H, por otra parte, los campos eléctricos son detectados mediante la diferencia de voltaje entre dos electrodos conectados a un canal particular; Ex0 y Ex1 por ejemplo. Todos los sensores están conectados al *Analog Front End* en donde las señales son filtradas, amplificadas y transmitidas a la Consola para su conversión análoga-digital y proceso digital de señal.

Los resultados de impedancia superficial se visualizan inmediatamente al hacer el sondeo de resistividad, también puede procesarlos en grupos de sondeos y verlos por sección mientras se está en el campo. Esta flexibilidad permite al investigador modificar el diseño de la investigación en el sitio basado en el procesamiento preliminar y revisión de los resultados de las mediciones.

Además, los datos de inversión de datos de profundidad y resistividad pueden ser salvados, exportados y analizados en el programa interno del Stratagem y con herramientas de programas de terceros.



**Figura 5.** Arreglo típico de campo del sistema Stratagem (tomado de Geometrics (2000)).

**F.** Caracterización de las diferentes unidades geomorfológicas y alineamientos mediante la elaboración de un modelo de elevación digital a partir de la base cartográfica a escala 1: 5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, acompañado de trabajo de comprobación de campo.

**G.** Fotointerpretación mediante el uso de ortofotos proyectadas en el sistema Lambert Norte por medio del software ArcGIS 10.3, a partir de la base cartográfica a escala 1: 5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, para la confección de mapas de uso de suelos, criterios geomorfológicos, entre otros.

**H.** Muestreo de roca para descripción macroscópica, así como análisis petrográfico en sección delgada, esto para cada una de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio.

Posterior a analizar y procesar la información recopilada de la descripción detallada de los afloramientos vistos en la zona de estudio, aunado a la descripción petrográfica de las muestras de rocas recolectadas en el área de estudio, fueron correlacionadas con las formaciones geológicas formales de la región.

**I.** Levantamiento de pozos en campo, tanto excavados como perforados, a través de giras en la zona de interés.

**J.** Interpretación de los datos del monitoreo mensual del nivel del agua subterránea de los pozos de la red de monitoreo de la Comisión Técnica Interinstitucional (CTI), para elaborar mapas de líneas isofreáticas del acuífero en estudio.

La profundidad del agua subterránea se determinó empleando un indicador, el cual consiste en una cinta métrica con un electrodo en un extremo, a través del cual se emite una luz con un sonido particular cuando el electrodo hace contacto con el agua subterránea.

*K. Realización de aforos en las diferentes quebradas y ríos para establecer zonas de efluencia e influencia con respecto al acuífero de la zona.*

Estos aforos son desarrollados según la metodología establecida por el Área Funcional de Estudios Básicos de la UEN Gestión Ambiental de AyA. Dicha metodología es descrita a continuación:

Aforos en quebradas o ríos donde la profundidad del agua es menor a 1 m.

#### ➤ **K1. Descripción del ensayo**

Este procedimiento se debe seguir al realizar aforos “por vadeo”. Esto es, con el molinete colocado en varillas a profundidades menor de 1 m. Este procedimiento se basa en las experiencias del personal de aforos de la UEN Gestión Ambiental y en la Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial.

#### ➤ **K2. Procedimiento del ensayo**

- 1-Buscar un sitio para la realización del aforo que cumpla deseablemente con las siguientes características: i) Velocidades paralelas en todos los puntos, ii) velocidades superiores a los 0,15 m/s, iii) lecho del río uniforme y estable, iv) profundidades superiores a los 20 cm, v) ausencia de plantas acuáticas.
- 2-Ensamblar el molinete.
- 3-Realizar prueba de giro al molinete.
- 4-Preparar la sección donde se va a realizar el aforo.
- 5-La exactitud de una medición de caudal con molinete depende en gran medida del número de verticales con que realiza la medición. La distancia entre verticales al realizar la medición no necesariamente debe ser la misma para todas las verticales. La distancia entre verticales, nunca deber ser mayor a 1/10 del ancho total de la sección. El caudal en cualquiera de las verticales no deberá ser superior al 10% del caudal total de la sección.
- 6-Se debe colocar la cinta métrica a lo largo de la sección preparada de manera que se minimice el ángulo que esta forma con la horizontal y que la cinta se coloque perpendicular a la dirección del flujo del río o la quebrada a aforar. Fijar la cinta en ambos extremos de la sección y establezca el “cero” de la sección en la margen

derecha del río (viendo hacia aguas abajo del río, la margen derecha es la que se encuentra al lado derecho del aforador).

7-Debido a que la profundidad en los ríos y quebradas es menor a 1 m, para cada vertical únicamente se realizará una medición de velocidad. Esto se hará a una profundidad igual a 0,4 de la profundidad del río, medida de abajo hacia arriba. Cada una de las medidas se deberá registrar en una libreta de aforos.

8-La velocidad se determina contando las revoluciones de las copas del molinete en un lapso de 60 segundos por minuto y durante un período máximo de tres minutos si la velocidad del agua es pulsatoria. Se recomienda utilizar un intervalo de tiempo constante de 60 segundos. Si al llegar a los 60 segundos el molinete se encuentra a punto de completar una revolución, es recomendable esperar a completar esa revolución y registrar con tiempo de la medición el total hasta esa revolución.

9-Se debe repetir este procedimiento de los pasos 7 y 8 hasta cubrir todo el ancho del río.

10-La profundidad mínima a la que se puede utilizar el molinete AA es igual a la altura de las copas y eje (para el molinete Gurley AA esta profundidad es igual a 30 cm). Ante profundidades menores a esta se debe de utilizar el molinete pigmeo.

11-Al finalizar con los aforos, se debe realizar nuevamente la prueba de giro al molinete y registrar el resultado en la libreta de aforos.

Aplicando cada uno de los pasos de este ensayo de la manera más precisa se realizaron 95 aforos diferenciales para la zona de estudio, en el cauce de los ríos San Andrés, Matapalo y Lajas, así como en algunos de sus afluentes.

**L.** *Confeción de perfiles hidrogeológicos para elaborar el modelo conceptual del acuífero en estudio.*

**M.** *Determinar los parámetros hidráulicos (gradiente hidráulico, transmisividad, conductividad hidráulica), así como la distribución y posición estratigráfica de cada unidad hidrogeológica para formular el modelo hidrogeológico del acuífero.*

**N.** *Elaboración del modelo hidrogeológico del acuífero Huacas-Tamarindo a partir de la integración de datos geofísicos (sondeos eléctricos verticales, tomografías eléctricas y sondeo magnetotelúricos), perfiles hidrogeológicos mediante reportes de perforación de pozos, cartografiado geológico en la zona de estudio, entre otros.*

**O. Cálculo de la recarga potencial a través del balance de suelos según la metodología de Schosinsky (2006) mediante la elaboración de mapas raster utilizando la herramienta de álgebra de mapas del programa ArGis 10.3, con la finalidad de estimar la disponibilidad hídrica de la zona de Huacas-Tamarindo.**

El balance hídrico de suelos es determinado de la siguiente manera:

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona se debe determinar: la precipitación mensual de la zona (a partir de datos de las estaciones meteorológicas dentro o en las cercanas de la zona de estudio), los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente. Una vez determinados los parámetros anteriormente citados es posible evaluar la infiltración de lluvia.

#### ➤ **O1. Fracción de lluvia interceptada por el follaje**

Para determinar la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (**Ret**), se consideran las siguientes condiciones:

Entiéndase,

**P** = precipitación mensual del mes (mm/mes)

**Ret** = retención de lluvia en el follaje (mm/mes)

**Cfo** = coeficiente de retención del follaje, para bosques muy densos  $Cfo = 0,20$ ; otros  $Cfo = 0,12$  (adimensional)

Por lo tanto,

- Si  $P \leq 5$  mm/mes, la retención de lluvia en el follaje (**Ret**) = **P**
- Si el producto de  $P * Cfo \geq 5$  mm/mes, la **Ret = P\*Cfo**
- Si  $P > 5$  mm/mes y el producto  $P * Cfo < 5$ , la **Ret = 5**

#### ➤ **O2. Infiltración**

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (**Kfc**), el cual está dado por la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0,267\ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$$

Entiéndase,

**K<sub>fc</sub>** = coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo) (adimensional)

**fc** = infiltración básica del suelo (mm/día)

Por lo tanto,

- Si  $fc$  se encuentre entre 16 y 1568 mm/día,  $K_{fc} = 0,267\ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$
- Si  $fc$  es  $< 16$  mm/día,  $K_{fc} = 0,0148fc/16$
- Si  $fc$  es  $> 1568$  mm/día,  $K_{fc} = 1$

El coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo incluye la pendiente del terreno ( $K_p$ ) y la vegetación ( $K_v$ ) (Schosinsky, 2006). Posteriormente con los valores de estos coeficientes, es posible determinar el coeficiente de infiltración del suelo ( $C_i$ ), de la siguiente manera:

Entiéndase,

**C<sub>i</sub>** = coeficiente de infiltración (adimensional)

**K<sub>p</sub>** = fracción que infiltra por efecto de la pendiente (adimensional)

**K<sub>v</sub>** = fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (adimensional)

**K<sub>fc</sub>** = fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional)

Por lo tanto,

- Si  $K_p + K_v + K_{fc} > 1$ ,  $C_i = 1$
- Si  $K_p + K_v + K_{fc} \leq 1$ ,  $C_i = K_p + K_v + k_{fc}$

### ➤O3. Cálculo de infiltración pluvial mensual

Corresponde con la disminución de la retención pluvial mensual en el follaje al parámetro de la precipitación mensual, multiplicado por el coeficiente de infiltración; expresado de la siguiente manera:

$$P_i = C_i * (P - Ret)$$

Donde,

**Pi** = precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

**Ci** = coeficiente de infiltración (adimensional)

**P** = precipitación mensual (mm/mes)

**Ret** = retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes)

En ningún caso el Ci ha de ser  $> 1$ , si así fuese, se le asigna a Ci el valor de 1.

#### ➤ **O4. Escorrentía superficial**

Es generada por la lluvia mensual, y corresponde con la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración; representado de la siguiente forma:

$$ESC = P - Ret - Pi$$

Donde,

**ESC** = escorrentía superficial en mm/mes

Luego de que es conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar la cantidad de agua que queda libre para recargar el acuífero que se requiere analizar. Para esto, es necesario determinar los siguientes parámetros: la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal del suelo, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo, la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo al inicio del análisis.

#### ➤ **O5. Profundidad de las raíces extractoras de agua**

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas, la cual se realiza mediante las raíces. De este modo, se debe determinar ya sea por observación de en el campo o por referencias bibliográficas (Schosinsky, 2006), la profundidad de las raíces para cada uno de los cultivos presentes en la zona de estudio. De modo que para esta investigación se emplearon las profundidades de las raíces observadas en el campo.

#### ➤ **O6. Capacidad de Campo y Punto de Marchitez del suelo**

La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es igual a la capacidad de campo, es entonces cuando la planta tiene la máxima transpiración.

Por otro lado, la mínima humedad que puede tener un suelo es aproximadamente igual al punto de marchitez. De lo anterior se deduce que un suelo, no saturado a profundidades mayores que la profundidad de las raíces, se encuentra a capacidad de campo.

Estos valores de capacidad de campo y punto de marchitez se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se estiman mediante referencias bibliográficas (Schosinsky, 2006). Por lo que para la investigación se determinan estos parámetros a partir del análisis de laboratorio (se analiza para cada muestra capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente), clasificando las muestras por unidad geológica a partir del mapa de la geología local. De modo que, se multiplican los valores obtenidos de capacidad de campo y punto de marchitez en formato decimal por la densidad aparente y por la profundidad de las raíces en milímetros, para de este modo obtener los parámetros de interés en milímetros.

#### ➤ **O7. Evapotranspiración**

En una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo.

La evapotranspiración potencial real va a ser proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, expresado de la siguiente forma:

$$ETPR = (HS - PM) * (ET) / (CC - PM)$$

Entiéndase,

**ETPR** = evapotranspiración potencial real (mm/día)

**HS** = humedad del suelo (%)

**ET** = evapotranspiración de la planta a capacidad de campo (mm/día)

**CC** = capacidad de campo (%)

**PM** = punto de marchitez permanente (%)

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de vientos y grado de desarrollo de la planta.

En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación, grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma.

Por lo tanto, se asume una evapotranspiración promedio de la cuenca, que llamaremos evapotranspiración potencial (ETP), la cual se expresa de la siguiente forma, según la metodología de Hargreaves & Samani (1985).

$$ETP = (K * RA * \sqrt{\Delta T}) * (0.0075) * (32 + 1.8 * ^\circ C) * n$$

Donde,

**ETP** = evapotranspiración potencial (mm/mes)

**K** = constante para climas costeros (0.19)

**RA** = radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (mm/día) (Cuadro 1)

**ΔT** = diferencia de temperatura máxima y mínima promedio mensual (° C)

**n** = cantidad de días del mes

**Cuadro 1.** Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera para la latitud 10°.

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
10°	13.2	14.2	15.8	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9

### ➤O8. Coeficiente de Humedad

Al iniciar un mes el suelo tiene una humedad inicial (HSi), si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (Pi) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración.

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC - PM).$$

Donde,

**C1** = coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración

**HSi** = humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial (mm)

- Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad al final del mes, sería (Ci):

- Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería:

$$C2 = (HSi - PM + Pi - ETR1) / (CC - PM)$$

$$ETR1 = (C1) * (ETP)$$

Donde,

**C2** = coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración

**ETR1** = evapotranspiración potencial real (mm/mes), considera la humedad correspondiente al coeficiente C1

**ETP** = evapotranspiración potencial (mm/mes)

El valor de C1 corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo a inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración.

El valor C2 corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo, C1. Por lo tanto, el coeficiente C2 se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes.

Como la infiltración y la evapotranspiración ocurre durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes corresponde al promedio de C1 y C2, esto quiere decir que la evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes dado es:

$$ETPR = ((C1 + C2) / 2) * ETP$$

Donde,

**ETPR** = evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes (mm/mes)

**C1** = coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración

**C2** = coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1

**ETP** = evapotranspiración potencial (mm/mes)

Ninguno de los coeficientes de humedad, C1 y C2, pueden ser  $> 1$ , ni  $< 0$ .

- En caso de que C1 o C2, sea  $> 1$ , se tomará = 1.
- Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0.

#### ➤O9. Humedad Disponible (HD)

Es aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar, y se expresa de la siguiente manera:

$$HD = HSi + Pi - PM$$

Donde,

**HD** = humedad disponible (mm/mes)

De este modo para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR), se debe considerar lo siguiente:

- Si  $((C1 + C2) / 2) * ETP$  es  $\leq HD$ , entonces  $ETR = ((C1 + C2) / 2) * ETP$
- Si  $((C1 + C2) / 2) * ETP$  es  $> HD$ , entonces  $ETR = HD$

#### ➤O10. Humedad del suelo al final del mes

En ningún momento la humedad del suelo al final del mes podrá ser mayor que la capacidad de campo del suelo, de este modo:

- Si  $(HD + PM - ETR) < CC$ , entonces  $HSf = HD + PM - ETR$
- Si  $(HD + PM - ETR) \geq CC$ , entonces  $HSf = CC$

Donde,

**HSf** = humedad del suelo al final del mes (mm)

#### ➤O11. Humedad del suelo al inicio del mes

Es necesario determinar este parámetro para realizar el cálculo de la recarga del acuífero, el cual es igual a la humedad del suelo final del mes anterior.

### ➤O12. Cálculo de la Recarga Potencial

La recarga al acuífero se lleva a cabo si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas, expresado de la siguiente manera:

$$P_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Donde,

**R<sub>p</sub>** = recarga potencial mensual (mm/mes)

### ➤O13. Cálculo de la Recarga Potencial Anual

Para realizar el cálculo de recarga anual en una cuenca, es necesario delimitar la cuenca y segregarla en zonas con un mismo tipo de suelo o con un mismo tipo de litología.

El volumen de agua que recarga al acuífero estará dado de la siguiente manera:

$$V = R_p * A$$

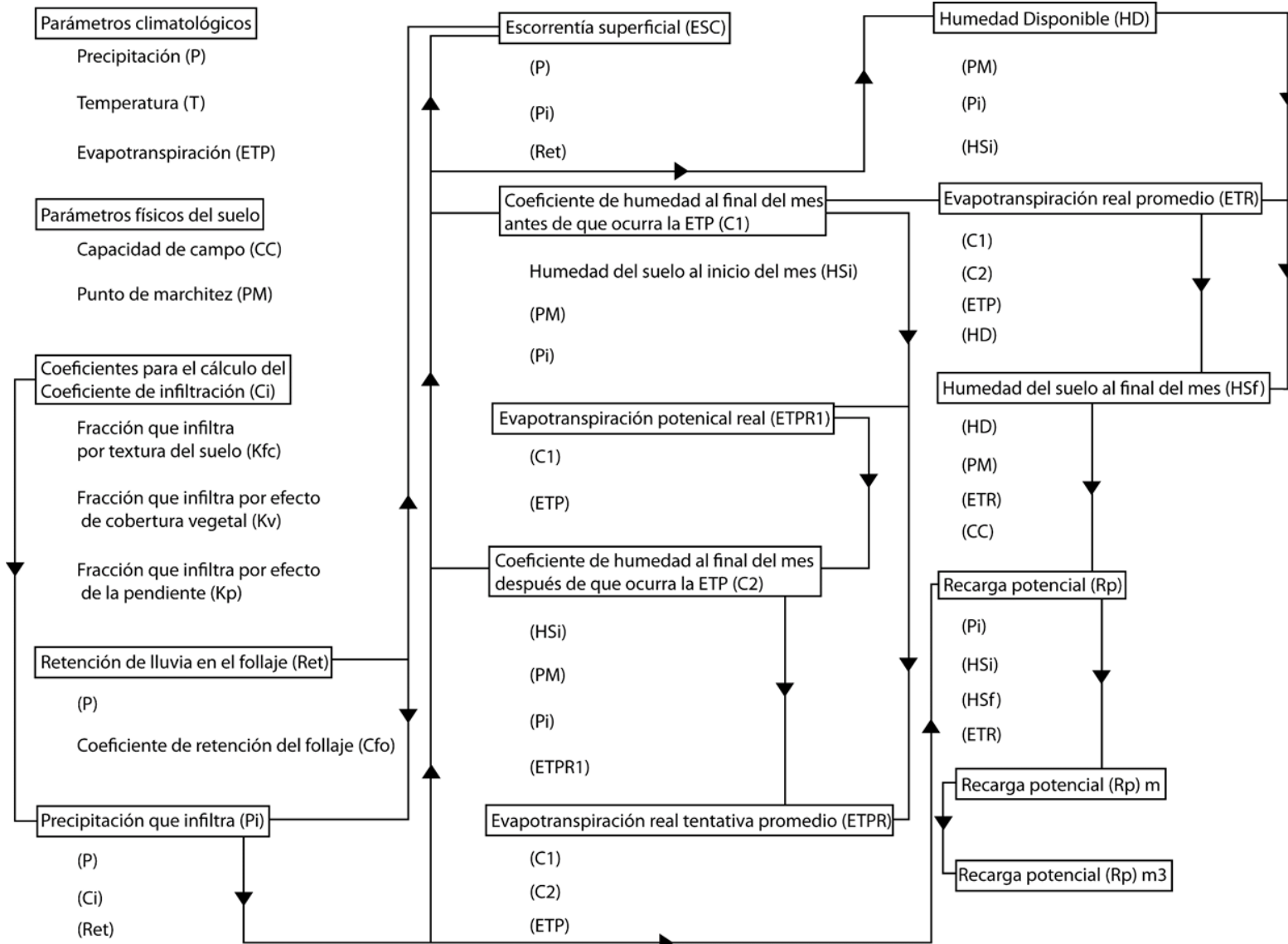
Donde,

**V** = volumen de recarga (m<sup>3</sup>/mes o m<sup>3</sup>/año)

**R<sub>p</sub>** = recarga potencial al acuífero (m/mes o m/año)

**A** = área donde se genera la recarga potencial (m<sup>2</sup>)

A partir de la metodología de Schosinsky (2006) se determinó el cálculo de la recarga potencial al acuífero Huacas-Tamarindo mediante la herramienta de Álgebra de Mapas utilizando el módulo *Raster Calculator* del programa ArcGis 10.3. De este modo, se realizaron mapas en formato *raster* con las mismas dimensiones de tamaño de pixel (5 metros x 5 metros) empleando operaciones algebraicas y condicionales (Figura 6).



**Figura 6.** Diagrama del balance hídrico de suelos. Basado en Schosinsky (2006).

## 4 Geología

### 4.1 Contexto Geológico Regional

Con respecto a la estratigrafía y a la geología regional, se describen a continuación las unidades geológicas de las más antiguas a las más recientes.

#### 4.1.1 Complejo de Nicoya

Dengo (1962) se refiere a esta unidad geológica como Complejo de Nicoya, posteriormente es redefinida por Kuijpers (1979) con base en dos unidades litoestratigráficas, la Unidad Matapalo (Cretácico Inferior) y la Unidad Esperanza (Cretácico Superior), la cual consta de rocas ígneas volcánicas así como intrusivas, y radiolaritas que corresponden con el basamento regional y son parte del CLIP (*Caribbean Large Igneous Province*) el cual fue un evento magmático que abarcó las región Caribe, como resultado de la influencia de un punto caliente.

Estas rocas corresponden con una secuencia de afinidad oceánica compuesta principalmente de basaltos toleíticos masivos y en almohadilla, diques, brechas de hialoclastita, gabros, ferrogabros, picritas y plagiogranitos incluyendo (Tournon, 1984). En esta secuencia predominantemente ígnea se encuentran radiolaritas asociadas, que fueron depositadas en el fondo oceánico, perdernales producto de la acción hidrotermal y recirculación de sílice.

Denyer & Arias (1991) estiman un espesor aflorante de 1500 m para esta unidad.

Por otra parte, Denyer & Gazel (2009) consideran que estas rocas presentan una edad más antigua que el Campaniano Inferior-Santoniano ( $\geq 83$  Ma), los intrusivos tienen edades entre 84-83 Ma (Santoniano), los basaltos muestran edades entre 95-88 Ma (Cenomaniano-Turoniano) (Sinton et al., 1997).

#### ➤ Basaltos

Consta de flujos de basaltos masivos, que se observan cruzados por varias generaciones de fracturas y vetillas en su mayoría de zeolitas y algunas silíceas. Se relacionan también estructuras en almohadilla, las cuales muestran una corteza de hialoclastita fracturada, producto del enfriamiento. Asociado a los basaltos se presentan brechas como resultado de la explosión de las almohadillas.

Corresponde con un evento magmático regional intenso, el cual se originó cuando la placa Farallón (placa anterior a la fragmentación que dio origen a las placas Nazca y Cocos), pasó por un punto caliente, quizás el Galápagos y produjo intrusiones y derrames lávicos. Esto causó el engrosamiento de la corteza, que, al continuar su viaje sobre la placa boyante, hoy compone el basamento del Caribe (Denyer et al., 2014).

Los basaltos toleíticos son de grano fino, en general afíricos, compuestos por plagioclasa, augita, clorita y óxidos de hierro y titanio. Todo esto en una matriz afanítica y que presenta vetillas de calcedonia, zeolitas, ópalo y rara vez calcita (Denyer et al., 2014).

Esta unidad es la más abundante dentro del Complejo y conforma el basamento local y regional, además se relacionan mineralizaciones de manganeso asociadas a jaspes amarillos y rojos, producto de la removilización termal de sílice y manganeso a partir de las mineralizaciones de manganeso en las radiolaritas (Denyer et al., 2014).

### ➤ **Radiolaritas**

Trata de rocas sedimentarias de grano fino a muy fino de origen pelágico, estratificadas en estratos milimétricos a centimétricos, duras y en gran variedad de colores (rojo, verde, amarillo, blanco, gris, hasta negro), es común observarlas plegadas en pliegues cerrados hasta isoclinales, siendo frecuentes los tipo *chevron* (Denyer et al., 2014).

Existen dos secuencias de radiolaritas, que se distinguen por su contenido mineral (Denyer & Baumgartner, 2006) las radiolaritas manganesíferas que datan del Jurásico Medio al Cretácico Superior y las ferro-radiolaritas del Cretácico Superior (Santoniano-Campaniano).

Alvarado & Gans (2012) mencionan que estas radiolaritas han sufrido metamorfismo de contacto, el cual ha hecho que las radiolaritas se transformen a pedernales y que el color la roca palidece.

Se relacionan a las radiolaritas del Jurásico Medio al Cretácico Inferior, mineralizaciones de ferromagnesiano a veces en forma de costra y en otras ocasiones en forma de nódulos (Kuijpers & Denyer, 1979). Posteriormente las radiolaritas sufrieron una fase de alteración termometamórfica asociada con el emplazamiento del CLIP, esto produjo la removilización del manganeso dentro de los basaltos, dando como resultado la formación de jaspes amarillos y rojos, que se relacionan con acumulaciones de manganeso en basaltos del Complejo de Nicoya (Denyer & Baumgartner, 2006).

Denyer & Baumgartner (2006) concluyen que el grupo de radiolaritas más antiguas son del Jurásico Medio (Bajociano-Bathoniano) con base en la biocronología más actualizada. Existe un *gap* de no depositación de radiolaritas entre el Cenomaniano y el Turoniano, que coincide con el evento del CLIP, posteriormente se depositan entonces las ferro-radiolaritas durante el Coniaciano-Santoniano (Denyer et al., 2014).

#### ➤ **Intrusivo Potrero**

Corresponde con un cuerpo intrusivo gabroico, compuesto por gabros, microgabros y doleritas que forman parte del Complejo de Nicoya.

Son rocas oscuras de textura porfírica muy rica en minerales máficos con acumulaciones esferoidales centimétricas de piroxenos. Asociados con esta unidad se encuentran diques de doleritas tipo *leopard*. Los megacristales de plagioclasa tienen una forma redondeada, alcanzan diámetros superiores a 10 cm.

Estas rocas intruyen los basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya, que conforman el basamento regional.

Según Sinton et al. (1997) las edades de los intrusivos varían entre 84 y 83 Ma (Santoniano) a partir de dataciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

#### **4.1.2 Depósitos Cuaternarios Recientes**

Están constituidos por los materiales geológicos que han sido erosionados, transportados y finalmente depositados desde el pie de monte de las zonas montañosas (depósitos coluviales y aluviales) hasta regiones más distales, las cuales forman planicies aluviales que permiten el almacenamiento y flujo del agua subterránea.

Además, forman parte de este tipo de depósitos los materiales limo arcilloso producto de la actividad marino-costera del estero de Tamarindo, el cual representa una zona con influencia salina.

## **4.2 Contexto Geo estructural Regional**

El basamento de la península de Nicoya está constituido por rocas predominantemente basálticas de afinidad oceánica del Jurásico-Cretácico, sobre las cuales se depositaron sedimentos pelágicos, hemipelágicos y turbidíticos, durante el Cretácico tardío y Paleógeno (Denyer & Alvarado, 2007).

Las rocas más antiguas asociadas al Complejo de Nicoya, fueron acrecionadas debido a la colisión de la placa Caribe con la placa Cocos, donde debido a la diferencia de densidades de las rocas que las componen la placa Cocos se subduce bajo la placa Caribe a lo largo de la fosa Mesoamericana de forma paralela a la costa de la península (Denyer et al., 2014).

La interacción de levantamientos oceánicos en zonas de convergencia de placas (por ejemplo, lo que ocurre al sur de la península de Nicoya) provoca diversos efectos tectónicos en la placa cabalgante (placa Caribe), incluyendo la generación de fallas tanto compresivas como de desplazamiento horizontal (Denyer et al., 2014).

A partir del análisis morfotectónico y complementado con datos geológicos y sismológico, se han realizado estudios sobre la existencia de arreglos de fallas neotectónicas en la península de Nicoya (Montero & Denyer, 2011).

Posteriormente ha sido posible determinar la existencia de un dominio previamente reconocido por Montero & Denyer (2011), localizado al noroeste de la península, el cual se caracteriza por ser de tipo translacional al norte y representado por fallas principales de movimiento dextral N-S y fallas sinestrales de rumbo ENE a inversas NW, estas dos últimas limitadas por las dextrales.

Para explicar la deformación neotectónica anterior, se discuten dos modelos: 1. La convergencia oblicua entre las placas Cocos y Caribe y el movimiento resultante del bloque del Antearco Centroamericano al NW a una tasa de unos 8 mm/año, y 2. La indentación tectónica causada por los levantamientos de Fisher y del Cocos con el margen pacífico de Costa Rica y en particular con la península de Nicoya y el escarpe tectónico al NW de la península de Nicoya a una tasa de 8 mm/año (Denyer et al., 2014).

### **4.3 Contexto Geológico Local**

Dentro del área de estudio afloran rocas de origen ígneo y sedimentario asociadas al Complejo de Nicoya (basaltos, intrusivos y radiolaritas), así como depósitos cuaternarios (coluviales y aluviales), las cuales se describen a detalle a continuación (Figura 7).

#### **4.3.1 Unidad de basaltos**

Aflora en los alrededores de la zona de estudio cubriendo un área de 7 km<sup>2</sup>. Los basaltos macroscópicamente presentan texturas afíricas predominantemente, sin embargo, es posible observar texturas afaníticas-porfiríticas en algunas ocasiones, con la presencia de cristales máficos (augita y olivinos) de tamaños milimétricos. Cuando se encuentra relativamente sana se observa una matriz de color gris verdoso y en estado de avanzada meteorización, presenta tonalidades gris pardo, meteorizando en capas de cebolla. En algunas ocasiones se observan pátinas de meteorización de colores verde y violeta.

Se observan afloramientos con la presencia de múltiples fracturas (Foto 1), las cuales presentar aberturas de varios milímetros (1-5 mm) así como otros afloramientos con fracturas cerradas y rellenas de sílice o ceolitas (Foto 2).

Se le relacionan a esta unidad, suelos residuales de texturas arcillosas hasta arenosas.

Microscópicamente los basaltos presentan una textura hipocristalina porfirítica, con un porcentaje de matriz entre 40-50 % compuesta por cristales de calcedonia, augita y olivino. Presenta además, fenocristales xenomórficos de olivino de tamaños promedios de 0,02x0,015 mm (5-10 %), cristales xenomórficos de augita de dimensiones promedio de 0,01x0,015 mm (3-47 %) y cristales hipidiomórficos de plagioclasa de tamaños promedio de 0,05x0,25 mm (15 %) (muestras: M-Tama-1, M-Tama-3 y M-Tama-10, ANEXO 1).

Esta unidad se correlaciona con los basaltos del Complejo de Nicoya, los cuales datan del Cretácico según Denyer & Gazel (2009).



**Foto 1.** Basaltos fracturados.  
Coordenadas 256166 N / 342661 E.



**Foto 2.** Basaltos fracturados.  
Coordenadas 255578 N / 341743 E.

#### **4.3.2 Unidad de radiolaritas**

Aflora en los alrededores de la zona de estudio cubriendo un área de 14 km<sup>2</sup>, siendo más abundante hacia el sector noroeste, cerca de los poblados de Lomas y Matapalo.

Se encuentra comúnmente muy fracturada (de hasta 3 mm de abertura), en algunas ocasiones se observan rellenas de sílice.

Son frecuentes los afloramientos donde se presenta plegada (Foto 3) y estratificada en estratos de aproximadamente 4 cm de espesor (Foto 4), de tonalidades predominantemente rojizas hasta colores gris claros, oscuros y violetas. Se determinaron buzamientos al S3°W/56 (Coordenadas 258481 N / 337008 E).

A esta unidad se le relacionan, suelos residuales de texturas arenosas hasta limo elásticos.

Se han asociado con esta unidad afloramientos de pedernal debido al metamorfismo de contacto generado por las rocas intrusivas del Complejo de Nicoya.

Microscópicamente presentan una textura fina compuesta por radiolarios en un 15 %, además de óxidos de hierro (30 %), vesículas rellenas de ceolitas y calcedonia (10 %) y algunos opacos como minerales accesorios (muestra: M-Tama-2, ANEXO 1).

Esta unidad se correlaciona con las radiolaritas del Complejo de Nicoya, de las cuales existen dos secuencias de radiolaritas, que se distinguen por su contenido mineral (Denyer & Baumgartner, 2006) mencionan radiolaritas manganesíferas que datan del

Jurásico Medio al Cretácico Superior y las ferro-radiolaritas del Cretácico Superior (Santoniano-Campaniano).



**Foto 3.** Radiolarita plegada. Coordenadas 262800 N / 338000 E.



**Foto 4.** Radiolarita estratificada. Coordenadas 259114 N / 336247 E.

#### **4.3.3 Unidad de intrusivos**

Aflora en los alrededores de la zona de estudio cubriendo un área de 21 km<sup>2</sup>, aflorando abundantemente hacia el sector este de la cuenca Huacas-Tamarindo.

Las rocas intrusivas están constituidas por diabasas y gabronitas (Foto 5 y Foto 6), las cuales macroscópicamente, presentan texturas afanítica-porfirítica hasta fanerítica, con cristales de tamaños milimétricos de augita (15-30 %), plagioclasa (10-40 %) y olivino (5-10 %). Muestra vetillas rellenas de sílice y superficies de alteración de tonalidades amarillento debido a los óxidos de hierro.

Se observa de forma masiva, con pátinas de meteorización de tonalidades verde y violeta; es ocasional la meteorización esferoidal y granular.

Generalmente los afloramientos se encuentran sumamente fracturados y es posible observar bloques de basaltos y radiolaritas englobados en las intrusiones.

Se le relacionan a esta unidad, suelos residuales de texturas arcillosas hasta limosas.

Microscópicamente las gabronitas presentan textura holocristalina con fenocristales xenomórficos de augita de 0,08x0,1 mm de tamaño (15-20 %), cristales de hornblenda

verde xenomórficos de 0,175x0,25 mm de tamaño (5-10 %), plagioclasas hipidiomórficas con maclas polisintéticas y tipo Karlsbad de 0,05x0,25 mm (20-25 %) (muestras: M-Tama-6 y M-Tama-7, ANEXO 1). Por otro lado, las diabasas presentan una textura holocristalina glomeroporfirítica y fenocristales hipidiomórficos de augita de 0,1x0,15 mm (25-35 %), olivinos hipidiomórficos de 0,05x0,04 mm (3-10 %), plagioclasas hipidiomórficas con maclas polisintéticas y tipo Karlsbad de 0,0250,1 mm (15-45 %) y calcedonio de textura granular sustituyendo fantasmas de plagioclasa y augita (40 %) cuando se encuentra silicificada (muestras: M-Tama-4, M-Tama-5 y M-Tama-9, ANEXO 1).

Esta unidad se correlaciona con el Intrusivo Potrero del Complejo de Nicoya, el cual se le ha asignado una edad de 83 Ma (Santoniano) según Sinton et al. (1997).



**Foto 5.** Rocas intrusivas del Complejo de Nicoya. Coordenadas 258994 N / 341931 E.



**Foto 6.** Bloque de dolerita. Coordenadas 258373 N / 340466 E.

#### **4.3.4 Unidad de depósitos coluviales**

Aflora en los alrededores de la zona de estudio cubriendo un área de 5 km<sup>2</sup>, siendo la unidad más escasa, es más común hacia el sector noreste.

Conforma depósitos de pie de monte (Foto 7), los cuales muestran una matriz arenosa con bloques meteorizados subangulares de tamaños variables (desde centimétricos a decimétricos), englobados en dicha matriz (Foto 8).

A esta unidad se le relacionan, suelos de texturas arcillo arenosas.

Este tipo de depósito es el producto de la erosión y meteorización de materiales ígneos (basaltos e intrusivos del Complejo de Nicoya) así como de los materiales sedimentarios

(radiolaritas) del Complejo de Nicoya, a los cuales se les ha asignado una edad Cuaternaria.



**Foto 7.** Depósito coluvial al sur de la localidad de Villareal. Coordenadas 253382 N / 339074 E.



**Foto 8.** Depósito coluvial camino a playa Pedregosa. Coordenadas 260957 N / 335569 E.

#### **4.3.5 Unidad de depósitos aluviales**

Aflora en los alrededores de la zona de estudio cubriendo un área de 33 km<sup>2</sup>, siendo la unidad más abundante dentro del área de estudio.

Presenta una matriz compuesta por arenas y limos (40-85%) de tonalidades que van del gris al pardo, con gravas de tamaños milimétricos hasta decimétricos subangulares a subredondeadas mayormente, generalmente no se observa gradación en las gravas y es común los lentes de arenas y limos (Foto 9).

Las gravas están constituidas por materiales ígneos del Complejo de Nicoya (intrusivos y basaltos), así como clastos de radiolaritas (Foto 10).

Se asocian a esta unidad, suelos residuales de texturas arcillosas hasta arenosas.

Conforman las zonas planas cerca de los cauces de las quebradas y río principales de la cuenca Huacas-Tamarindo (río San Andrés, río Lajas, río Matapalo, entre otros). A partir de la cartografiado geológico, presenta espesores observados que no superan los 2 m y

en promedio son menores a 1 m, sin embargo, según los reportes de los pozos perforados en la zona de estudio (ANEXO 2) se describen espesores de hasta 25 m.

A estos materiales se les ha asignado una edad del Cuaternario.



#### **4.4 Contexto Geo estructural Local**

Dentro del área de estudio se han identificado varias estructuras tectónicas, las cuales se describen a continuación (Figura 7).

##### **4.4.1 Fallas paleotectónicas**

Dentro de la zona de estudio se ubican en el sector norte, presentando orientaciones Nf y NNW. Se extienden por una longitud de 1 a 5 km, de manera expuesta, así como cubiertas por los depósitos aluviales.

##### **4.4.2 Fallas neotectónicas**

Se extienden por la zona de estudio una distancia de 1 a 6 km de longitud, con rumbos preferibles al Nf, así como al NNW y NNE. Se presentan tanto expuestas como cubiertas por los depósitos aluviales.

#### **4.4.3 Alineamientos geológicos**

Presentes dentro de la zona de estudio por longitudes de 7 km el más extenso a menos de 1 km el de menos longitud.

Hacia el sector sureste presenta rumbos NE y Nf, y hacia el sector norte y noroeste de la zona de estudio, muestra orientaciones NNW y NW.

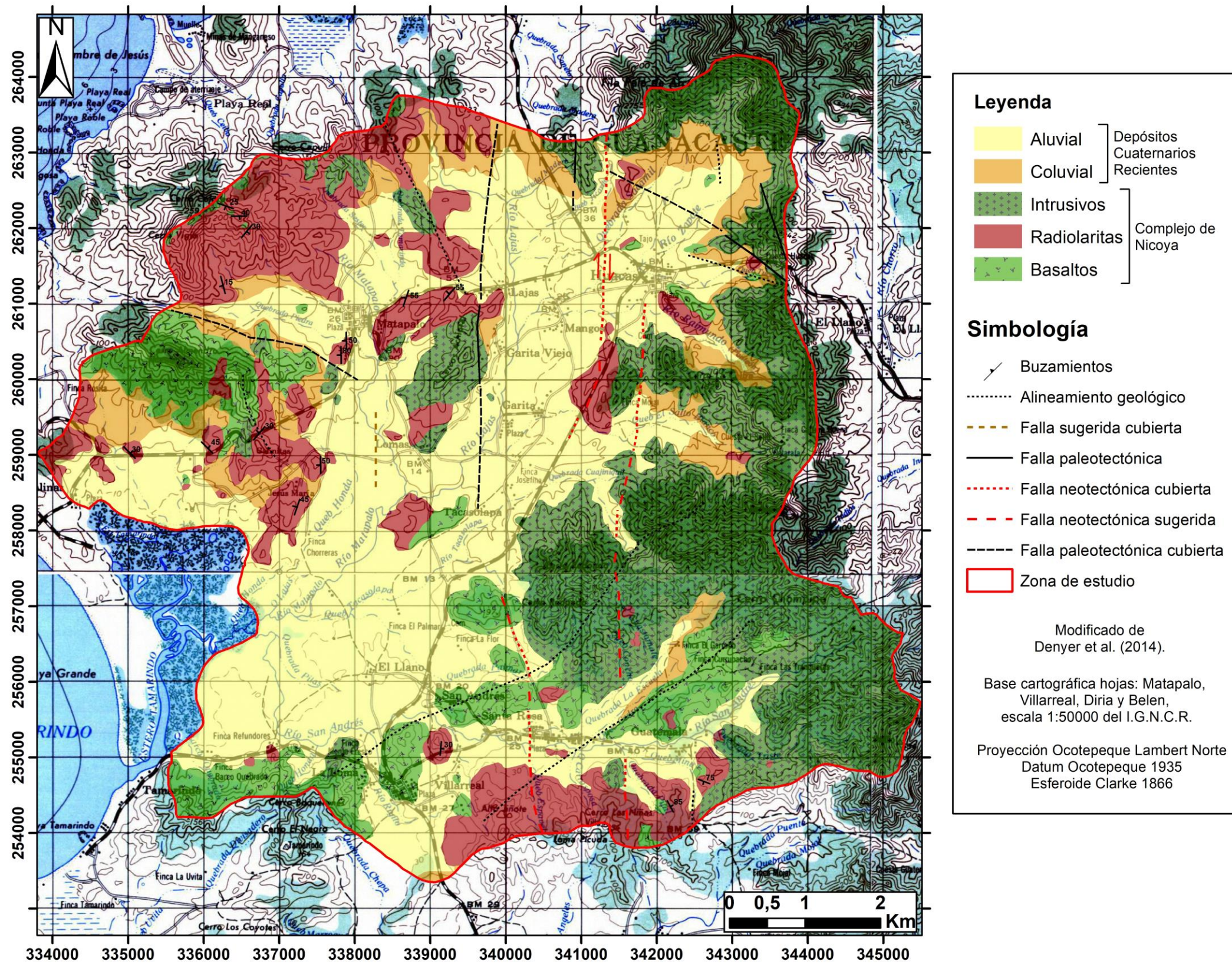


Figura 7. Mapa de la geología local.

## 5 Contexto Hidrogeológico

La zona de estudio está constituida por materiales geológicos que datan del Jurásico, y que la constituyen rocas basálticas, radiolaritas e intrusivos (Complejo de Nicoya). Los cuales se presentan subyaciendo o en contacto lateral, con depósitos coluvio-aluviales, según se muestra en los **perfiles hidrogeológicos**, elaborados a partir de la información de reportes de perforación de los pozos localizados dentro de la zona de estudio (ANEXO 2), el cartografiado geológico local y los 30 sondeos eléctricos verticales (ANEXO 3).

De igual manera se modelan las unidades litológicas que conforman el acuífero Huacas-Tamarindo para 6 sectores de la subcuenca del Río Lajas, a partir de las **secciones magnetotelúricas (MT)**, elaboradas mediante los 15 sondeos magnetotelúricos (MT), con las cuales se correlacionan a una mayor profundidad (entre los 100 y 200 m) las unidades litológicas. Sin embargo, se debe indicar que el equipo de prospección geofísica empleado (Geometrics EH4) presenta la limitante de que no registra valores de resistividad eléctrica para los primeros 5 o 10 m de profundidad, por lo que estos tramos fueron complementados a partir de las interpretaciones de los sondeos eléctricos verticales (SEV) cercanos a los sondeos MT.

Además, se realizan 2 **perfiles geoeléctricos**, confeccionados a partir de las 2 tomografías eléctricas de 500 y 1000 m de longitud, para un sector de las subcuencas del Río Lajas y el Río San Andrés, respectivamente.

Con base en la descripción litológica de los reportes de perforación de la base de datos de pozos del SENARA (ANEXO 2) cercanos a los sondeos eléctricos verticales (ANEXO 3), se calibran las interpretaciones de los SEV para correlacionar las capas geoeléctricas con las unidades litológicas presentes en la zona de estudio. Posteriormente, una vez elaborados los perfiles hidrogeológicos, se asocian los valores de resistividad eléctrica de las secciones magnetotelúricas y las tomografías eléctricas, con base en dichos perfiles y el cartografiado geológico.

De este modo, para el SEV 1 a partir de la litología reportada del pozo VI-142, se asocian los primeros 7,8 m de este sondeo con los depósitos aluviales finos con los primeros metros de un material arcilloso reportado en el pozo VI-142, con una resistividad eléctrica de 8  $\Omega$ m; los cuales son subyacidos por la unidad de radiolaritas hasta una profundidad de aproximadamente 50 m según el SEV 1. Estas radiolaritas son asociadas para los 32 m reportados en el pozo VI-142 con una resistividad eléctrica de 32 a 72  $\Omega$ m. Para los

demás SEV la unidad de depósitos aluviales muestra valores promedios entre los 20 y los 30  $\Omega\text{m}$ , mientras que la unidad de radiolaritas se presenta en un rango promedio de 40 y 60  $\Omega\text{m}$ .

La unidad de basaltos se calibra mediante la interpretación del SEV 23 con base en los afloramientos de campo observados en los alrededores de donde se realizó el sondeo, la cual presenta una resistividad eléctrica de 55  $\Omega\text{m}$  en condiciones de avanzada meteorización y fracturamiento (regolito), que a profundidad mayor a los 4 m presenta valores de resistividad eléctrica de 175  $\Omega\text{m}$ . Así mismo, esta unidad de basaltos se relaciona mediante la interpretación del SEV 8 subyaciendo a la unidad de depósitos aluviales radiolaritas y a la unidad de radiolaritas con base el reporte litológico del pozo MTP-249, a los 6,5 m de profundidad y con una resistividad eléctrica de 105  $\Omega\text{m}$ .

A partir del cartografiado geológico la unidad de intrusivos es asociada según la interpretación del SEV 29, el cual muestra valores de resistividad eléctrica de 23  $\Omega\text{m}$  cuando se presenta altamente meteorizados y fracturados, así como valores de resistividad eléctrica de 305  $\Omega\text{m}$  a partir de los 8 m de profundidad al presentarse más sanos. Esta unidad es relacionada con los valores de resistividad eléctrica superiores a los 300  $\Omega\text{m}$  tanto para los SEV, así como para las secciones MT.

En el Cuadro 2 se muestran los valores de resistividad eléctrica correlacionados con las unidades litológicas del área de estudio, a partir de la campaña geofísica realizada.

**Cuadro 2.** Valores de resistividad eléctrica.

<b>Unidad litológica</b>	<b>Rango de resistividad eléctrica (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>	<b>Valores promedios de resistividad eléctrica (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
Depósito aluvial	4 - 61	22
Radiolaritas	15 – 110	57
Intrusivos	23 - 492	398
Basaltos	55 - 261	182

En cuanto al modelo hidrogeológico conceptual para el acuífero Huacas-Tamarindo, según se presenta en los perfiles hidrogeológicos, secciones MT y las tomografías eléctricas es considerado como una sola unidad hidrogeológica, caracterizado como un acuífero libre, que está conformado por las unidades litológicas de los depósitos coluvio-aluviales y las zonas fracturadas de las unidades de las radiolaritas, los basaltos y los intrusivos del Complejo de Nicoya, las cuales se presentan cubiertas por suelos residuales de texturas areno arcillosos de 1 a 2 m de espesor. Estas unidades litológicas del Complejo de Nicoya reciben una recarga directa a partir de la precipitación de lluvia, que es conducida a través de las zonas fracturadas hacia las zonas saturadas. Mientras que, de manera lateral estas unidades del Complejo de Nicoya les aportan recarga hídrica a las unidades litológicas de los depósitos aluviales y los depósitos coluviales. Por otro lado, la dirección de flujo subterráneo es preferencialmente hacia el oeste y noroeste para la subcuenca del Río San Andrés, hacia el suroeste para la subcuenca del Río Lajas y hacia el sur para la subcuenca de Playa Grande, en donde la zona de descarga de cada una de las subcuencas es hacia el sector donde se ubica en estero de Tamarindo.

En los siguientes apartados se complementa la descripción del contexto hidrogeológico en cuanto al nivel freático de pozos perforados y excavados, localizados en cada una de las subcuencas de la zona de interés. Además, se determinan los parámetros hidráulicos de conductividad hidráulica y transmisividad, de las unidades litológicas que conforman el acuífero Huacas-Tamarindo.

A continuación, se muestra la ubicación de la campaña geofísica efectuada para la zona de estudio (Figura 8) y posteriormente se describen a detalle la distribución, localización en profundidad, características hidrogeológicas y valores de resistividad eléctrica asociados a la unidad hidrogeológica para cada una de las subcuencas que integran la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, así como las zonas de recarga hídrica y la dirección del flujo subterráneo del agua en uno de los perfiles hidrogeológicos para cada una de las tres subcuencas que conforman la cuenca en estudio.

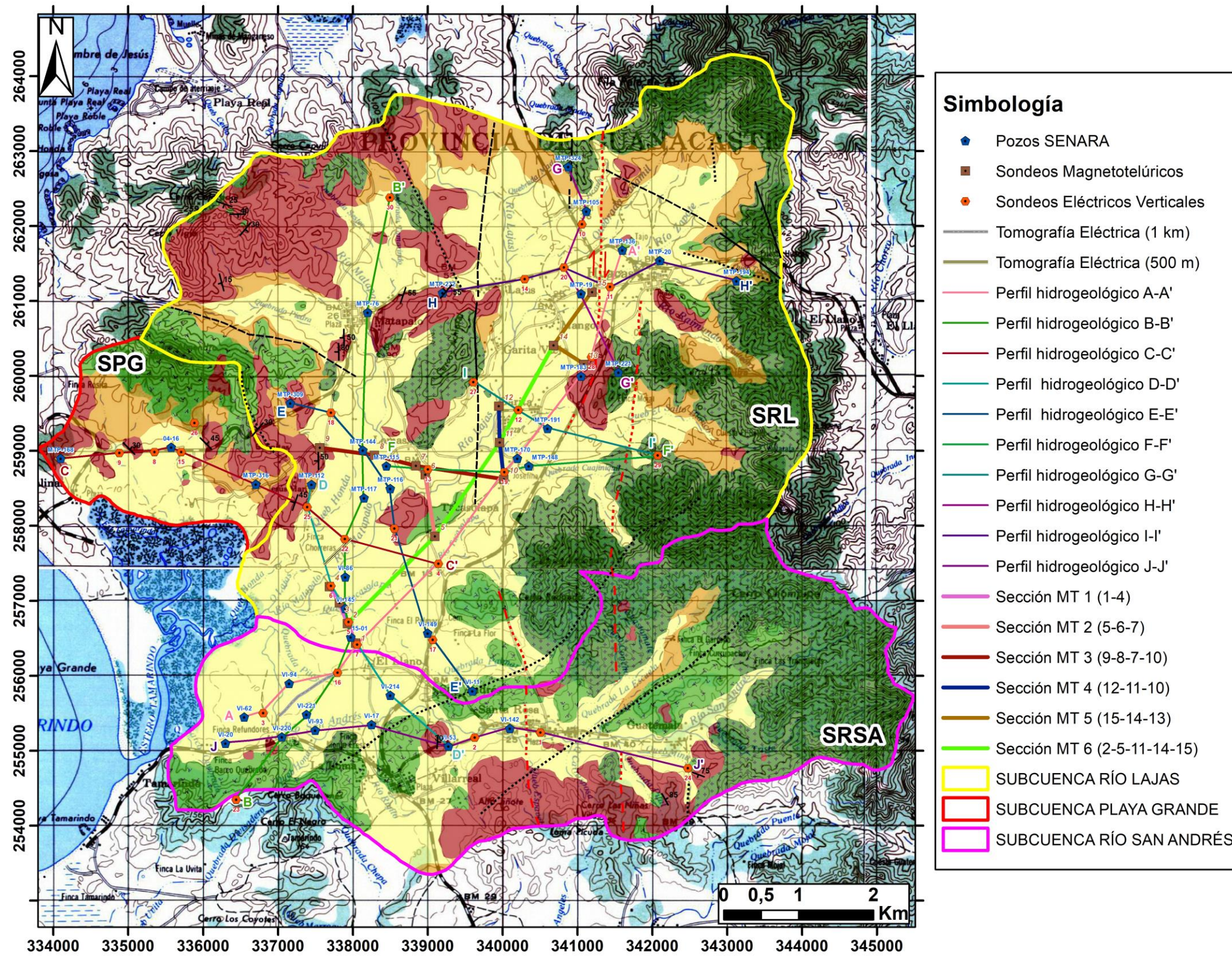


Figura 8. Mapa de la ubicación de la prospección geofísica.

## **5.1 Subcuenca Río Lajas (SRL)**

Esta subcuenca se ubica en el sector central y norte de la zona de estudio, es la subcuenca de mayor extensión, la cual cubre un área de 51 km<sup>2</sup>.

La subcuenca del río Lajas está constituida por las unidades geológicas de basaltos, intrusivos, radiolaritas, depósitos coluviales y aluviales, siendo la unidad de los depósitos aluviales la más abundante, conforma un 45 % del área (Figura 8).

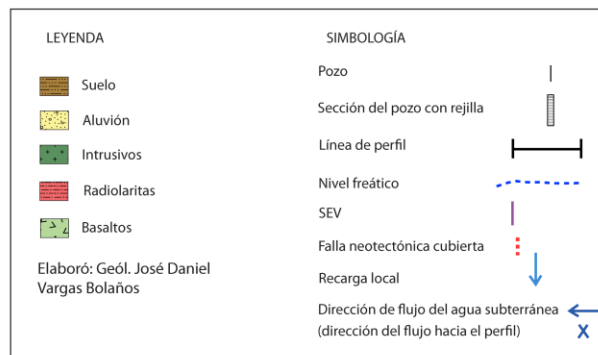
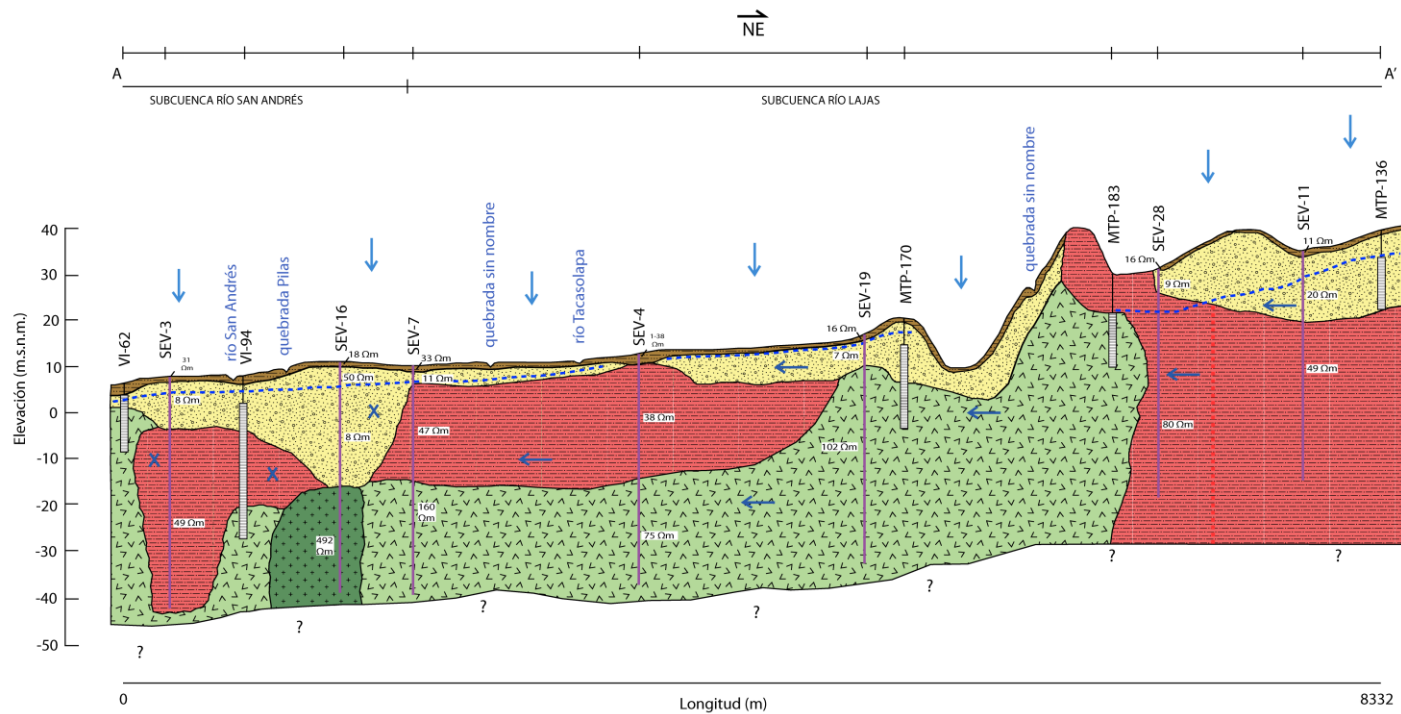
A continuación, se describirán las características hidrogeológicas de las unidades geológicas a partir de los perfiles hidrogeológicos A-A' (Figura 9) al perfil hidrogeológico I-I' (Figura 24), así como las secciones magnetoteléuricas MT 1 a la MT 6 (Figura 15 a la Figura 20) y la tomografía eléctrica de 500 m de longitud (Figura 21).

### **5.1.1 Basaltos**

Esta unidad litológica es captada por los pozos MTP-170 y MTP-183 en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) de los 8 a los 14 m y de los 20 a los 30 m de profundidad, respectivamente. Presentando el nivel freático entre los 3 y los 4 m.b.n.s. y un caudal de producción de 5 L/s para el pozo MTP-170. Así mismo, se relacionan a esta unidad el tramo de los 26 a los 50 m de profundidad con resistividades eléctricas de 160  $\Omega$ m para el SEV 7, y de 75  $\Omega$ m para el SEV 4 de los 26 a los 50 m de profundidad debido al fracturamiento y posible estado de saturación.

Según el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10) para el pozo MTP-144 la unidad de basaltos se localiza de los 5 a los 80 m de profundidad, mostrando el nivel de agua subterránea a 1,5 m.b.n.s. y un caudal de producción de 7 L/s (ANEXO 2). Por otra parte, para el pozo VI-86 se presenta la unidad de basaltos de los 0 a los 25 m de profundidad, pero sin la presencia de agua subterránea, ya que según el reporte de perforación de este pozo el mismo no fue armado. La mayoría de los pozos que captan esta unidad en la subcuenca del Río Lajas muestran caudales de producción entre 0,5 y 1 L/s (ANEXO 2) exceptuando el pozo MTP-144 ya mencionado y el pozo MTP-329 el cual registra un caudal de producción de 4 L/s; sin embargo, el caudal concesionado es de 0,06 L/s. Son pocos los pozos en esta subcuenca que captan únicamente la unidad de basaltos.

En el perfil hidrogeológico C-C' (Figura 11) se relacionan valores de resistividad eléctrica entre los 149 y los 177  $\Omega$ m, a profundidades que van desde los 9 a los 33 m.b.n.s. para los SEV 25 y 22, respectivamente.



**Figura 9.** Perfil hidrogeológico A-A'.

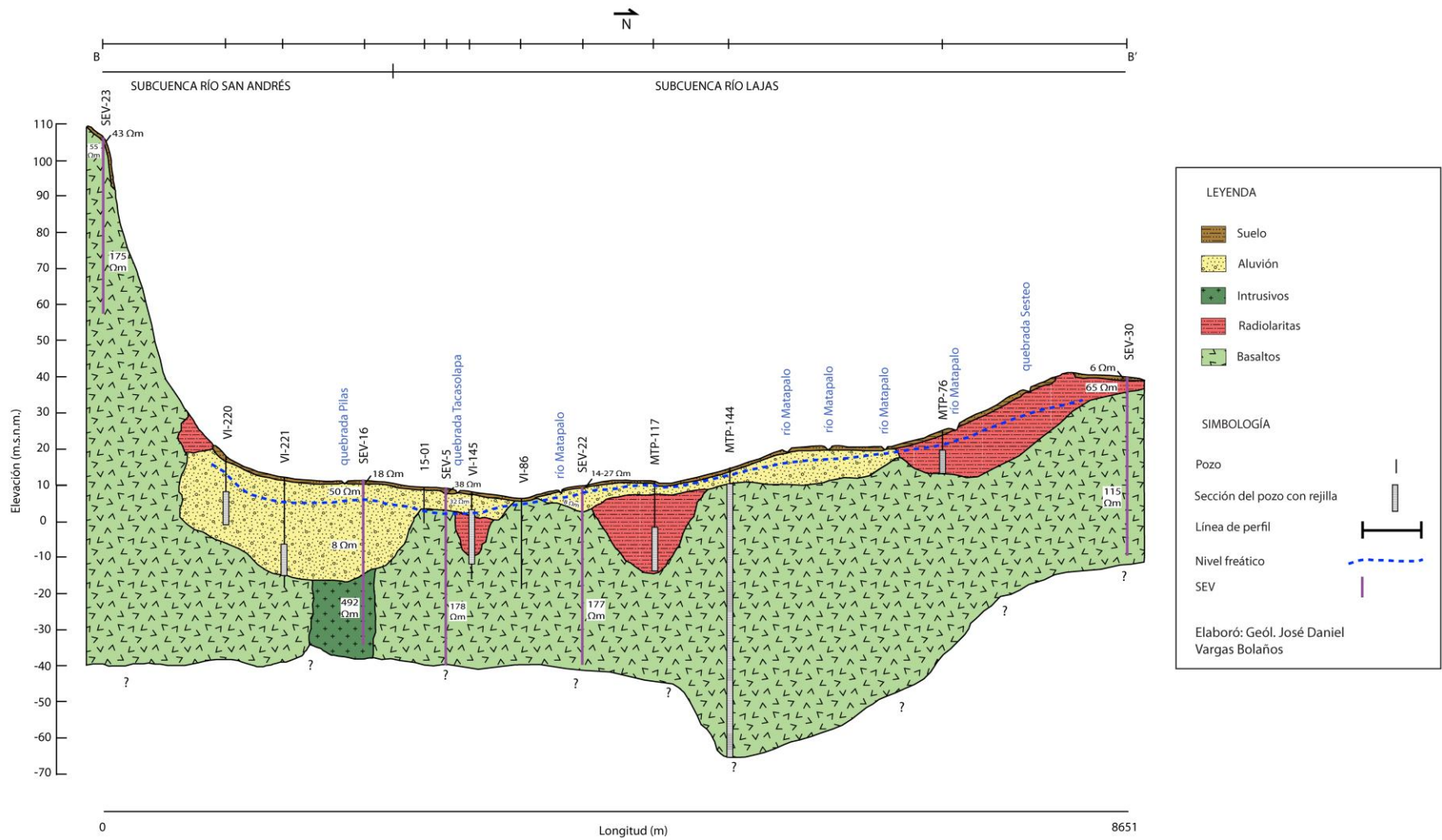


Figura 10. Perfil hidrogeol3gico B-B'.

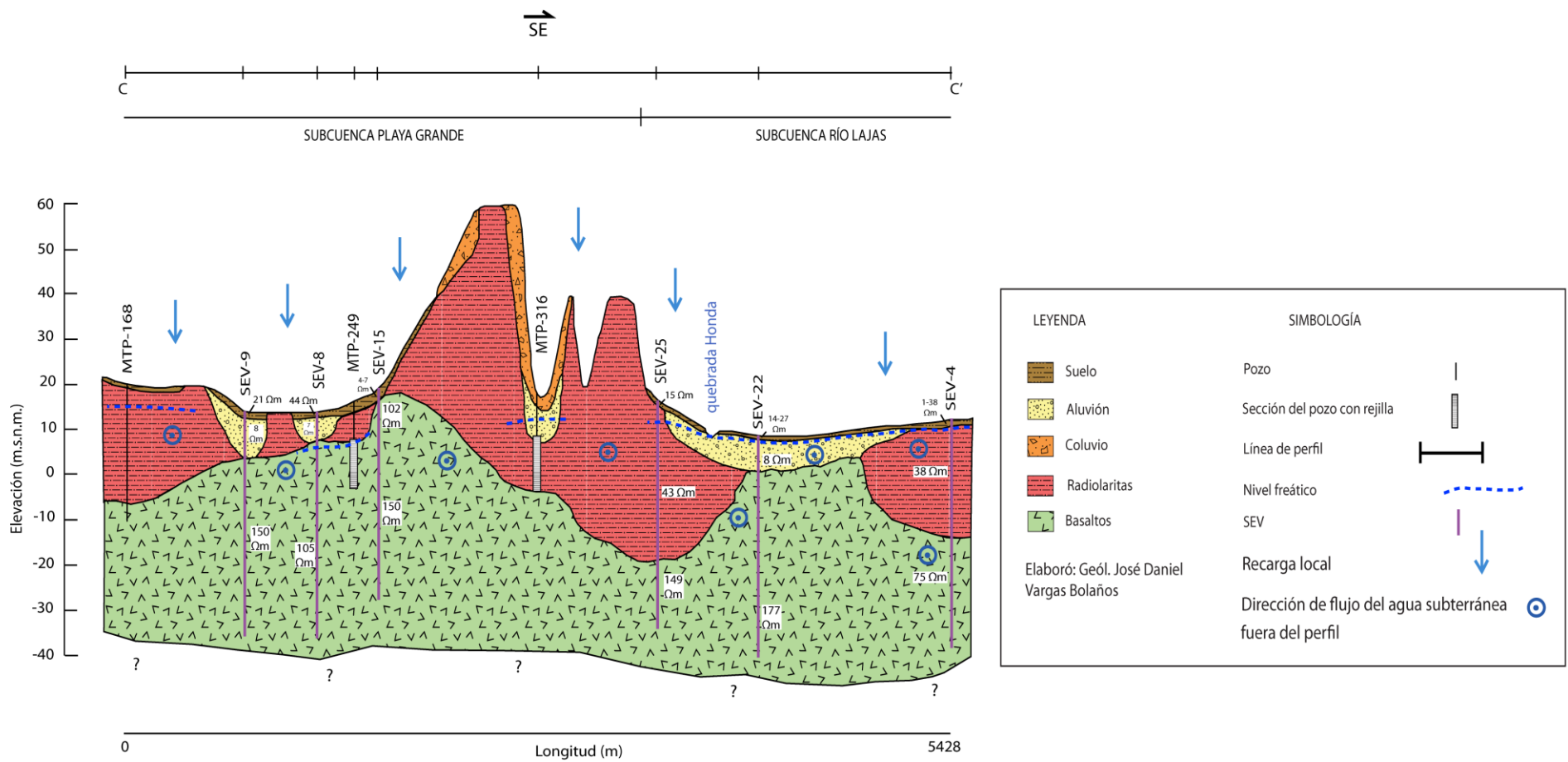
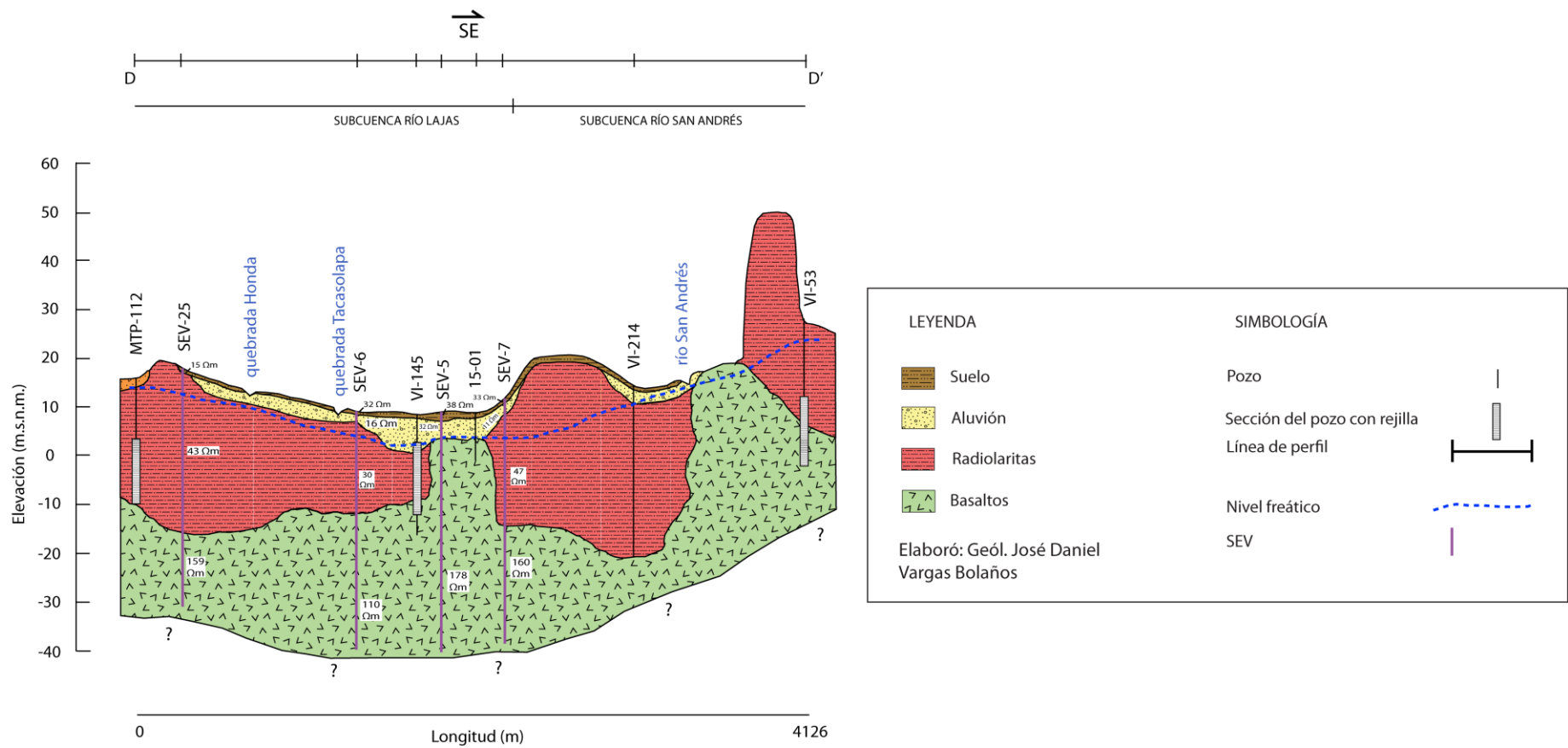


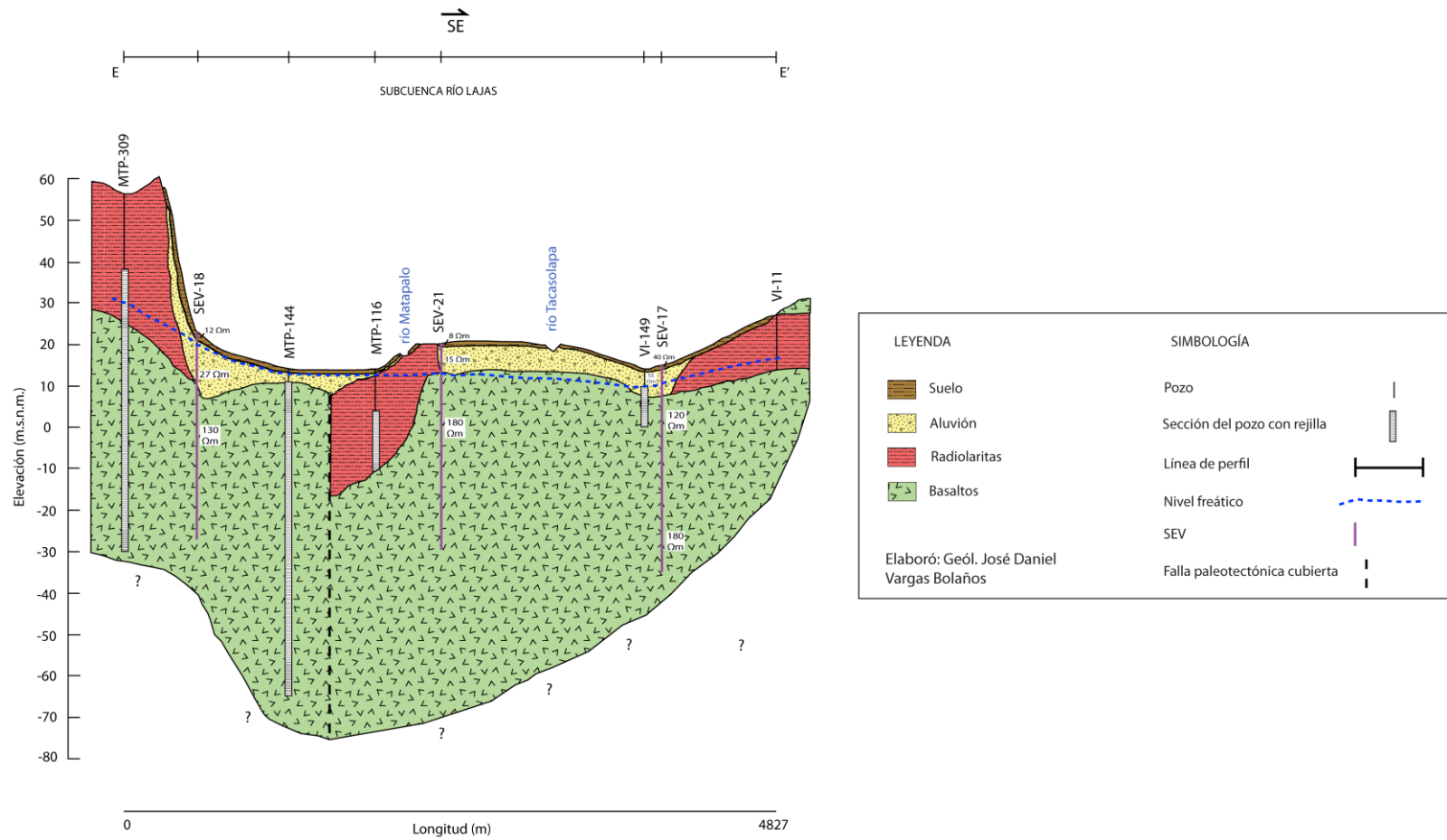
Figura 11. Perfil hidrogeológico C-C'.

Para el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) los sondeos eléctricos verticales SEV 5, SEV 6 y SEV 7 se relaciona a esta unidad, a partir de los 6 m de profundidad y con un valor de resistividad eléctrica de 178  $\Omega\text{m}$  para el SEV 5. El tramo de los 19 a los 50 m de profundidad con una resistividad eléctrica de 110  $\Omega\text{m}$  para el SEV 6 y para el SEV 7 posterior a los 26 m.b.n.s. mostrando una resistividad eléctrica de 160  $\Omega\text{m}$ .

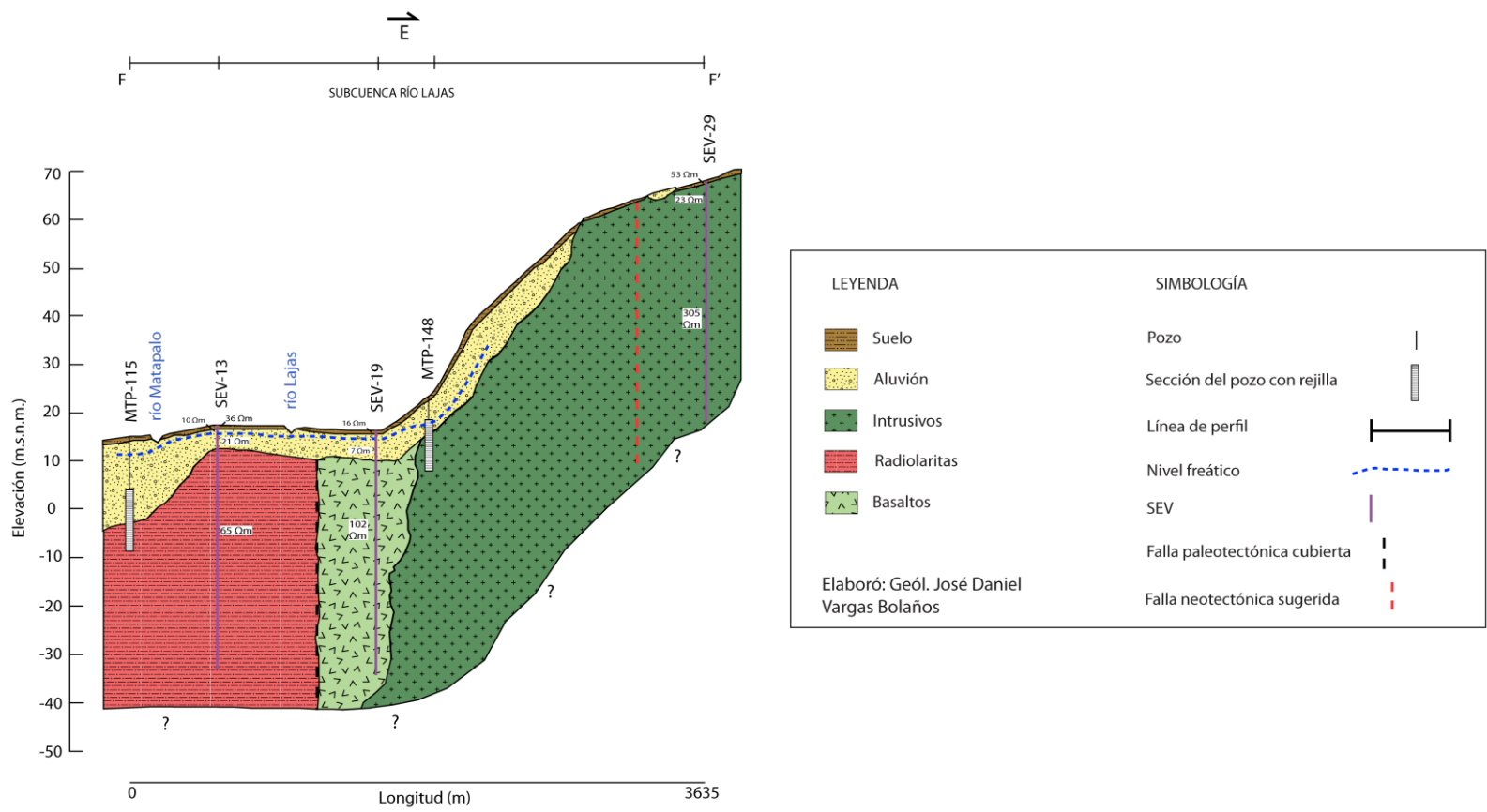
Los sondeos eléctricos verticales 17, 18 y 21 del perfil hidrogeológico E-E' (Figura 13) presentan de los 7, 15 y 6 m de profundidad, respectivamente hasta los 50 m de profundidad valores de resistividad eléctrica de 137, 130 y 180  $\Omega\text{m}$ , las cuales se correlacionan con esta unidad.

Para el perfil hidrogeológico F-F' (Figura 14) se relaciona con esta unidad de basaltos el tramo de 7 a 50 m de profundidad para el SEV 19, con un valor de resistividad eléctrica de 102  $\Omega\text{m}$ .





**Figura 13.** Perfil hidrogeológico E-E'.



**Figura 14.** Perfil hidrogeológico F-F'.

Mediante los sondeos magnetotelúricos (MT) esta unidad fue relacionada en la sección MT 1 (Figura 15) desde la profundidad de 35 m hasta los 95 m, con valores de resistividad eléctrica de 132 a 200  $\Omega$ m. Por otro lado, para la sección MT 2 (Figura 16) se muestran valores de resistividad eléctrica de 132 a 206  $\Omega$ m, entre las profundidades de 50 a los 190 m.

Para la sección MT 3 (Figura 17) se asocia esta unidad a partir de los 50 m de profundidad para un sector en el inicio de la sección, mientras que para el final de la sección se presenta entre los 60 y los 140 m de profundidad, con valores de resistividad eléctrica entre 170 y 260  $\Omega$ m.

Con base en la sección MT 4 (Figura 18) a esta unidad se relaciona con valores de resistividad eléctrica de 132 a 206  $\Omega$ m, ubicados entre los 20 y los 60 m de profundidad. Por otro lado, para la sección MT 5 (Figura 19) se presentan valores de resistividad eléctrica asociados entre los 170 y los 260  $\Omega$ m, a profundidades de 40 a 100 m.

Para la sección MT 6 (Figura 20) de los 35 a los 185 m de profundidad es correlacionado a esta unidad de basaltos, los valores de resistividad eléctrica de 100 a 193  $\Omega$ m.

A partir de la tomografía eléctrica de 500 m de longitud (Figura 21) se ha correlacionado esta unidad de los 30 a los 60 m de profundidad, al cual se le han asignado resistividades eléctricas que van de los 89 a los 149  $\Omega$ m cuando se encuentra relativamente sano y de 35 a los 89  $\Omega$ m cuando se presenta fracturado y saturado. Cabe mencionar que esta unidad se describe en conjunto con la unidad de radiolaritas, para los rangos de resistividad eléctrica entre 35 y 89  $\Omega$ m, ya que como se ilustra en los perfiles hidrogeológicos (Figura 9 a la Figura 14) estas unidades presentan valores de resistividad eléctrica compartidos y están presentes en los perfiles hidrogeológicos más cercanos a la tomografía.

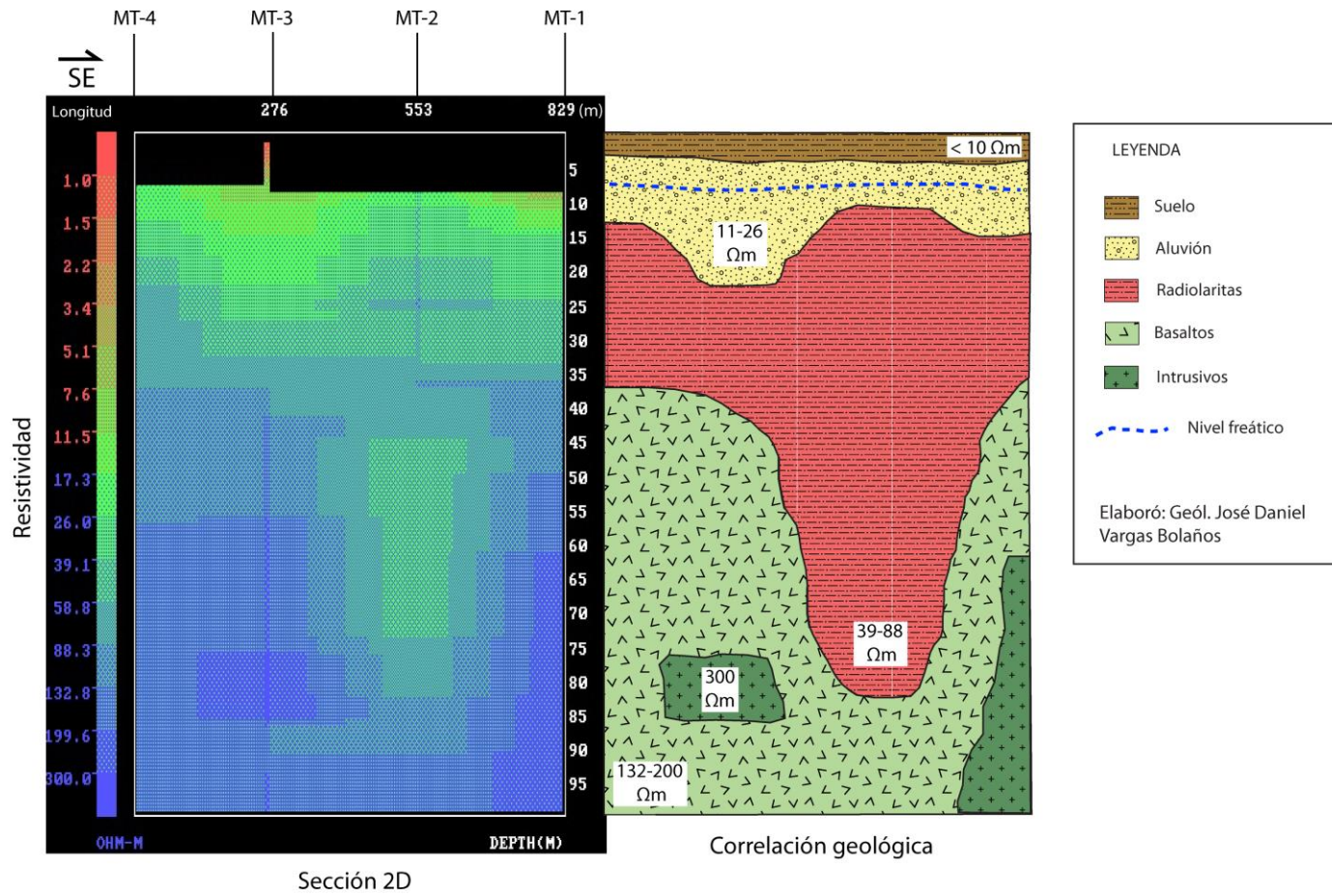


Figura 15. Sección MT 1.

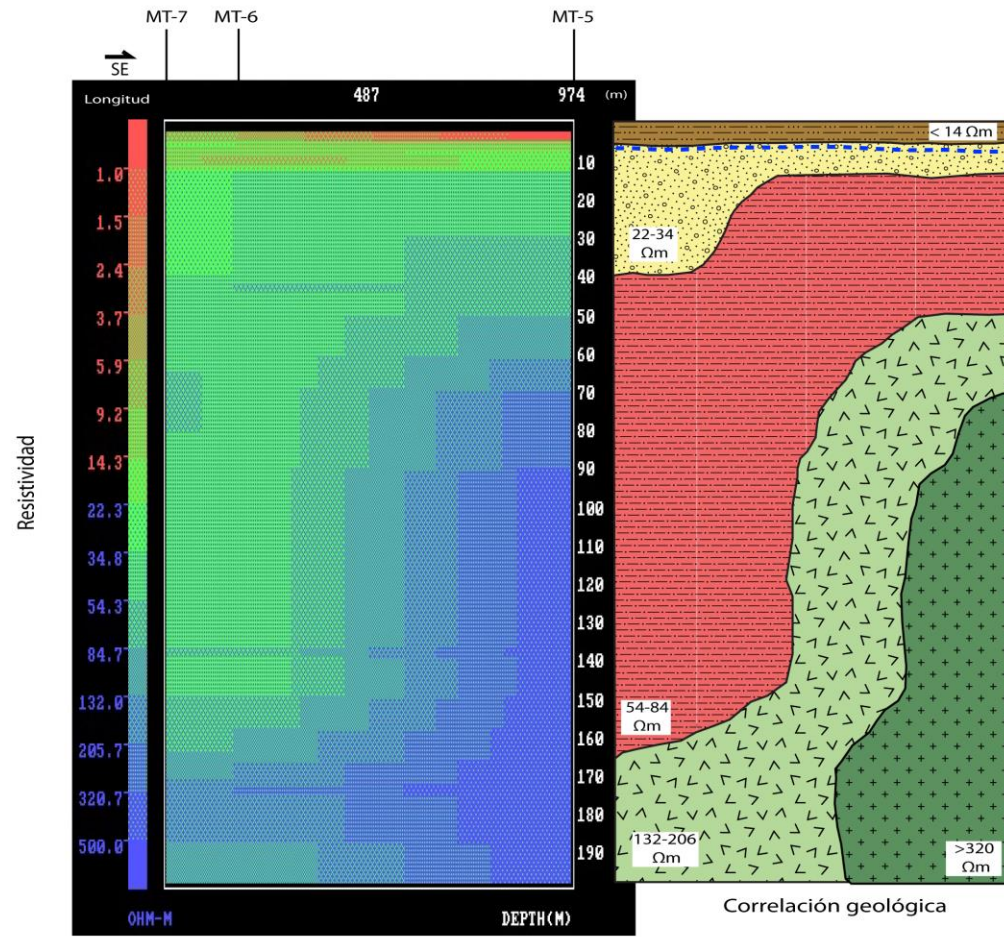
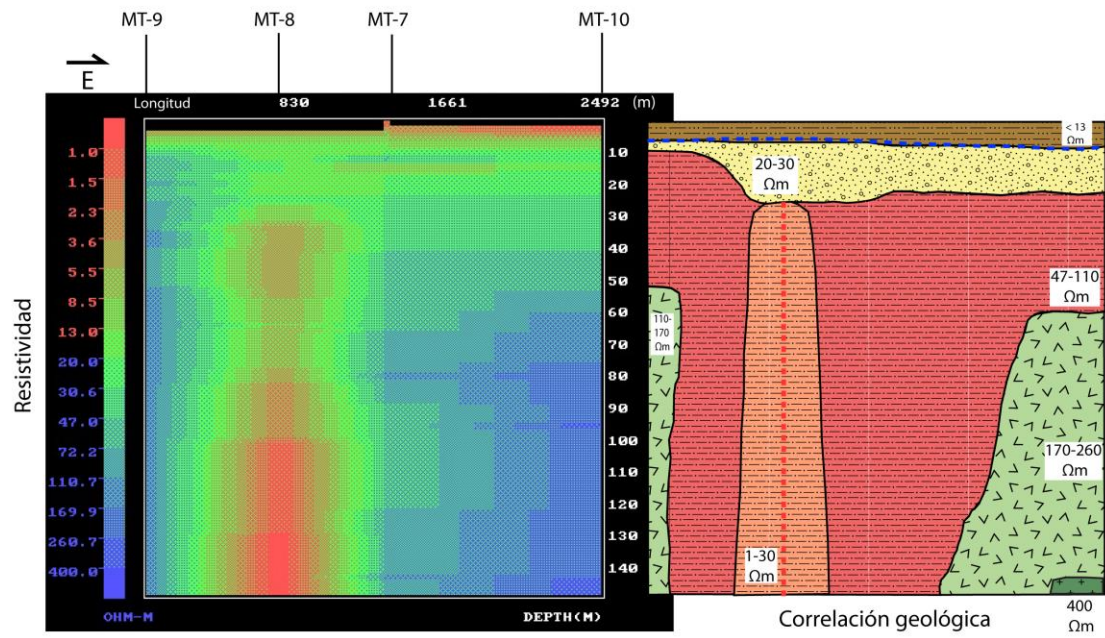


Figura 16. Sección MT 2.

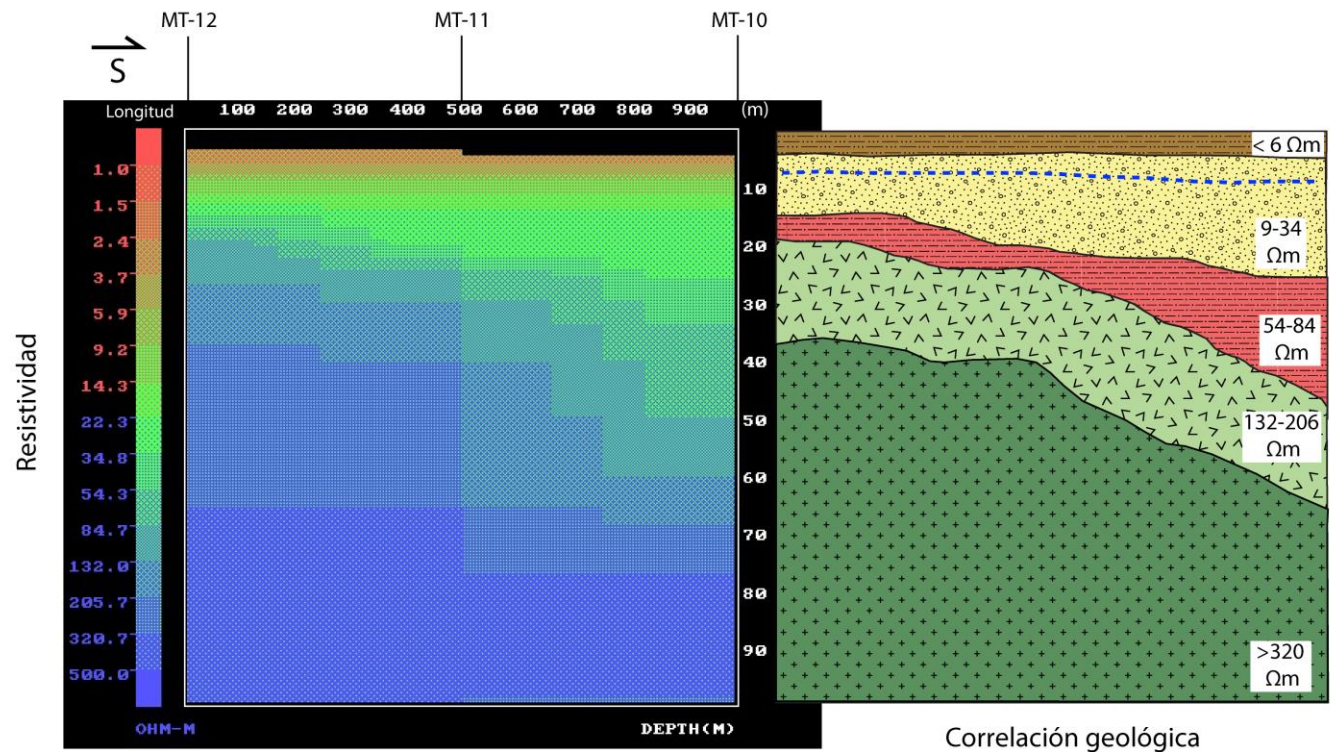


Sección 2D

LEYENDA	SIMBOLOGÍA
Suelo	Falla sugerida
Aluvión	Nivel freático
Radiolaritas cizalladas	
Radiolaritas	
Basaltos	
Intrusivos	

Elaboró: Geól. José Daniel Vargas Bolaños

Figura 17. Sección MT 3.



Sección 2D

Correlación geológica

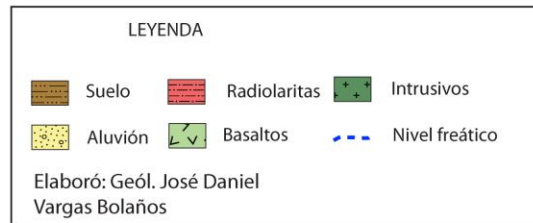


Figura 18. Sección MT 4.

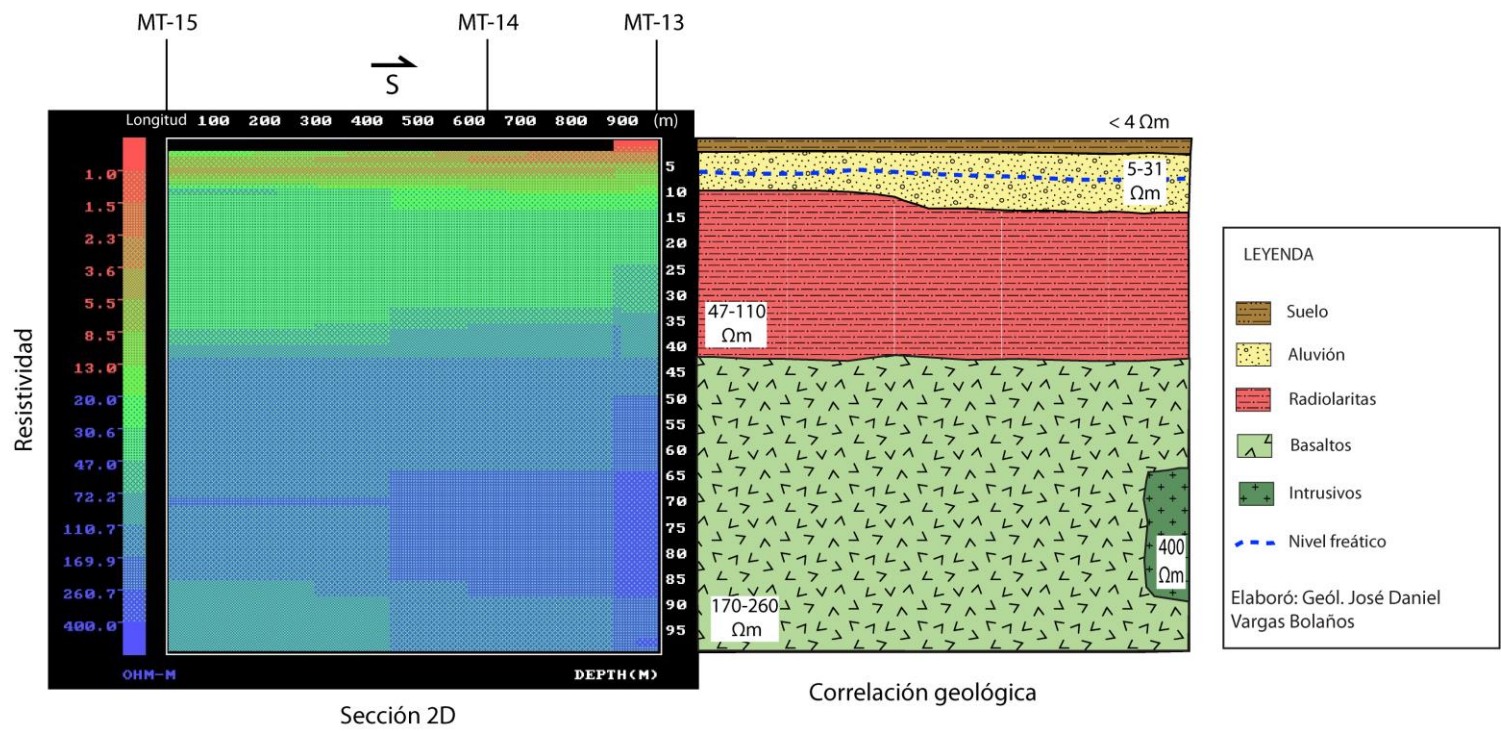


Figura 19. Secci3n MT 5.

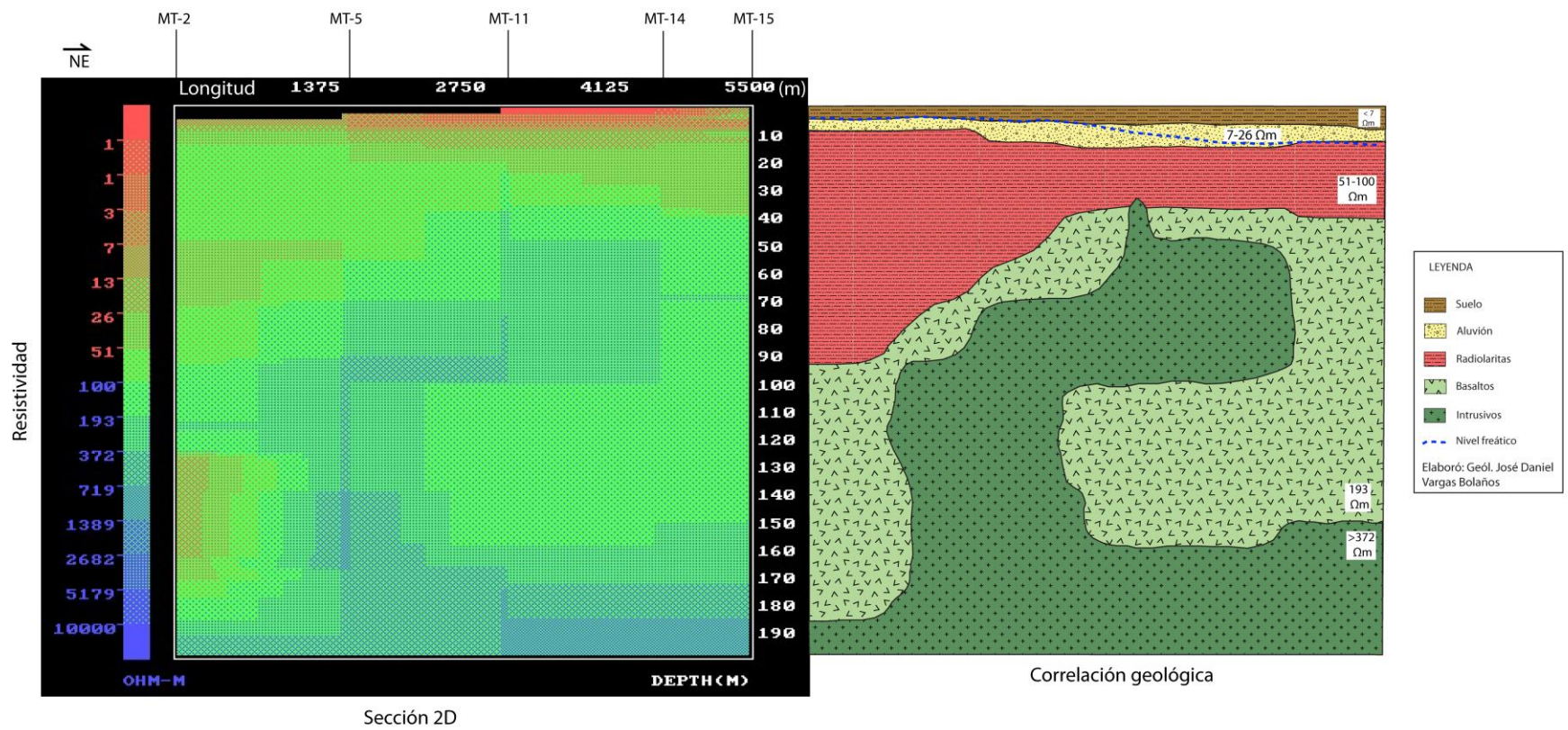
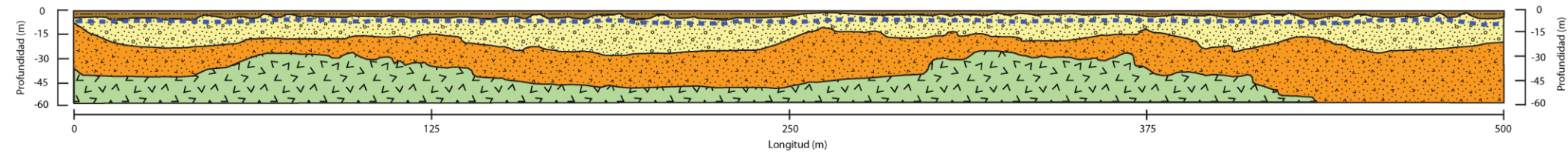
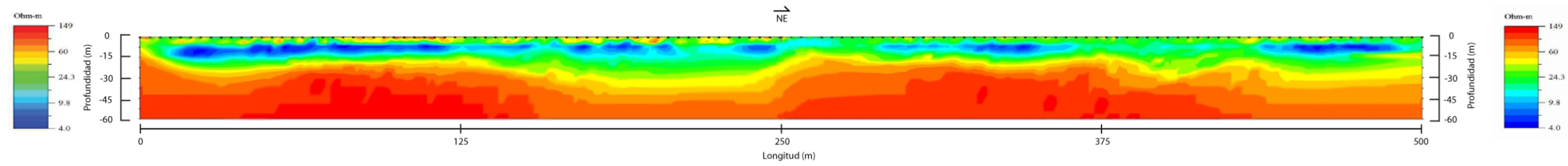


Figura 20. Sección MT 6.



LEYENDA	Resistividad eléctrica ( $\Omega m$ )	SIMBOLOGÍA
	35 - 89	Línea de perfil
	4 - 35	Nivel freático
	35 - 89	
	89 - 149	Elaboró: Geól. José Daniel Vargas Bolaños

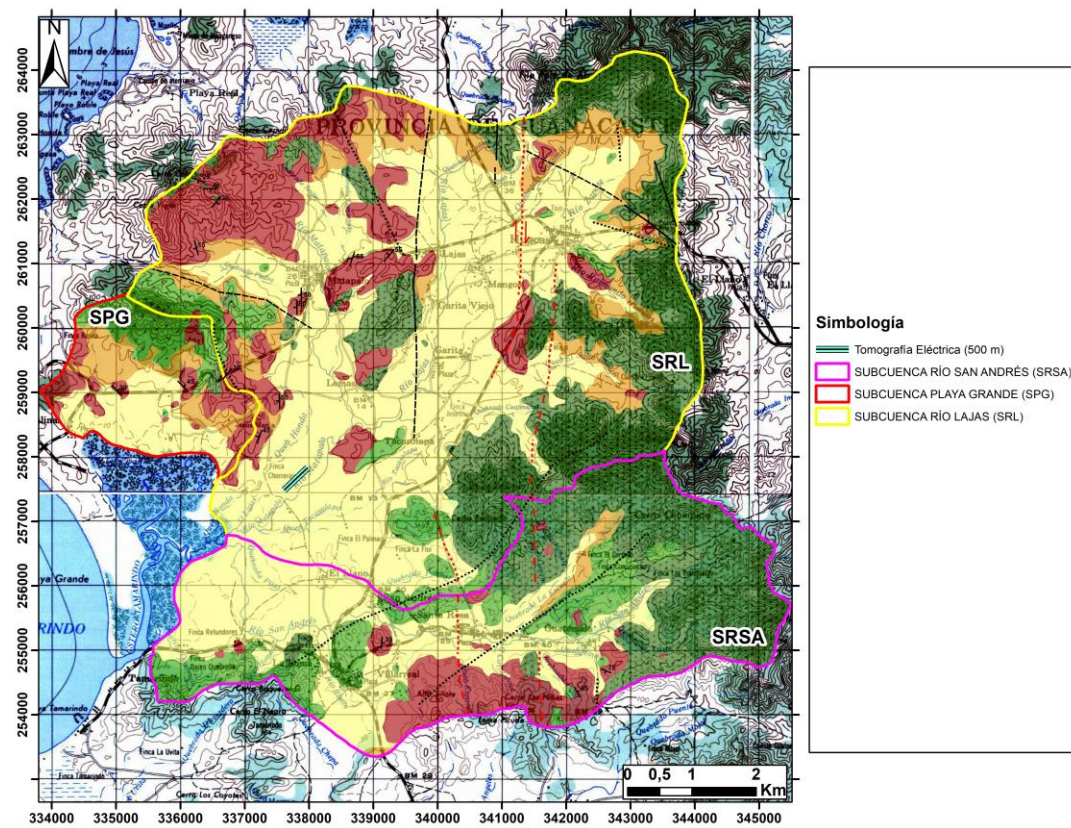


Figura 21. Tomografía eléctrica 1 (500 m).

### **5.1.2 Radiolaritas**

El perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) presenta valores de resistividad eléctrica entre los 38 y los 80  $\Omega$ m, de los 6 hasta los 50 m de profundidad, los cuales se relacionan con esta unidad litológica, para los SEV 4, 7, 11 y 28.

Según el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10) los pozos MTP-76 y MTP-117 muestran relación con esta unidad de 1 a los 12 m y de los 3 a los 24 m de profundidad respectivamente, con un nivel freático entre los 4,6 y los 3 m.b.n.s. y caudales de producción de 10,4 a 2 L/s. Por otra parte, para el pozo VI-145 la rejilla se ubica en su mayoría enfrentando esta unidad (7 a los 17 m de profundidad), ya que, se muestra captando 2 m de la unidad aluvial y 3 m en la unidad de intrusivos y un caudal de producción de 10 L/s para un nivel freático a 1,6 m.b.n.s. En cuanto al SEV 30, se asocia con esta unidad de radiolaritas, según este perfil hidrogeológico, muestra valores de resistividad eléctrica de los 65  $\Omega$ m y entre 1,8 y los 3 m de profundidad.

El SEV 25 y el SEV 4 para el perfil hidrogeológico C-C' (Figura 11) presentan valores de resistividad eléctrica asociado a esta unidad, entre los 43 y 38  $\Omega$ m, a partir de los 33 m de profundidad para el SEV 25 y entre 1 y los 26 m de profundidad para el SEV 4.

Para el pozo MTP-112 en el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) esta unidad es relacionada entre los 10 y los 25 m de profundidad, con un nivel freático a 1,5 m.b.n.s. y un caudal de producción de 0,5 L/s y para el pozo VI-145 entre los 7 y los 17 m de profundidad, con un nivel freático a los 1,6 m.b.n.s. y un caudal concesionado de 10 L/s. Así mismo, se asocian con esta unidad los sondeos eléctricos verticales 25, 6 y 7, presentando valores de resistividad eléctrica entre 30 y 47  $\Omega$ m; en tramos de 29 a 36 m.

El perfil hidrogeológico E-E' (Figura 13) ilustra para el pozo VI-11 hasta los 14 m de profundidad la presencia de esta unidad hidrogeológica, con un nivel del agua subterránea a los 5 m.b.n.s. y el pozo MTP-116 para los 24 m de su profundidad, con un nivel freático a los 3 m de profundidad.

Para el sondeo eléctrico vertical 13 en el perfil hidrogeológico F-F' (Figura 14) la resistividad eléctrica asociada es de 65  $\Omega$ m, de los 4 a los 50 m de profundidad.

Según el perfil hidrogeológico G-G' (Figura 22) para el SEV 10 entre los 4 y los 50 m de profundidad se presentan valores de resistividad eléctrica de 45  $\Omega$ m asociados a esta

unidad. Y para el SEV 20 de los 19 a los 50 m de profundidad, el valor de resistividad eléctrica relacionado con la unidad de radiolaritas es de 40  $\Omega\text{m}$ .

El perfil hidrogeológico H-H' (Figura 23) presenta para el SEV 14 de los 11 a los 50 m de profundidad, un valor de resistividad eléctrica de 72  $\Omega\text{m}$  asociado a esta unidad, mientras que para los sondeos eléctricos verticales 11 y 20 muestra valores de resistividad eléctrica de 49 y 40  $\Omega\text{m}$  a partir de los 16 y los 19 m de profundidad.

Para la sección magnetotelúrica MT 1 (Figura 15) esta unidad de radiolaritas es asociada a los valores de resistividad eléctrica de 39 a 88  $\Omega\text{m}$ , de los 10 a los 80 m de profundidad.

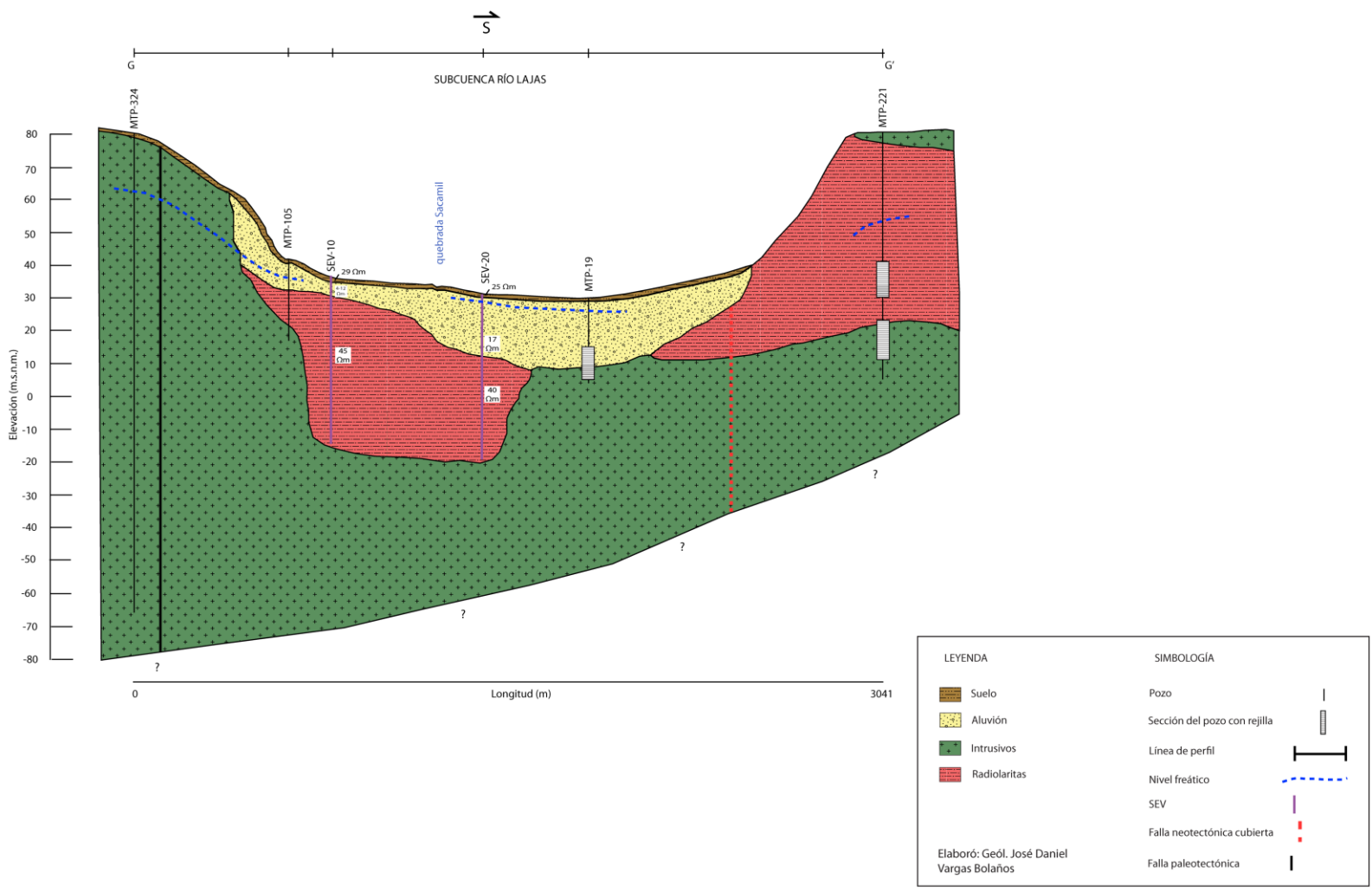
En la sección MT 2 (Figura 16) esta unidad está presente entre 10 y 160 m de profundidad, con valores de resistividad eléctrica de 54 a 84  $\Omega\text{m}$ .

A partir de la sección MT 3 (Figura 17) valores de resistividad eléctrica entre los 47 y los 110  $\Omega\text{m}$  se relacionan con esta unidad de radiolaritas, desde los 10 a 150 m de profundidad. Por otro lado, y como se observa en la sección, hay un sector que muestra valores de resistividad eléctrica muy bajos (entre < 30  $\Omega\text{m}$ ) de aproximadamente 400 m ancho y que se extiende en profundidad verticalmente, la cual ha sido interpretada como una zona de cizalla en materiales de la unidad de radiolaritas y que presenta el mismo rumbo (N-S) que otros fallamientos de la zona de estudio, la cual se propone en la presente investigación y se caracteriza como una falla cubierta (Figura 7).

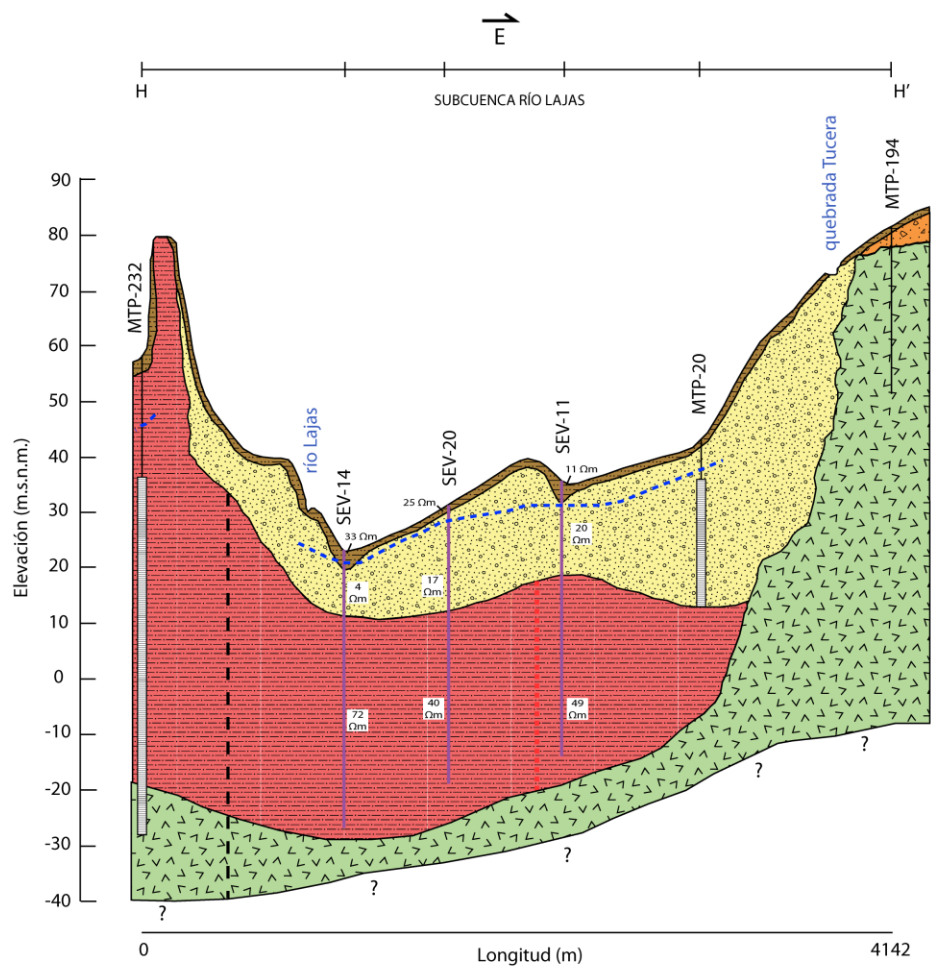
En la sección MT 4 (Figura 18) se muestran valores de resistividad eléctrica que varían de los 54 a los 84  $\Omega\text{m}$ , de los 15 a los 40 m de profundidad, los cuales se relacionan con esta unidad. Mientras que la sección MT 5 (Figura 19) los valores de resistividad eléctrica asociados van de 47 a 110  $\Omega\text{m}$  y de los 10 a los 40 m de profundidad.

Para la sección MT 6 (Figura 20) se relacionan valores de resistividad eléctrica de 51 a 100  $\Omega\text{m}$ , entre las profundidades de 10 a 90 m.

Por otro lado, mediante la tomografía eléctrica de 500 m de longitud (Figura 21) se relacionan los valores de resistividad eléctrica entre los 35 y los 89  $\Omega\text{m}$  a esta unidad litológica en conjunto con la unidad de basaltos, debido a que estas unidades presentan valores de resistividad eléctrica compartidos y están presentes en los perfiles hidrogeológicos más cercanos a la tomografía. Se localiza a lo largo de la tomografía a entre los 10 y los 60 m.b.n.s., mostrando un espesor máximo de 40 m de profundidad.



**Figura 22.** Perfil hidrogeológico G-G'.



LEYENDA	SIMBOLOGÍA
Suelo	Pozo
Aluvión	Sección del pozo con rejilla
Coluvio	Línea de perfil
Radiolaritas	Nivel freático
Basaltos	SEV
	Falla paleotectónica cubierta
	Falla neotectónica cubierta

Elaboró: Geól. José Daniel Vargas Bolaños

Figura 23. Perfil hidrogeológico H-H'.

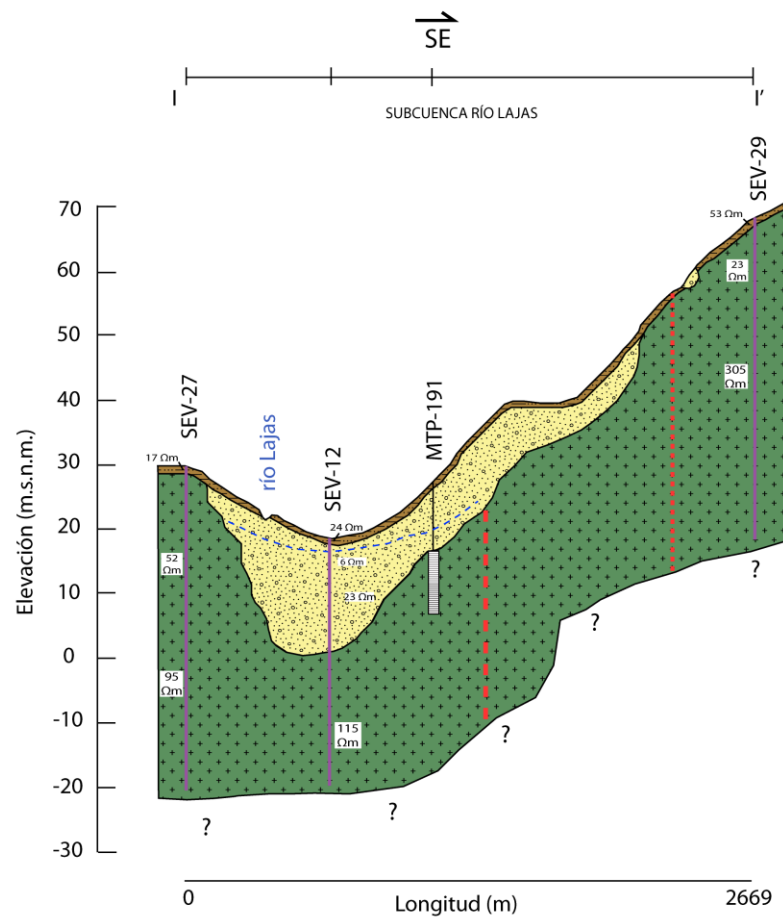
### **5.1.3 Intrusivos**

Esta unidad litológica se relaciona mediante el pozo MTP-148 en el perfil hidrogeológico F-F' (Figura 14) de los 7 a los 14 m de profundidad, con un nivel freático a los 4 m.b.n.s. y un caudal de producción de 5 L/s. Por otra parte, para el SEV 29 desde la superficie y hasta los 50 m de profundidad, se relacionan los valores de resistividad eléctrica de 23  $\Omega$ m a materiales de esta unidad muy meteorizados y fracturadas (regolito), y para valores de 305  $\Omega$ m a materiales más sanos.

A partir del perfil hidrogeológico G-G' (Figura 22) el pozo MTP-324 se relaciona con esta unidad en la totalidad de la perforación (1-147 m de profundidad), el cual presenta el nivel de agua subterránea a los 18 m de profundidad y un caudal de producción de 0,5 L/s.

El pozo MTP-191 en el perfil hidrogeológico I-I' (Figura 24) muestra la presencia de esta unidad de los 10 a los 20 m de profundidad, el nivel freático a los 8 m.b.n.s. y un caudal de producción de 1 L/s. Por otro lado, el SEV 12 muestra una resistividad eléctrica de 115  $\Omega$ m de los 17 a los 50 m de profundidad, cuyo espesor es relacionado con esta unidad. Para el SEV 27 a partir de 1,4 m de profundidad hasta los 23 m de profundidad se reportan valores de resistividad eléctrica de 52  $\Omega$ m asociados con esta unidad que se encuentran en avanzado estado de meteorización y fracturamiento, según observaciones de campo. Mientras que para el tramo de 23 a 50 m de profundidad se presenta un valor de resistividad eléctrica de 95  $\Omega$ m relacionado a materiales de esta unidad fracturados.

A partir de los sondeos magnetoteléuricos (MT) se presentan en las secciones magnetoteléuricas (MT 1 a la MT 6, Figura 15 a la Figura 20) valores de resistividad eléctrica asociados a esta unidad, que varían de 300  $\Omega$ m a valores superior a los 400  $\Omega$ m, a profundidades que van de los 25 a los 200 m. Para la sección MT 6 Figura 20 se observa como la unidad de intrusivos se extiende a través de la sección de manera ascendente, lo cual es característico de este tipo de rocas.



LEYENDA	SIMBOLOGÍA
Suelo	Pozo
Aluvión	Sección del pozo con rejilla
Intrusivos	Línea de perfil
	Nivel freático
	SEV
	Falla neotectónica cubierta
	Falla neotectónica sugerida

Elaboró: Geól. José Daniel Vargas Bolaños

Figura 24. Perfil hidrogeológico I-I'.

#### **5.1.4 Depósitos aluviales**

Se relacionan materiales de la unidad de depósitos aluviales en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) para los materiales descritos en el pozo MTP-136 hasta la profundidad de 16 m, con la presencia de un nivel freático a los 5,5 m.b.n.s. y un caudal de producción de 3 L/s. En cuanto a los sondeos eléctricos verticales 7, 11, 19 y 28 se presentan valores de resistividad eléctrica de los 7 a los 50  $\Omega$ m, a profundidades que varían de < 1 m hasta los 26 m de profundidad.

Para el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10) los SEV 5 y 22 presentan valores de resistividad eléctrica entre 8 y 32  $\Omega$ m, entre las profundidades de 1 a 9 m de profundidad y que son relacionados con la unidad de depósitos aluviales.

El SEV 22 muestra una resistividad eléctrica entre 8 y 27  $\Omega$ m a una profundidad de < 1 a los 9 m, en el perfil hidrogeológico C-C' (Figura 11) asociado a esta unidad. Mientras que en el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) los SEV 6 y 7 presentan a profundidades menores a 1 m y hasta los 2,5 m resistividades de 16 y 11  $\Omega$ m que son asociadas a los depósitos aluviales.

En el perfil hidrogeológico E-E' (Figura 13) los SEV 17, 18 y 21 presentan valores de resistividad eléctrica entre 15 y 55  $\Omega$ m, entre las profundidades de 1 a 15 m de profundidad y los cuales son relacionados con la unidad de depósitos aluviales.

El SEV 13 en el perfil hidrogeológico F-F' (Figura 14) presenta un valor de resistividad eléctrica de 21  $\Omega$ m para el tramo de < 1 a los 4 m de profundidad y que es relacionado con esta unidad; así como los tramos de los pozos MTP-115 de los 4 a los 12 m de profundidad y del pozo MTP-148 hasta los 7,5 m de profundidad.

En el perfil hidrogeológico G-G' (Figura 22) los sondeos eléctricos verticales 10 y 20 presentan valores de resistividad eléctrica entre 6 y 17  $\Omega$ m, entre las profundidades de 1 a los 19 m, los cuales se asocian con esta unidad. De igual manera que los tramos de los pozos MTP-105 hasta los 9 m de profundidad y el pozo MTP-19 hasta los 21 m de profundidad.

El perfil hidrogeológico H-H' (Figura 23) presenta para los SEV 11, 14 y 20 de < 1 a los 19 m de profundidad, con valores de resistividad eléctrica entre 4 y 20  $\Omega$ m asociado a esta unidad, mientras que para el pozo MTP-20 de los 3 a los 30 m de profundidad se reporta

la presencia de la unidad de depósitos aluviales, con un nivel freático a los 4 m.b.n.s. y un caudal de producción de 3,3 L/s.

Para el SEV 12 se relacionan materiales con esta unidad litológica, a la profundidad de 1 a los 17 m se presentan valores de resistividad eléctrica de 6 a 23  $\Omega$ m para el perfil hidrogeológico I-I' (Figura 24).

Mediante los sondeos magnetotelúricos (MT) se presentan en las secciones magnetotelúricas (MT 1 a la MT 6, Figura 15 a la Figura 20) valores de resistividad eléctrica que varían de los 5 a los 34  $\Omega$ m asociados a esta unidad, a profundidades que van de los 5 a los 40 m y con niveles del agua subterránea asociados entre los 3 y los 10 m.b.n.s.

Mientras que a partir de la tomografía eléctrica de 500 m de longitud (Figura 21) se relacionan los valores de resistividad eléctrica entre los 4 y los 35  $\Omega$ m a esta unidad litológica, la cual se localiza a lo largo de la tomografía entre 2 y 30 m.b.n.s., mostrando un espesor promedio de 15 m y un espesor máximo de 28 m.

## **5.2 Subcuenca Río San Andrés (SRSA)**

Se localiza en el sector sur de la zona de estudio, abarcando un área de 24 km<sup>2</sup>. Está constituida por las unidades geológicas de basaltos, intrusivos, radiolaritas, depósitos coluviales y aluviales, siendo estos últimos los más abundantes (35 % del área) (Figura 8).

Seguidamente se describirán las características hidrogeológicas de las unidades a partir de los perfiles hidrogeológico A-A' (hasta el SEV 16) (Figura 9), perfil hidrogeológico B-B' (hasta el SEV 16) (Figura 10), perfil hidrogeológico D-D' (a partir del pozo VI-214) (Figura 12), perfil hidrogeológico J-J' (Figura 25), así como la tomografía eléctrica de 1 km de longitud (Figura 26).

### **5.2.1 Basaltos**

Esta unidad litológica es relacionada en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) mediante los pozos VI-62 y VI-94, de los 6 a los 15 m de profundidad y de los 28 a los 35 m de profundidad, respectivamente.

Con base en el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10) para el SEV 23 se asocian con esta unidad de basaltos, valores de resistividades eléctricas de los 55  $\Omega\text{m}$  cuando se presenta meteorizado y fracturado a una profundidad de 4 m, mientras que a profundidad muestra una resistividad eléctrica de 175  $\Omega\text{m}$ .

En el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) el pozo VI-53 presenta a partir de los 20 m de profundidad materiales que son asociados a esta unidad.

Mientras que para el perfil hidrogeológico J-J' (Figura 25) se muestra que esta unidad es captada parcialmente por los pozos VI-20, VI-93, VI-17 y VI-53. Así mismo, es relacionada mediante el SEV 24 a partir de los 4,5 y hasta los 50 m de profundidad, con un valor de resistividad eléctrica de 105  $\Omega\text{m}$ .

A partir de la tomografía eléctrica de 1 km de longitud (Figura 26) se ha correlacionado esta unidad de los 30 a los 60 m de profundidad, al cual se le han asignado resistividades eléctricas que van de los 89 a los 149  $\Omega\text{m}$  cuando se encuentra relativamente sano y de 35 a los 89  $\Omega\text{m}$  cuando se presenta fracturado y saturado. Cabe mencionar que esta unidad se describe en conjunto con la unidad de radiolaritas, para los rangos de resistividad eléctrica entre 35 y 89  $\Omega\text{m}$ , ya que como se ilustra en los perfiles hidrogeológicos (Figura 9, Figura 10, Figura 12 y Figura 25) estas unidades presentan valores de resistividad eléctrica compartidos y están presentes en los perfiles hidrogeológicos más cercanos a la tomografía.

En cuanto al nivel estático que muestra la unidad de basaltos, varían de los 3 a los 5,6 m.b.n.s. y los caudales de producción van de los 3,1 a los 6,3 L/s (ANEXO 2).

### **5.2.2 Radiolaritas**

Esta unidad es relacionada en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) mediante el sondeo eléctrico vertical 3 entre los 9 y los 50 m de profundidad, con un valor de resistividad eléctrica de 49  $\Omega\text{m}$  y a partir del pozo VI-94 entre los 12 y los 28 m de profundidad.

Para el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) se describe parcialmente en los pozos VI-214 y el pozo VI-53, de los 4 a los 35 m de profundidad y entre los 20 y 30 m de profundidad, respectivamente (ANEXO 2).

El perfil hidrogeológico J-J' (Figura 25) muestra que para los SEV 1 y 2, esta unidad de radiolaritas es relacionada a partir de las profundidades de 7,8 y 5 m de profundidad, presentando valores de resistividad eléctrica entre los 46 y los 72  $\Omega\text{m}$ .

En cuanto al nivel del agua subterránea, los pozos relacionados a esta unidad presentan el nivel freático entre los 1,70 a los 5,3 m.b.n.s. y un caudal de producción va de 7,8 a 10,5 L/s (ANEXO 2).

A partir de la tomografía eléctrica de 1 km (Figura 26) se relacionan valores de resistividad eléctrica entre los 35 y los 89  $\Omega$ m a esta unidad hidrogeológica en conjunto con la unidad de basaltos, debido a que estas unidades presentan valores de resistividad eléctrica compartidos y están presentes en los perfiles hidrogeológicos más cercanos a la tomografía. Se localiza a lo largo de la tomografía a entre los 15 y los 60 m.b.n.s., alcanzando un espesor máximo de 30 m de profundidad.

### **5.2.3 Intrusivos**

Esta unidad es asociada mediante el SEV 16 en los perfiles hidrogeológicos A-A' (Figura 9) y el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10) a partir de los 28 m de profundidad y para la resistividad eléctrica de 492  $\Omega$ m.

No se presentan pozos registrados dentro de esta subcuenca que capten esta unidad hidrogeológica (ANEXO 2).

### **5.2.4 Depósitos aluviales**

Como se observa en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 9) el SEV 3 muestra un valor de 8  $\Omega$ m entre 0,7 y los 9 m de profundidad. Mientras que el SEV 16 presenta valores de 8 a 50  $\Omega$ m entre los 3 y los 28 m de profundidad. Por otro lado, el pozo VI-94 para el tramo entre 1,5 y 14 m de profundidad describe esta unidad de depósitos aluviales.

Por otro lado, como se observa en el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 10), los pozos VI-220 y el pozo VI-221 se presentan captando los materiales aluviales hasta la profundidad de 22 y 27 m, respectivamente; mostrando un nivel del agua subterránea entre 5,5 y 3,1 m.b.n.s. y caudales concesionados de 1,9 y 2,6 L/s, respectivamente.

El perfil hidrogeológico D-D' (Figura 12) presenta el pozo VI-214 relacionando para los primeros 4 m de profundidad materiales a esta unidad de depósitos aluviales.

Para el perfil hidrogeológico J-J' (Figura 25) esta unidad es captada por los pozos VI-17 (entre los 2 y los 11 m de profundidad) y el pozo VI-220 (de los 3 a los 22 m de profundidad). En el caso del pozo VI-93, es posible que al igual que los pozos VI-20, VI-

220 y VI-17, dicho pozo esté captando esta unidad de depósitos aluviales, ya que no se cuenta con el armado.

Los SEV 1, 2 y 24 presentan valores de resistividad eléctrica entre 8 y 61  $\Omega\text{m}$  hasta la profundidad de 8, 5 y 4,5 m de profundidad (Figura 25).

El nivel freático para esta unidad se localiza entre los 3,7 y los 5,5 m.b.n.s. y los caudales de producción entre 1,6 y 3,5 L/s (ANEXO 2).

Mediante la tomografía eléctrica de 1 km de longitud (Figura 26) se relacionan los valores de resistividad eléctrica entre los 4 y los 35  $\Omega\text{m}$  a esta unidad hidrogeológica, la cual se localiza a lo largo de la tomografía a entre los 5 y los 30 m.b.n.s., presentando un espesor variable entre los 8 y los 25 m de espesor.

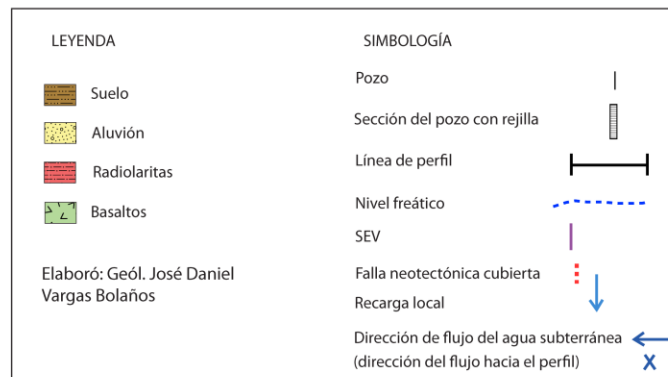
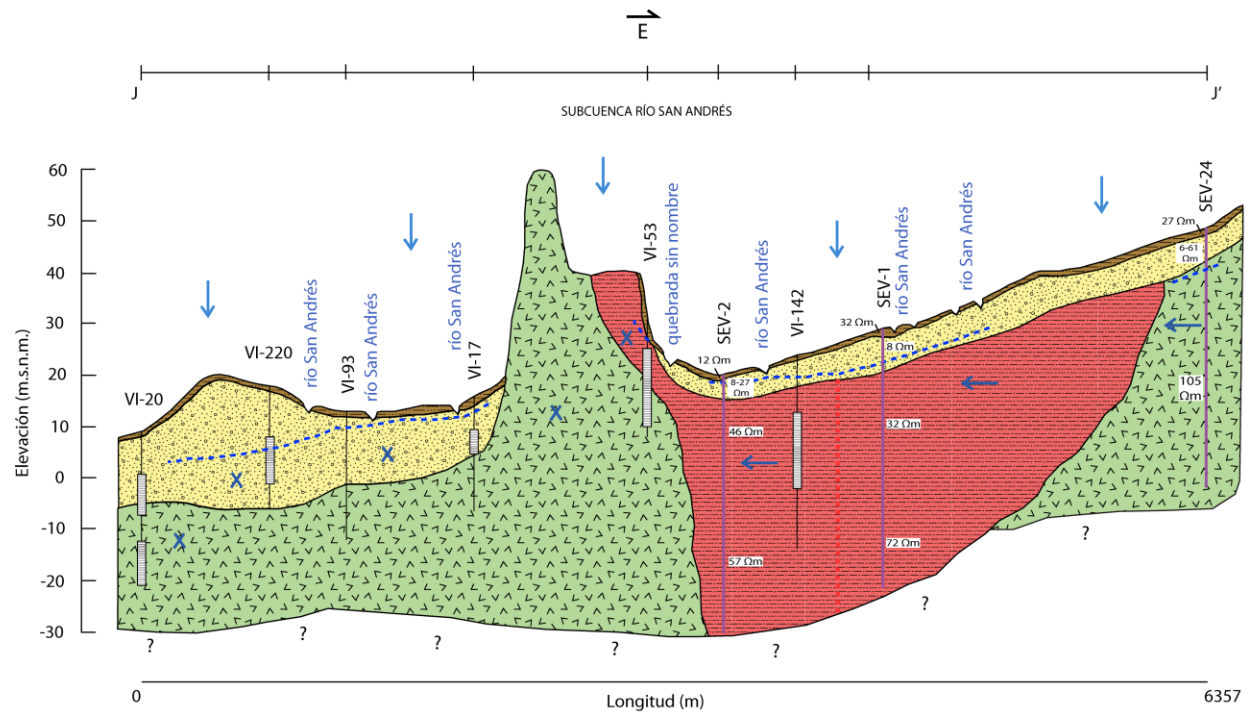
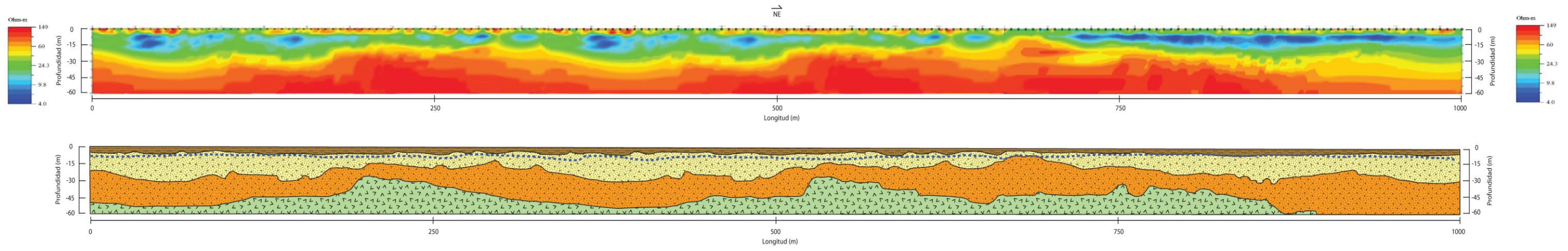


Figura 25. Perfil hidrogeológico J-J'.



LEYENDA	Resistividad eléctrica ( $\Omega$ m)	SIMBOLOGÍA
Suelo	35 - 100	Línea de perfil
Aluvi3n	4 - 35	Nivel freático
Radiolaritas y basaltos fracturados	35 - 89	
Basaltos	89 - 149	

Elabor3: Ge3l. Jos3 Daniel Vargas Bola3os

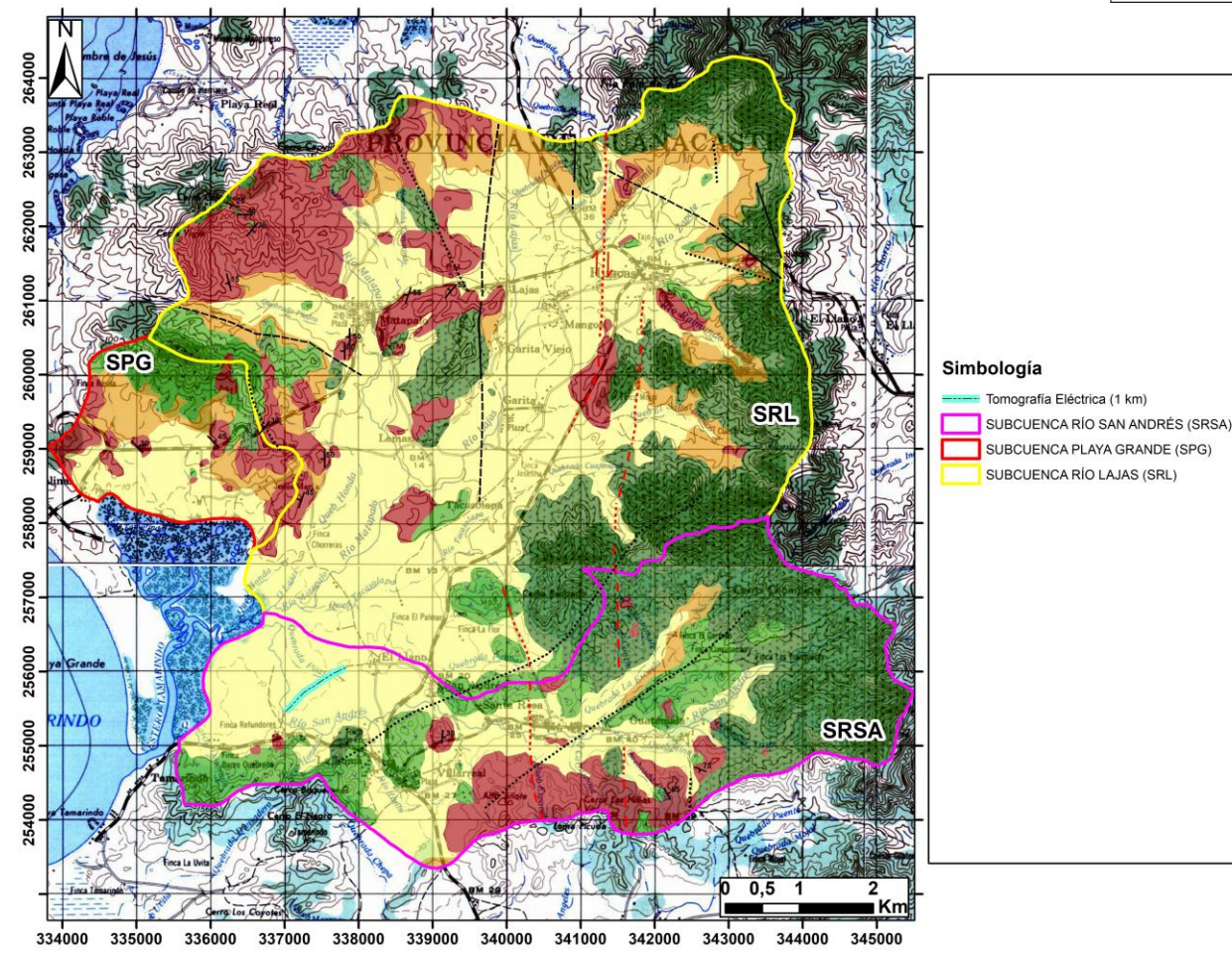


Figura 26. Tomograf3a el3ctrica 2 (1000 m).

### **5.3 Subcuenca Playa Grande (SPG)**

Esta subcuenca se ubica hacia el sector oeste de la zona de estudio, siendo la subcuenca de menor extensión que cubre un área de 6 km<sup>2</sup>.

Está constituida por las unidades geológicas de basaltos, intrusivos, radiolaritas, depósitos coluviales y aluviales, siendo la unidad de radiolaritas la más abundante (47 % del área).

A continuación, se describirán las características hidrogeológicas de las unidades geológicas a partir del perfil hidrogeológico C-C' (Figura 11).

#### **5.3.1 Basaltos**

Esta unidad es captada por el pozo MTP-318 de los 26 a los 30 m de profundidad, este pozo presenta una mezcla de unidades entre basaltos y radiolaritas, siendo esta segunda la unidad más abundante. Dicho pozo presenta un nivel estático a los 4 m.b.n.s. y un caudal de producción de 1 L/s (ANEXO 2). Los SEV 8, 9 y 15 se relacionan con esta unidad a partir de 1,8 a 9 m de profundidad, con una resistividad eléctrica de 102 a 150  $\Omega$ m.

#### **5.3.2 Radiolaritas**

Esta unidad es descrita mediante los pozos MTP-249 (de 3 a 10 m de profundidad), MTP-316 (entre 9 y 20 m de profundidad) y a partir del pozo MTP-168 hasta los 26 m de profundidad. Además, es correlacionada mediante el SEV 26 entre la profundidad de 2 a 4,5 m (ANEXO 3) en un estado de meteorización y fracturamiento avanzado, según se observa en los afloramientos de campo.

En cuanto al nivel del agua subterránea, los pozos relacionados a esta unidad presentan el nivel freático entre los 4,3 a los 5 m.b.n.s. y el caudal de producción varía de 1 a 9 L/s (ANEXO 2).

#### **5.3.3 Intrusivos**

Esta unidad es asociada mediante el SEV 26 a partir de los 4,5 m de profundidad, con un valor de resistividad eléctrica de 290  $\Omega$ m (ANEXO 3). No se presentan pozos registrados dentro de esta subcuenca que capten esta unidad hidrogeológica (ANEXO 2).

### 5.3.4 Depósitos aluviales

Para esta unidad se le asignan valores de resistividad eléctrica de 7 a 8  $\Omega$ m, a partir de los SEV 8 y SEV 9, entre la profundidad de 0,8 a 6,5 m y de 1,4 a 9 m, respectivamente. Por otro lado, el pozo MTP-316 presenta un espesor de 8 m de los depósitos aluviales.

## 6 Parámetros Hidráulicos de la unidad hidrogeológica

A continuación se presentan los parámetros hidráulicos de transmisividad y conductividad hidráulica de las unidades litológicas que conforman el acuífero Huacas-Tamarindo, los cuales fueron determinados a partir de los datos de campo de las pruebas de bombeo de los pozos que captan estas unidades hidrogeológicas (ANEXO 4), mediante el software Aquifer Test 2011.1 a partir de la metodología de Neuman debido a la caracterización del acuífero como acuífero libre.

### 6.1 Subcuenca Río Lajas (SRL)

Para esta subcuenca se obtuvieron los parámetros hidráulicos a partir de los datos de campo de 7 pruebas de bombeo existentes, los cuales se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Parámetros hidráulicos Subcuenca Río Lajas.

Pozo	Transmisividad (T) m <sup>2</sup> /d	Espesor saturado (b) m	Conductividad hidráulica (K) m/d	Tipo de conductividad hidráulica	Unidad litológica
MTP-142	127	24,52	5,18	Permeable	Aluvión
MTP-118	0,45	18,75	0,02	Algo permeable	
MTP-116	360	21,05	17,10	Permeable	
MTP-233	9,97	22,16	0,45	Algo permeable	Radiolarita-Basalto
MTP-16	884	27,28	32,40	Permeable	Aluvión-Radiolarita-Basalto
MTP-113	73,20	17,64	4,15	Permeable	Aluvión-Basalto
MTP-112	59,80	24,51	2,44	Permeable	

A partir de estos datos se determina que el acuífero Huacas-Tamarindo en el sector donde se ubica la subcuenca del río Lajas, mediante la interpretación de la prueba de

bombeo del pozo MTP-16 el cual capta las unidades litológicas de los depósitos aluviales, las radiolaritas y los basaltos, es la que presenta la mayor conductividad hidráulica con 32,40 m/d y una transmisividad de 884 m<sup>2</sup>/d. Según Custodio & Llamas (1983) el valor determinado para la conductividad hidráulica de esta unidad litológica es considerada como permeable.

La segunda mayor conductividad hidráulica corresponde al pozo MTP-116 con un valor de 17,10 m/d; el cual capta la unidad de los depósitos aluviales y presenta una transmisividad de 360 m<sup>2</sup>/d. La clasificación de la conductividad hidráulica para la unidad de los depósitos aluviales muestra valores que varían entre las categorías de algo permeable hasta permeable (Custodio & Llamas, 1983).

La unidad de depósitos aluviales y basaltos, a partir de los pozos MTP-112 y MTP-113 muestran una conductividad hidráulica de 2,44 y 4,15 m/d y una transmisividad de 59,80 y 73,20 m<sup>2</sup>/d, respectivamente. Según Custodio & Llamas (1983) el valor determinado para la conductividad hidráulica para esta unidad litológica es considerada como permeable.

En cuanto a la unidad litológica de radiolaritas y basaltos, se determina una conductividad hidráulica de 0,45 m/d y una transmisividad de 9,97 m<sup>2</sup>/d a partir de la prueba de bombeo del pozo MTP-233. La clasificación de la conductividad hidráulica según Custodio & Llamas (1983) para la unidad de radiolaritas y basaltos es considerada como algo permeable.

## **6.2 Subcuenca Río San Andrés (SRSA)**

Para la subcuenca del río San Andrés se obtuvieron los parámetros hidráulicos a partir de los datos de campo de 6 pruebas de bombeo existentes, los cuales se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Parámetros hidráulicos Subcuenca Río San Andrés.

Pozo	Transmisividad (T) m <sup>2</sup> /d	Espesor saturado (b) m	Conductividad hidráulica (K) m/d	Tipo de conductividad hidráulica	Unidad litológica
VI-218	46,50	13,56	3,43	Permeable	Aluvión
VI-221	120	18,02	6,66	Permeable	
VI-220	15	13,04	1,15	Permeable	
VI-17	120	18,29	6,56	Permeable	
VI-18	83	25,78	3,22	Permeable	Radiolarita
VI-20	1190	26,36	45,14	Permeable	Aluvión-Basalto

Mediante la interpretación de los datos del Cuadro 4, se observa que la unidad litológica de depósitos aluviales muestra valores de conductividad hidráulica entre 1,16 y 6,66 m/d; así como valores de transmisividad que varía entre 15 y 120 m<sup>2</sup>/d. La clasificación de la conductividad hidráulica según Custodio & Llamas (1983) para esta unidad varía en un rango de valores que es considerado como permeable.

La unidad litológica de radiolaritas presenta una conductividad hidráulica de 3,22 m/d, la cual es categorizada como permeable (Custodio & Llamas, 1983). En cuanto a la transmisividad determinada a partir de la prueba de bombeo del pozo VI-18, se obtuvo un valor de 83 m<sup>2</sup>/d.

De las pruebas de bombeo procesadas para esta subcuenca, la unidad de aluvión y basalto es la que muestra la mayor conductividad hidráulica con 45,14 m/d y un valor de 1190 m<sup>2</sup>/d para la transmisividad. La clasificación de la conductividad hidráulica según Custodio & Llamas (1983) para esta unidad es categorizada como permeable.

### **6.3 Subcuenca Playa Grande (SPG)**

Para esta subcuenca se obtuvieron los parámetros hidráulicos a partir de los datos de campo de 2 pruebas de bombeo existentes, los cuales se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Parámetros hidráulicos Subcuenca Playa Grande.

Pozo	Transmisividad (T) m <sup>2</sup> /d	Espesor saturado (b) m	Conductividad hidráulica (K) m/d	Tipo de conductividad hidráulica	Unidad litológica
MTP-140	0,20	30,30	0,01	Algo permeable	Basalto
MTP-122	1,22	6,42	0,19	Algo permeable	Aluvión-Radiolarita

A partir de estos datos se determina que el acuífero Huacas-Tamarindo en el sector donde se ubica la subcuenca de Playa Grande, mediante la prueba de bombeo del pozo MTP-140 el cual capta la unidad litológica de los basaltos, se determina un valor muy bajo de 0,01 m/d, para la conductividad hidráulica y un valor de 0,20 m<sup>2</sup>/d para la transmisividad. La clasificación de la conductividad hidráulica según Custodio & Llamas (1983) para esta unidad es considerada como algo permeable.

En cuanto a la unidad litológica de los depósitos aluviales y radiolaritas, las cuales son captadas en el pozo MTP-122, se determina una conductividad hidráulica de 0,19 m/d; catalogada como algo permeable según Custodio & Llamas (1983); y en cuanto a la transmisividad se muestra un valor de 1,22 m<sup>2</sup>/d.

Con base en el modelo hidrogeológico planteado, a partir de los perfiles hidrogeológicos, las secciones magnetotéluricas, las tomografías eléctricas y el cálculo de los parámetros hidráulicos de la transmisividad y la conductividad hidráulica, se determina que el acuífero Huacas-Tamarindo es considerado como un acuífero libre, conformado por las unidades litológicas de los depósitos coluvio-aluviales y las unidades del Complejo de Nicoya, las cuales presentan conductividades hidráulicas de 45 y 32 m<sup>2</sup>/d las de mayor permeabilidad, así como valores de conductividad hidráulica entre 0,01 y 0,45 m<sup>2</sup>/d consideradas como algo permeables.

## **7 Niveles estáticos monitoreo de pozos**

Los registros del nivel del agua subterránea en los pozos ubicados dentro de la zona de estudio, del monitoreo que realiza la Comisión Técnica Interinstitucional (CTI) la cual está conformada por el AyA, SENARA y la DA del MINAE, se han analizado junto con los valores de precipitación promedio de lluvia de la estación meteorológica que pertenece al

Instituto Meteorológico Nacional (IMN) No. 72149, la cual se localiza en San José de Pinilla y es la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio.

Los pozos de la red de monitoreo del CTI se localizan en la zona baja de la cuenca Huacas-Tamarindo, los cuales corresponden con pozos perforados y excavados. Las unidades litológicas que son aprovechadas por los pozos excavados se relacionan principalmente con la unidad de los depósitos aluviales y con la unidad de las radiolaritas, mientras que los pozos perforados se encuentran captando de manera independiente las unidades litológicas de los depósitos aluviales, las radiolaritas y los basaltos, así como la combinación de dichas unidades (ANEXO 2). Por otro lado, las profundidades de los pozos excavados van de los 4 a los 12 m, mientras que los pozos perforados se encuentran entre los 9 y los 35 m (ANEXO 5).

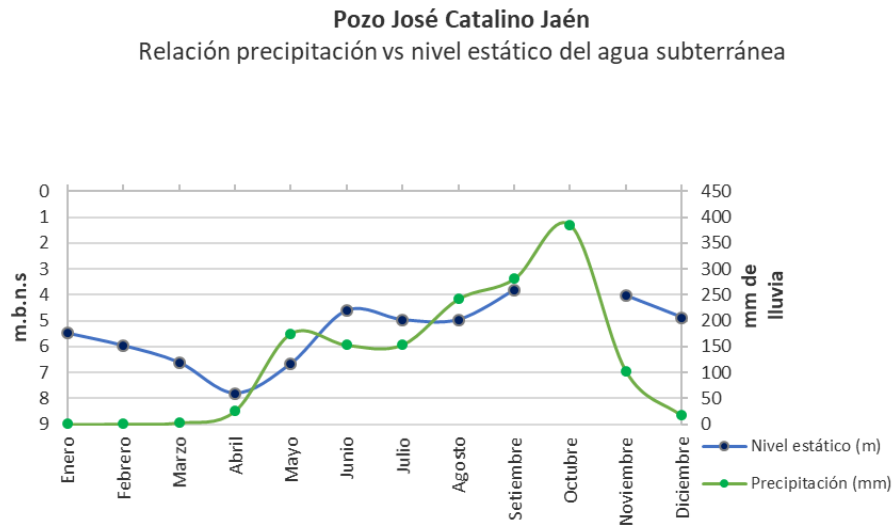
Los datos de los niveles estáticos de los pozos utilizados corresponden con el periodo lluvioso del año 2017, mientras que los datos de la precipitación de lluvia representan el promedio mensual de los registros de lluvia entre los años 2004 – 2017.

A partir de la relación de la precipitación de lluvia y las variaciones del nivel estático de los pozos ubicados en las tres subcuencas que conforman el área de estudio, se muestra la presencia de una recarga tardía a partir de las primeras lluvias del año y el nivel freático del acuífero Huacas-Tamarindo para los meses que van de mayo a julio, siendo el mes de mayo generalmente el mes que muestra el nivel de agua subterránea a mayor profundidad, y que corresponde con el fin de la estación seca e inicio de la estación lluviosa en esta región. Por otro lado, el mes de octubre es el mes que presenta el nivel del agua subterránea a menor profundidad respecto el nivel del suelo.

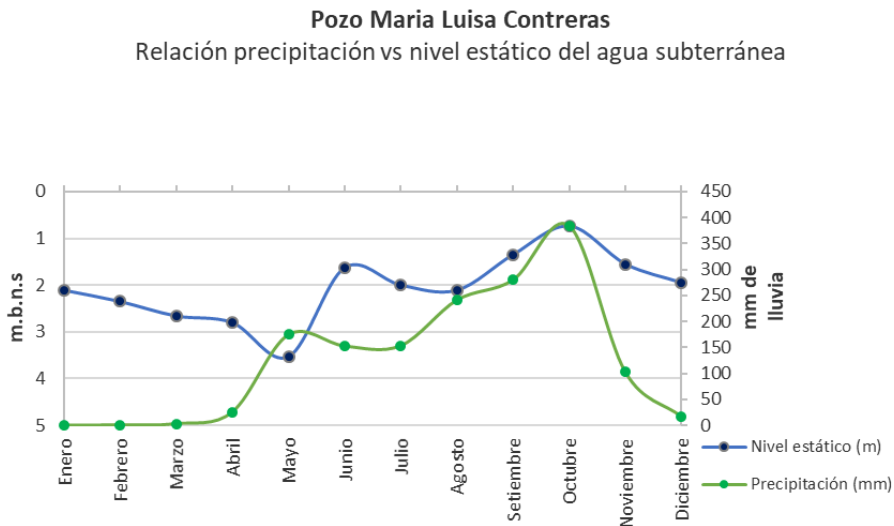
Se muestran a continuación la relación del nivel estático del agua subterránea y la precipitación de lluvia para el acuífero Huacas-Tamarindo, para cada subcuenca a partir de algunos de los pozos de la red de monitoreo del CTI.

### **7.1 Subcuenca Río Lajas (SRL)**

Para esta subcuenca se han analizado los pozos conocidos como José Catalino Jaén (Figura 27) y María Luisa Contreras (Figura 28), (ANEXO 5), los cuales corresponden con pozos excavados y se encuentran captando la unidad litológica de los depósitos aluviales.



**Figura 27.** Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo José Catalino Jaén.



**Figura 28.** Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo María Luisa Contreras.

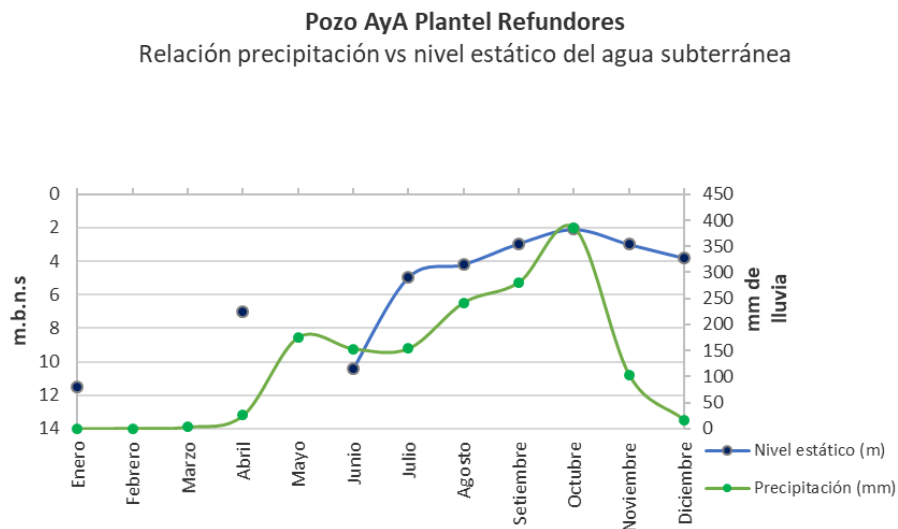
Según se observa en la Figura 27 y la Figura 28 es claro que existe una recarga retardada para las primeras lluvias del año (abril-mayo), por lo que se ve reflejado en el incremento del nivel freático en los pozos de esta subcuenca hasta el mes de junio. Ya que, primero se debe satisfacer la capacidad de campo del suelo y la evapotranspiración de las plantas antes de aportar agua al acuífero.

Posteriormente, a partir del mes de agosto al mes de octubre (mes que registra la mayor cantidad de lluvia del año) se observa una tendencia creciente en el nivel del agua subterránea conforme aumentan las precipitaciones, así como una disminución en el nivel del agua subterránea y la precipitación de lluvia para los meses de noviembre y diciembre.

## 7.2 Subcuenca Río San Andrés (SRSA)

De los datos analizados del monitoreo de pozos de la CTI, los pozos conocidos como: AyA Plantes Refundores (Figura 29) y VI-94 (Figura 30); se ubican dentro de la subcuenca del Río San Andrés (ANEXO 5). El pozo AyA Plante Refundores se encuentran captando la unidad litológica de los depósitos aluviales, mientras que el pozo VI-94, se presenta captando las unidades litológicas de los depósitos aluviales, las radiolaritas y basaltos.

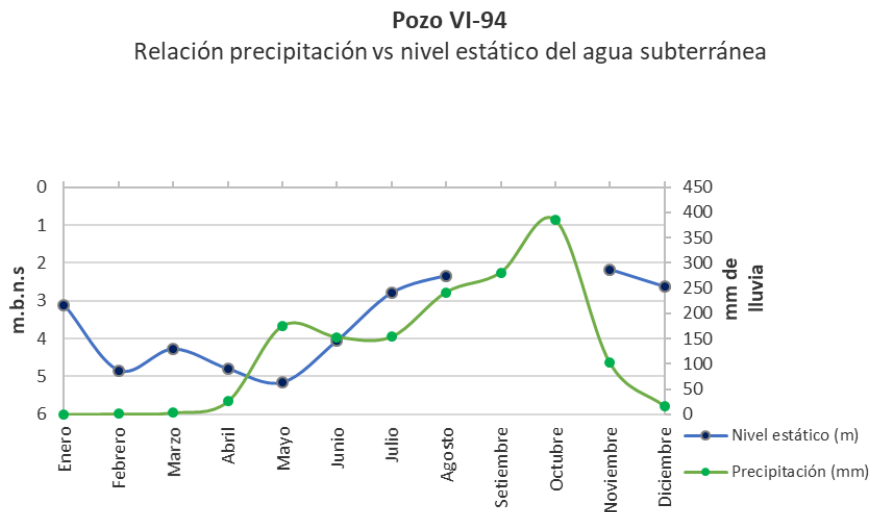
El comportamiento de los niveles del agua subterránea de estos pozos en relación con la precipitación de lluvia promedio se presenta a continuación.



**Figura 29.** Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo del Plante Refundores.

El pozo AyA Plante Refundores refleja una tendencia a incrementar el nivel del agua subterránea al igual que aumenta la precipitación de la lluvia entre los meses de julio a octubre. Por otro lado, se observa un ligero descenso en el nivel del agua subterránea para los meses de noviembre y diciembre al igual que la precipitación de lluvia.

Para el pozo VI-94 el aumento en el nivel del agua subterránea se ve reflejado hasta el mes de junio, ya que primero se debe satisfacer la capacidad de campo del suelo y la evapotranspiración de las plantas antes de aportar agua al acuífero. Y al igual que los pozos de la subcuenca del Río Lajas presentan una tendencia a incrementar el nivel del agua subterránea conforme aumentan las precipitaciones de lluvia entre los meses de agosto a octubre, así como una ligera disminución para los meses de noviembre y diciembre.

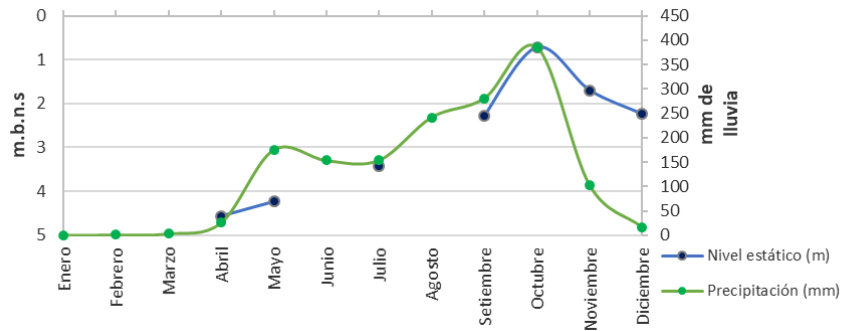


**Figura 30.** Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo VI-94.

### 7.3 Subcuenca Playa Grande (PG)

De los datos analizados del monitoreo de pozos de la CTI, el pozo conocido como ASADA Playa Grande 5 (Figura 31), se ubica dentro de la subcuenca de Playa Grande (ANEXO 5), el cual corresponde con un pozo perforado y se encuentra captando las unidades litológicas de los depósitos aluviales y las radiolaritas.

**Pozo 5 Asada Playa Grande**  
Relación precipitación vs nivel estático del agua subterránea



**Figura 31.** Relación de la lluvia vs nivel estático para el pozo 5 ASADA Playa Grande.

A partir del registro de niveles del pozo 5 de la ASADA de Playa Grande se muestra una tendencia a incrementar el nivel del agua subterránea conforme aumenta la precipitación de lluvia hasta el mes de octubre, siendo este mes el de menor distancia respecto al nivel del suelo. Por otro lado, se relaciona un descenso en el nivel del agua subterránea para los meses de noviembre y diciembre, al igual que con la precipitación de lluvia. Por lo tanto, según se muestra en las figuras que ilustran el contexto hidrogeológico del acuífero Huacas-Tamarindo (Figura 9 a Figura 26), y a partir de lo observado en el comportamiento del nivel del agua subterránea en algunos de los pozos del monitoreo de la CTI, se complementa el modelo hidrogeológico del acuífero en estudio, de modo que se observa que existe una recarga tardía hacia el acuífero Huacas-Tamarindo para las primeras precipitaciones de lluvia del año y que se presenta además, una conexión hidráulica entre las unidades hidrogeológicas de los depósitos coluvio-aluviales y las unidades litológicas de radiolaritas, basaltos e intrusivos, quienes obtienen la recarga por percolación en los sectores donde subyacen a la unidad de depósitos aluviales, así como una recarga directa a través de las zonas fracturadas, en los sectores donde afloran las unidades del Complejo de Nicoya.

De este modo, para el análisis de la red de flujo del acuífero en estudio, se emplean los datos el nivel estático del agua subterránea determinados en los pozos perforados y excavados para la estación lluviosa durante el año 2017, de la red de monitoreo de pozos de la CTI (ANEXO 5), además de otros pozos que fueron localizados en el campo y que

no cuentan con equipo de bombeo, se procede a la elaboración del mapa de líneas isofreáticas del acuífero Huacas-Tamarindo (Figura 32), a partir del cual se observa que las elevaciones para el nivel freático se encuentran entre los 36 y los 2 m.s.n.m. y con un flujo del agua subterránea que se moviliza hacia el sector oeste y noreste para la subcuenca del Río San Andrés, en dirección suroeste para la subcuenca del Río Lajas, y en sentido sur y suroeste para la subcuenca de Playa Grande. En cuanto a la zona de descarga para las tres subcuencas que conforman la cuenca Huacas-Tamarindo, el flujo de agua subterránea es descargado de manera natural hacia el estero de Tamarindo.

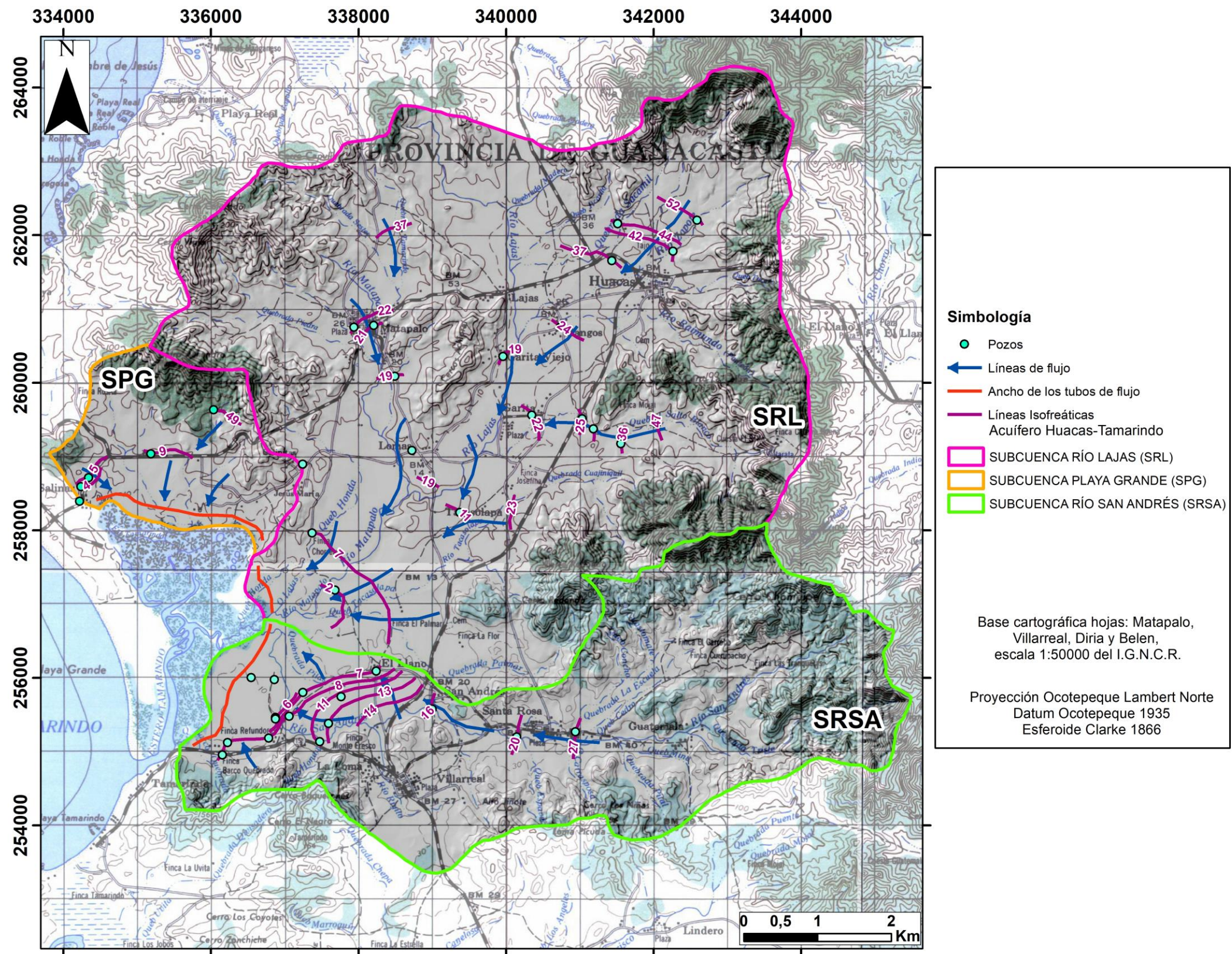


Figura 32. Mapa de líneas isofreáticas del acuífero Huacas-Tamarindo.

## 8 Aforos Diferenciales

Con la finalidad de determinar si existe o no relación entre el agua subterránea del acuífero Huacas-Tamarindo y los ríos o quebradas dentro de la zona de estudio, se llevaron a cabo 95 aforos diferenciales en los principales ríos y quebradas durante la estación de estiaje (ANEXO 6), entre el 13 al 23 de marzo del 2017.

De esta manera se elaboró un mapa para caracterizar los tramos de los ríos o quebradas (Figura 33) en donde se presentan comportamientos de tramos influentes o efluentes, así como zonas donde se observa agua estancada y tramos donde el cauce se encuentra seco. A partir de la realización de estos aforos diferenciales se observa que, para la mayoría de los sitios aforados, se reportan como sitios secos, seguidos de tramos reportados con agua estancada.

### 8.1 Subcuenca Río Lajas (SRL)

Los principales ríos que se encuentran en esta subcuenca son los ríos Zapote, río Lajas y río Matapalo (Figura 33).

Para el río Zapote se determinó un tramo donde se presenta un comportamiento efluente, ubicado entre los sitios de aforo 87-89 hacia la zona media alta de la subcuenca, sin embargo, en casi la longitud de este río se predominan tramos secos (Figura 33).

El río Lajas muestra dos sectores donde se presentó agua estancada, para el sitio de aforo 77 y entre los sitios de aforo 78-81; la mayoría de la longitud del cauce se observó seco (Figura 33).

En cuanto al río Matapalo, al igual que para el río Lajas se presentaron dos sectores con agua estancada en el cauce, los cuales fueron los tramos entre los sitios de aforo 71-73 y 74-76. Para los demás sitios de aforo, desde el primer sitio de aforo (sitio 19) en la zona media alta de la subcuenca hasta el sitio de cierre de la subcuenca (sitio 6) se observó el cauce seco (Figura 33).

## **8.2 Subcuenca Río San Andrés (SRSA)**

El principal río que se encuentran en esta subcuenca es el río San Andrés (Figura 33), el cual hacia la zona media alta presenta un comportamiento influente entre los sitios 95-91 a partir del caudal estimado, sin embargo aguas abajo del sitio 91 se presenta agua estancada en el cauce hasta el sitio de muestreo 82 y posterior a este tramo, el comportamiento varía a un estado de ausencia de agua en la totalidad del cauce hasta el sitio 48 (punto de cierre de la subcuenca).

## **8.3 Subcuenca Playa Grande (SPG)**

Las principales quebradas que se encuentran en esta subcuenca son tres quebradas sin nombre que fluyen conducen sus aguas hacia el estero de Tamarindo (Figura 33) y las cuales se encontraron secas durante los días visitados para realizar los aforos diferenciales y corresponden con los aforos 34-38.

Por lo tanto, debido al comportamiento predominante de tramos secos a lo largo de los cauces principales tanto en las zonas medias altas, así como bajas de las subcuencas, y a los tramos donde se presenta agua estancada en las zonas medias de manera localizada en los principales ríos de las subcuencas, es que se considera que los sitios aforados predominantemente en las zonas media y baja de la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, el nivel del agua subterránea se localiza por debajo del lecho de los ríos y quebradas, y que por tanto no se desarrolla un flujo base en dichos cauces a partir de los datos de campo, de modo que no es considerado el flujo base para el cálculo de la disponibilidad hídrica del acuífero.

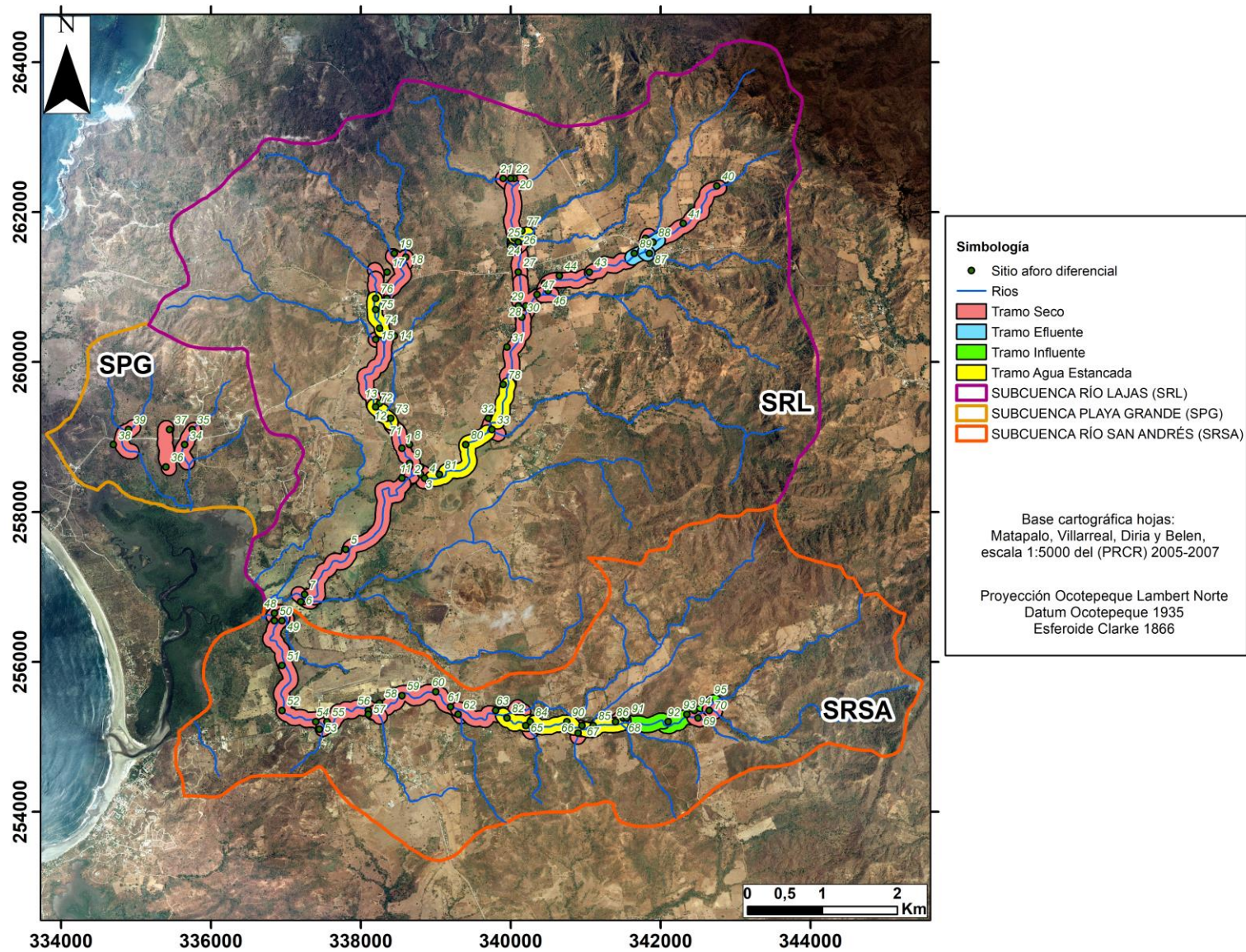


Figura 33. Mapa de ubicación de los aforos diferenciales.

## 9 Balance Hídrico de Suelos

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado, este potencial se estima mediante la recarga al acuífero (Schosinsky, 2006).

El balance hídrico de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia, en el cual el agua que entra en el suelo es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. En donde, las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos (Schosinsky, 2006).

Para llevar a cabo el balance hídrico de suelos para el cálculo de la recarga potencial al acuífero Huacas-Tamarindo, se sigue la metodología de Schosinsky, (2006), utilizando el *software* ArcGis 10.3 empleando la herramienta Álgebra de Mapas y el módulo *Raster Calculator*. A partir de la cual, se elaboran mapas tipo *Raster* con un tamaño de píxel de 5 m x 5 m.

Seguidamente se presentan los datos empleados para el cálculo del balance hídrico de suelos, así como los mapas *raster* generados para cada una de las variables a determinar, siguiendo la metodología de (Schosinsky, 2006).

### 9.1 Parámetros Climatológicos

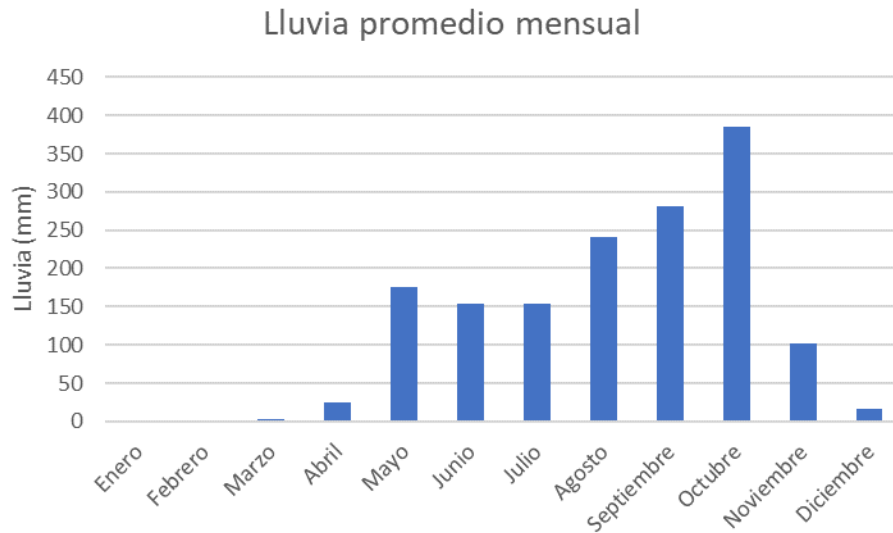
A continuación, se describen los parámetros climatológicos empleados, se trata de la precipitación y la temperatura, así el calculado como lo es la evapotranspiración. Para llevar a cabo el balance hídrico de suelos.

#### 9.1.1 Precipitación (P)

Los datos de precipitación utilizados en esta investigación son tomados de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) No. 72149 ubicada en San José de Pinilla, Santa Cruz de Guanacaste en las coordenadas 249515 N / 334979 E (ANEXO 7). Esta estación fue seleccionada debido a las condiciones de ubicación (cercanía a la costa y elevación) en relación con la zona de estudio (15 m.s.n.m. y localizada a 5 km al sur) y que cuenta con un registro de datos amplios (periodo 2004-2017)., los cuales contienen el periodo de sequía de los años 2014, 2015 y 2016. De este modo, se utilizan registros a partir del mes de abril del 2004 hasta el mes de abril del 2017 (Figura 34). A partir de los cuales se registra un promedio anual de lluvia de 1.538 mm y en donde se

observa que la época de menor precipitación de lluvia es entre los meses de diciembre a abril y el período de mayor precipitación de lluvia es entre los meses de mayo a noviembre, con un ligero descenso en los meses de junio y julio, y luego se observa un aumento constante entre agosto y octubre.

En la Figura 35 se ilustra el mapa de la precipitación de lluvia correspondiente para el mes de noviembre.



**Figura 34.** Lluvia promedio mensual de la estación meteorológica No. 72149 del IMN.

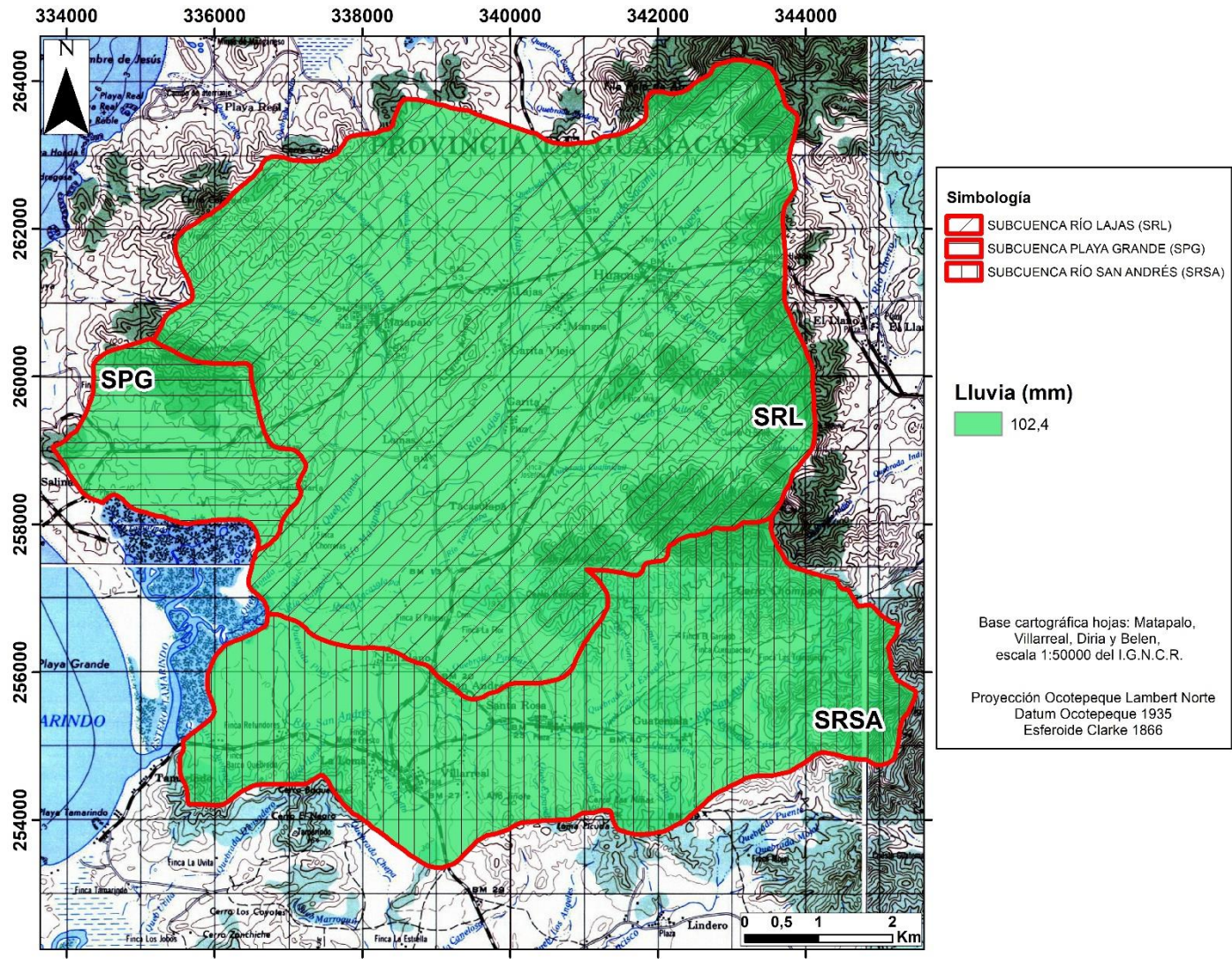
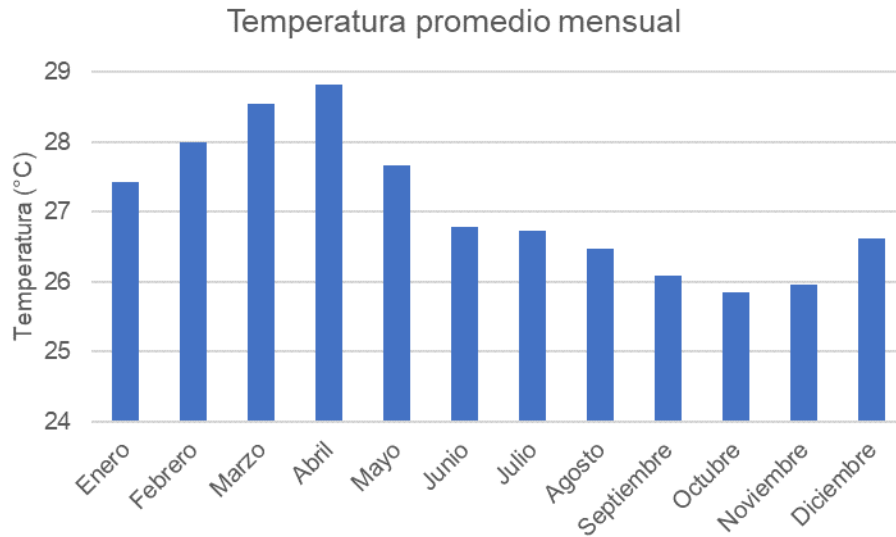


Figura 35. Mapa de la precipitación de lluvia para el mes de noviembre.

### 9.1.2 Temperatura (T)

Al igual que los datos de la precipitación de lluvia, los datos de la temperatura empleados para la investigación fueron tomados de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) No. 72149 ubicada en San José de Pinilla, Santa Cruz de Guanacaste (ANEXO 7).

De esta estación meteorológica, se utilizaron datos registrados del mes de abril del 2004 hasta el mes de abril del 2017 (Figura 36). A partir de los cuales se registra una temperatura promedio anual máxima para el mes de abril de 28,82 °C y una temperatura promedio anual mínima para el mes de octubre de 25,84 °C.



**Figura 36.**Temperatura promedio mensual de la estación meteorológica No. 72149 del IMN.

Posteriormente, los datos de temperatura máxima y mínima de dicha estación meteorológica fueron utilizados para determinar la evapotranspiración potencial para mes.

### 9.1.3 Evapotranspiración potencial (ETP)

Para determinar el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) se llevó a cabo a partir de la metodología de Hargreaves & Samani (1985), la cual es la recomendada por el SENARA (2017). El cálculo de la evapotranspiración se muestra en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Cálculo de la ETP.

<b>Cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) según Hargreaves &amp; Samani (1985)</b>												
Estación: San José de Pinilla, Santa Cruz de Guanacaste (IMN)												
<b><math>ETP = (K * RA * \sqrt{\Delta T}) * (0.0075) * (32+1.8 * ^\circ C) * n</math></b>												
<b>Mes</b>	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>K</b>	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
<b>RA (mm/día)</b>	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
<b><math>\sqrt{\Delta T}</math></b>	3,10	3,14	3,13	3,09	2,92	2,78	2,89	2,84	2,76	2,63	2,86	3,05
<b>Constante</b>	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
<b><math>(^\circ C)*1,8)+32</math></b>	81,39	82,40	83,40	83,87	81,79	80,20	80,13	79,65	78,96	78,51	78,72	79,92
<b>n</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>ETP (mm/mes)</b>	<b>146,97</b>	<b>146,42</b>	<b>176,54</b>	<b>174,03</b>	<b>163,60</b>	<b>146,00</b>	<b>156,72</b>	<b>155,06</b>	<b>142,77</b>	<b>134,02</b>	<b>131,06</b>	<b>139,04</b>

Una vez calculada la ETP para cada mes, se procede a realizar mediante el *software* ArcGis 10.3 un mapa *raster* para cada mes determinado, como se ilustra en la (Figura 37) para el mes de noviembre en milímetros por mes.

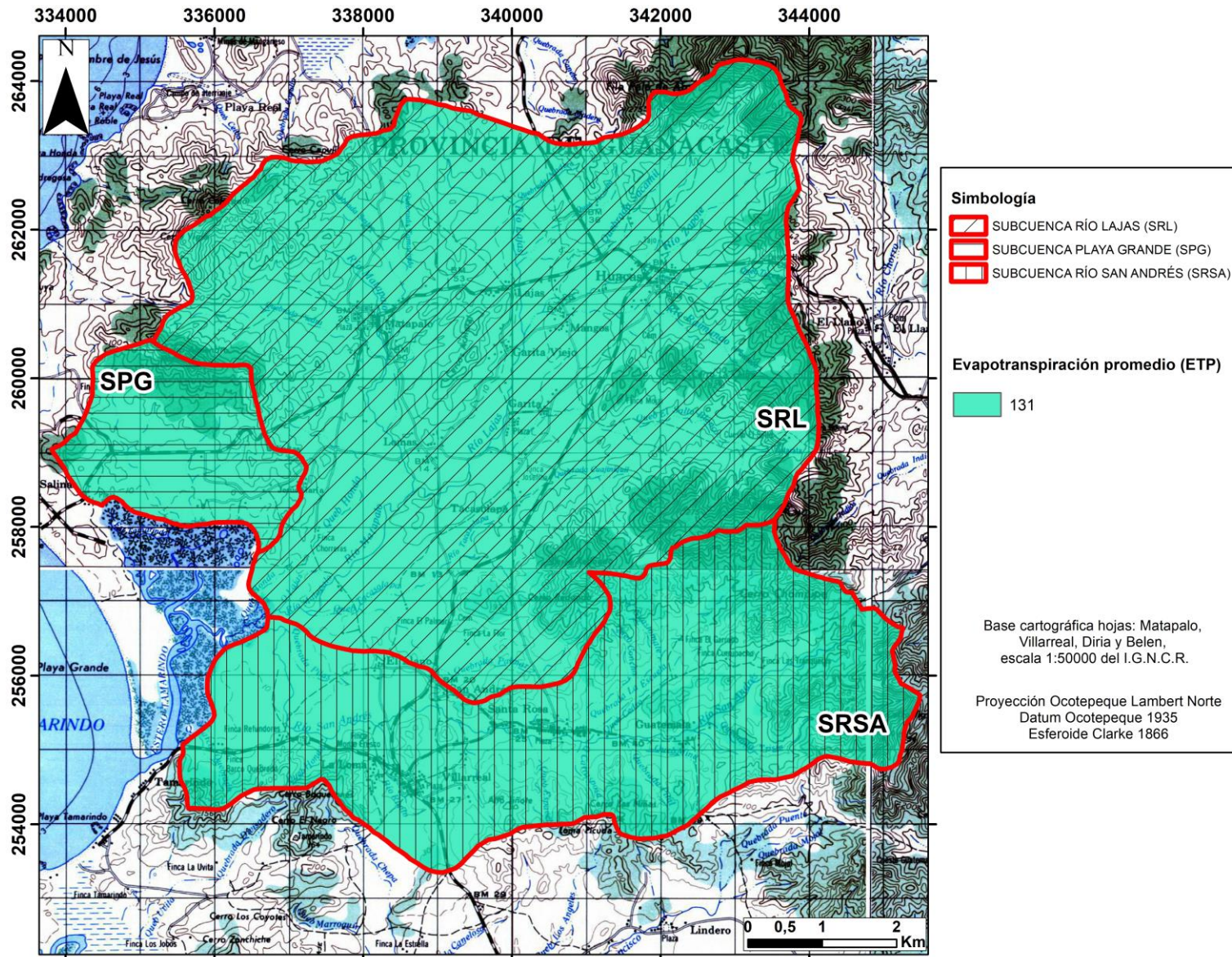


Figura 37. Mapa de la evapotranspiración potencial del mes de noviembre.

## 9.2 Coeficiente de Infiltración (Ci)

El coeficiente de infiltración es determinando a partir de la suma de los coeficientes de: infiltración del suelo (**K<sub>fc</sub>**), pendiente del terreno (**K<sub>p</sub>**) y cobertura vegetal (**K<sub>v</sub>**).

A continuación, se describen cada uno de los coeficientes que integran el coeficiente de infiltración.

### 9.2.1 Infiltración del Suelo (K<sub>fc</sub>)

Dentro de la zona de estudio se realizaron un total de 34 pruebas de infiltración mediante la metodología del doble anillo, las cuales se distribuyeron estratégicamente a partir de las unidades litológicas por toda la zona (ANEXO 8).

A partir del cartografiado geológico elaborado (Figura 7) se clasificaron y se promediaron las 34 pruebas de infiltración por unidad geológica. Finalmente, se procedió a determinar el coeficiente de infiltración, según se muestra en el Cuadro 7 y a partir del cual, las conductividades hidráulicas (K) de cada una de las unidades geológicas son consideradas como altas. Se determina que los suelos residuales originados por la unidad geológica que intrusivos, es la que presenta la infiltración básica (fc) más alta de todas las unidades (1.330) debido al grado de fracturamiento y al proceso de meteorización de estas rocas que favorecen suelos de mayor porosidad. Aunado a esto, las unidades relacionadas con el Complejo de Nicoya presentan una infiltración básica mayor a las unidades de los depósitos coluviales, influenciado por la porosidad secundaria generada a causa del fracturamiento de estas unidades. Contrariamente, los suelos residuales generados a partir de la unidad de depósitos aluviales es la que presenta la infiltración básica (fc) más baja de las unidades geológicas (646) Figura 38, ya que según la clasificación de estos suelos constituyen mayormente suelos de textura arcillo limosas.

**Cuadro 7.** Coeficiente de infiltración del suelo por unidad geológica.

Unidad geológica	K (m/d)	fc mm/día	ln(fc)	K <sub>fc</sub>
Depósito Aluvial	0,646	646,200	6,471	0,905
Depósito Coluvial	0,765	764,640	6,639	0,932
Radiolarita	0,908	907,817	6,811	0,956
Basalto	0,954	953,897	6,861	0,962
Intrusivo	1,330	1329,600	7,193	0,993

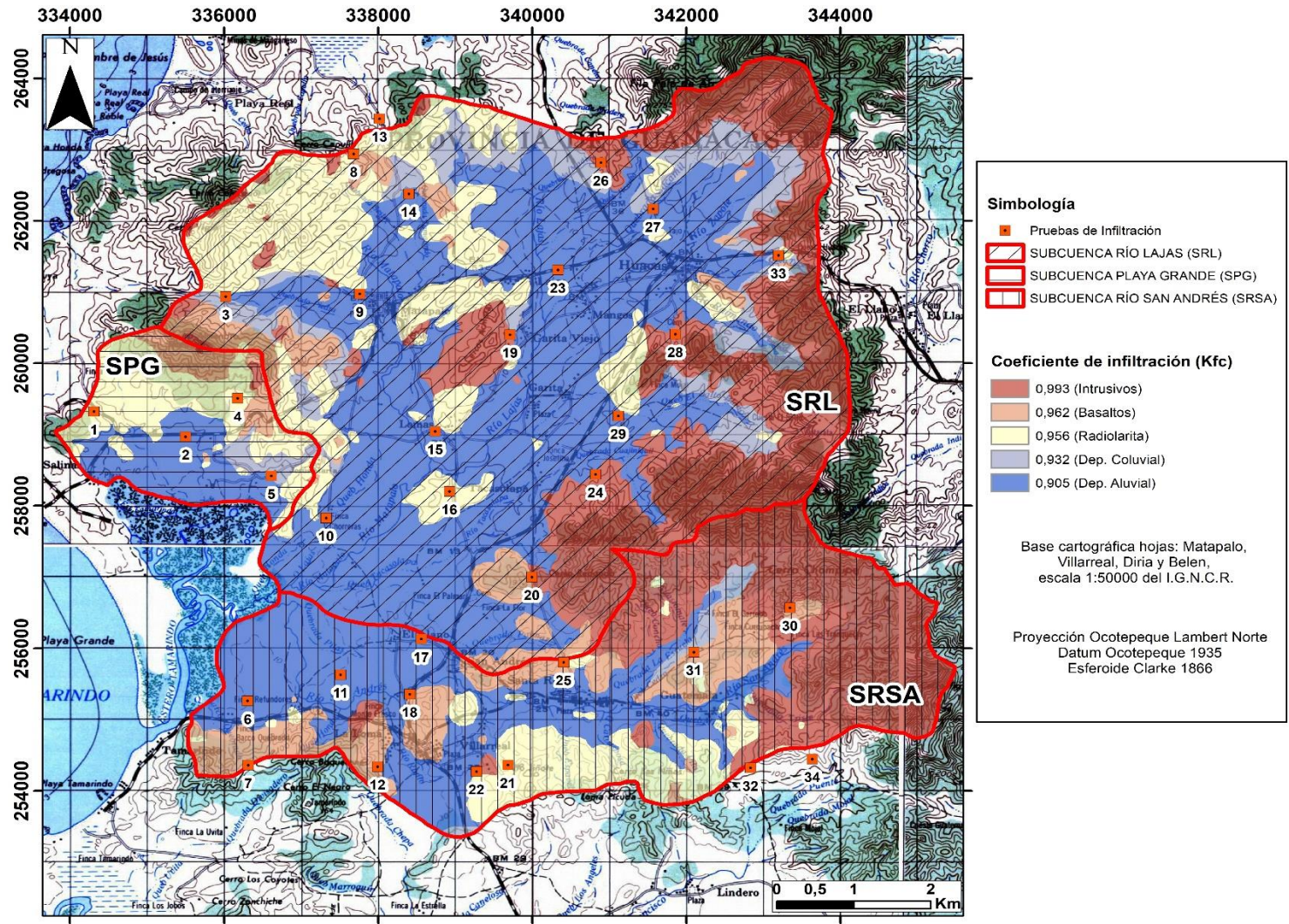


Figura 38. Mapa del coeficiente de infiltración.

### 9.2.2 Pendiente del Terreno ( $K_p$ )

El coeficiente de pendiente del terreno ( $K_p$ ) se determinó a partir del uso del *software* ArcGis 10.3 mediante el cual, se emplearon las capas de curvas de nivel a escala 1:5.000 del PRCR 2005-2007 de las hojas cartográficas Villareal y Matapalo. A partir de las curvas de nivel se elaboró un mapa de elevación del terreno (ANEXO 9) y posteriormente se procede a realizar un mapa *raster* de pendientes, con base en la metodología de Schosinsky (2006) utilizando el rango mayor para la clasificación de las pendientes, de manera que se contemplen todos los valores de pendientes dentro de los rangos establecidos. Se realiza el mapa del coeficiente de pendiente del terreno mediante el programa ArcGis 10.3 (Figura 39).

### 9.2.3 Cobertura Vegetal ( $K_v$ )

El coeficiente de cobertura vegetal ( $K_v$ ) fue determinado a partir de la fotointerpretación de las ortofotos a escala 1:5.000 del PRCR 2005-2007, comprobación de campo en la zona de estudio y mediante la herramienta *Google Earth*.

La cobertura vegetal de la zona de estudio fue clasificada según se indica en el Cuadro 8. Posteriormente, el mapa raster del coeficiente de cobertura vegetal fue re trabajado en el *software* ArcGis 10.3 con la finalidad de asignarle a cada pixel categorizado como “Urbano” en el mapa raster de cobertura vegetal, una nueva asignación de variable que será llamada “Sin cobertura” y a la que le corresponderá un valor de  $K_v$  de 0, debido a que en estas zonas se considera que no ocurre infiltración (Figura 40).

**Cuadro 8.** Tipo de cobertura vegetal.

Tipo de cobertura vegetal	$K_v$
Sin cobertura	0
Terreno cultivado	0,10
Cobertura con pastizal	0,18
Bosques	0,20
Cobertura con zacate > 75%	0,21

Una vez determinados los mapas *raster* de los coeficientes  $K_{fc}$ ,  $K_p$  y  $K_v$  es posible elaborar el mapa del coeficiente de infiltración  $C_i$ , a través del *software* ArcGis 10.3 (Figura 41).

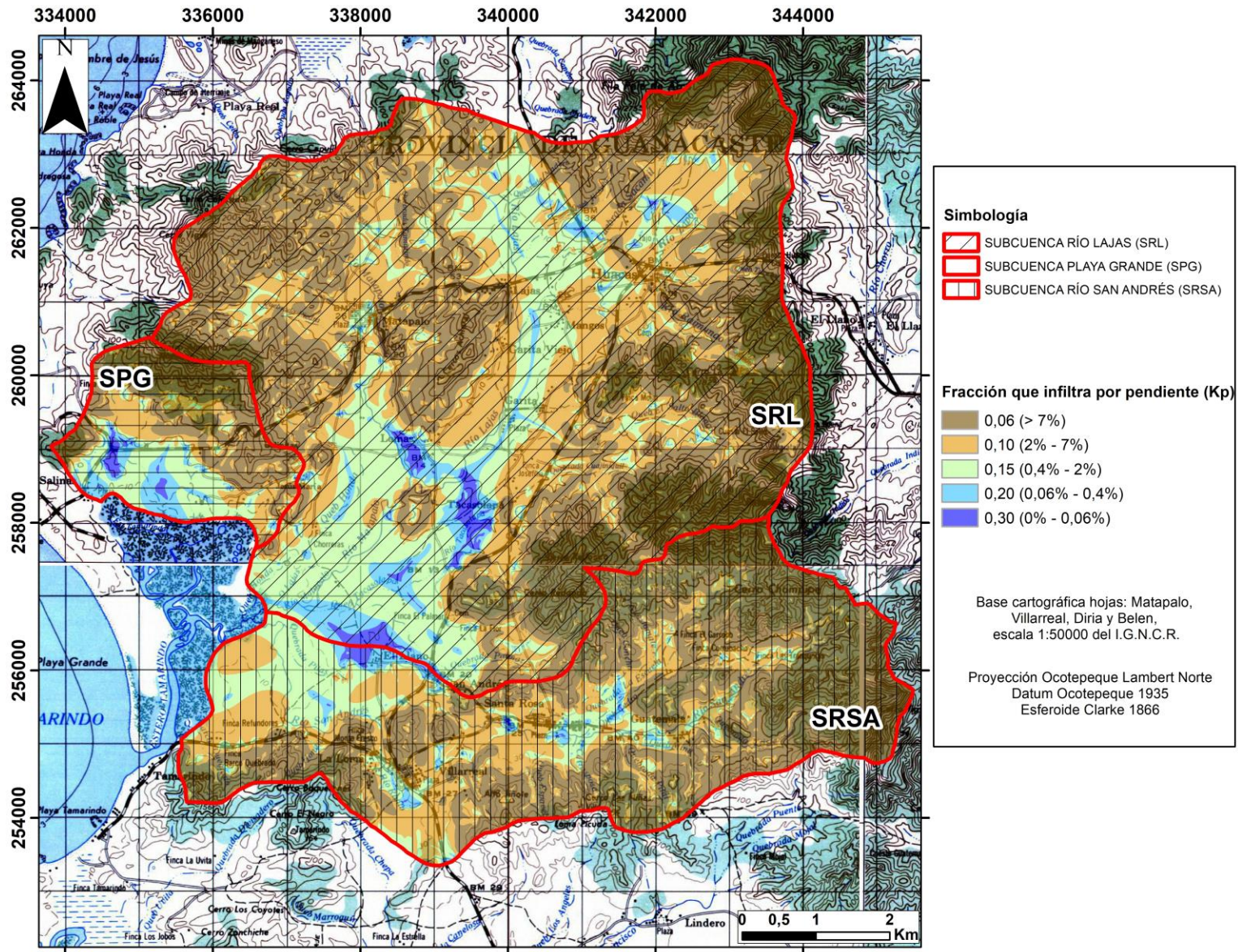


Figura 39. Mapa de la fracción que infiltra por pendiente.

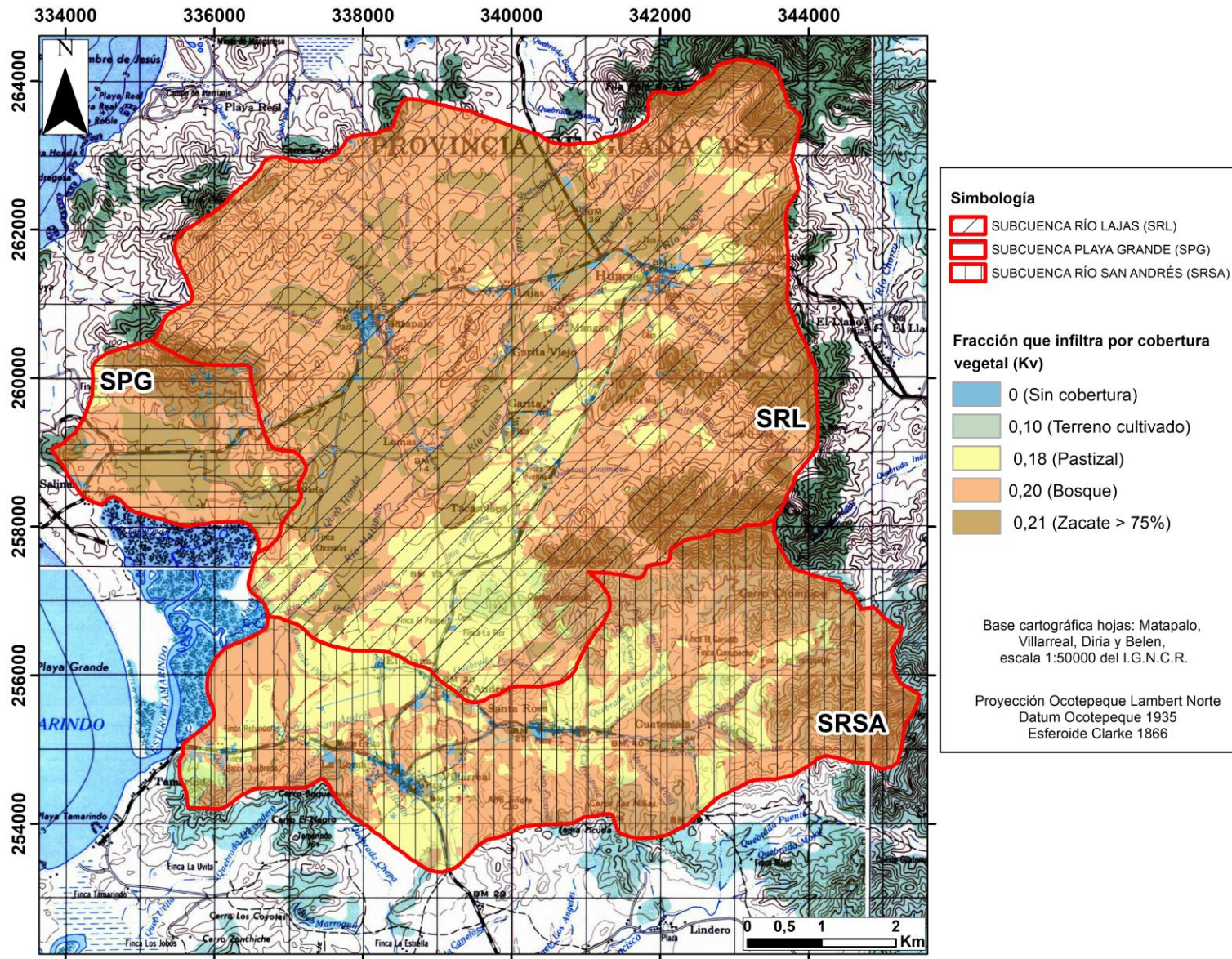


Figura 40. Mapa de la fracción que infiltra por cobertura vegetal.

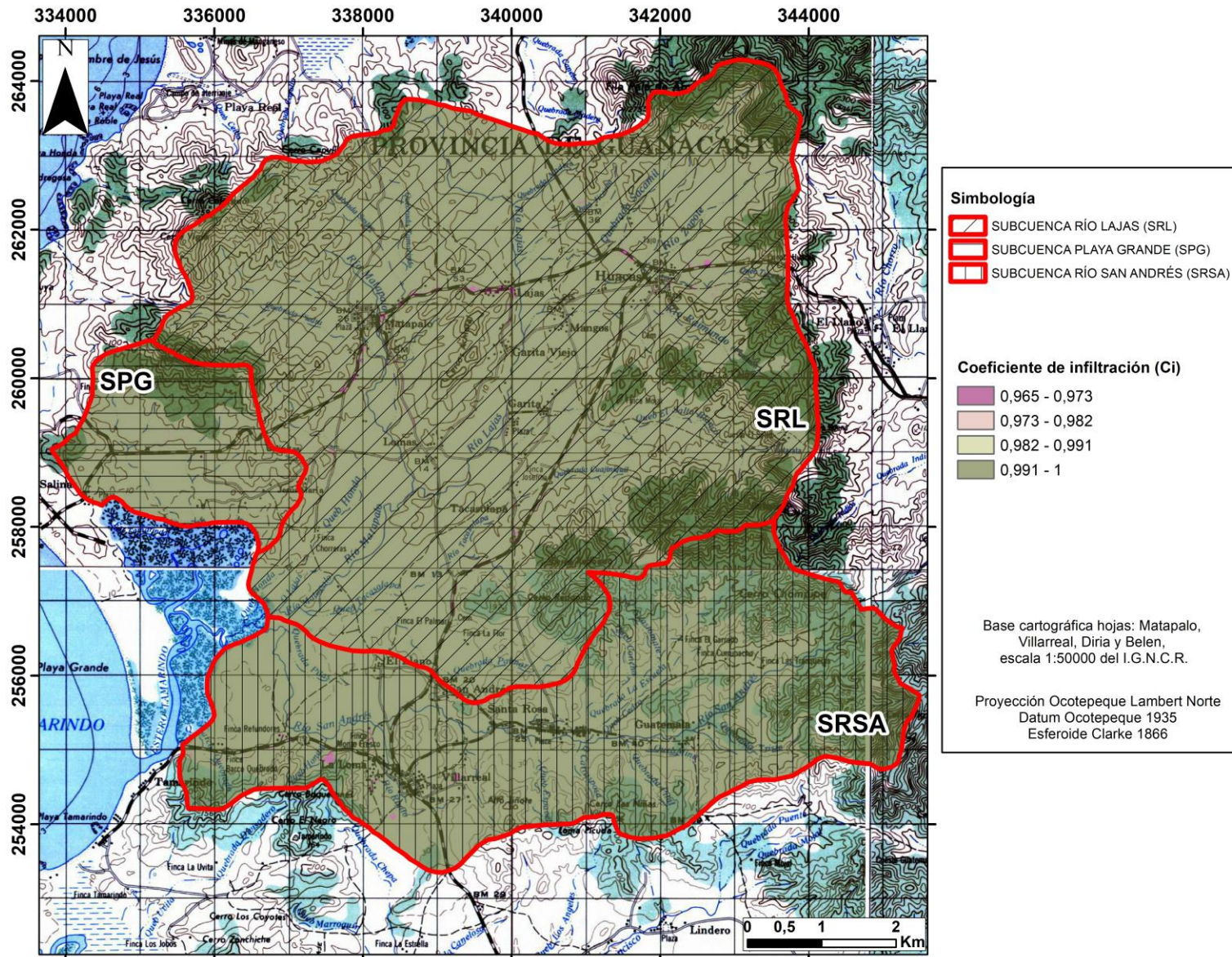


Figura 41. Mapa del coeficiente de infiltración.

### **9.3 Parámetros Físicos del Suelo (CC y PM)**

Dentro de la zona de estudio se recolectaron un total de 34 muestras de suelo, las cuales se distribuyeron estratégicamente y se analizaron en el Laboratorio de Recursos Naturales del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (Cuadro 9) con la finalidad de determinar los parámetros físicos del suelo de: densidad aparente, porosidad, límites de Atterberg, gravedad específica, capacidad de campo (**CC**) y punto de marchitez (**PM**), para la respectiva clasificación de cada uno de los suelos.

Para obtener el valor de CC y PM en milímetros (mm) de agua se multiplicó cada uno estos valores en valor decimal por la densidad aparente respectiva de cada muestra de suelo. Luego, a partir del cartografiado geológico elaborado (Figura 7) se clasificaron y se promediaron las 34 muestras de suelo por unidad geológica.

Finalmente, mediante el *software* ArcGis 10.3 se multiplicaron los mapas *raster* de CC (Figura 42) y PM (Figura 43) respectivamente, contra el mapa de cobertura vegetal, asignando para cada uno de los tipos de cobertura una profundidad en mm para las raíces (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez del muestreo de suelos.

No. de Muestra de Suelo	Norte	Este	Capacidad de Campo CC (%)	Punto de Marchitez PM (%)	Densidad Aparente pa (g/cm3)	Profundidad de raíces (mm)	CC %* vol	PM %*vol	CC (mm)	PM (mm)	Tipo suelo	Clasificación de suelo (SUCS)	Unidad Geológica	Tipo de Cobertura
1	259323	334313	35	33	1,01	2000	35,35	33,33	707,00	666,60	MH	limo elástico arenoso	Radiolarita	bosque
4	259509	336177	30	29	1,17	2000	34,52	33,93	690,30	678,60	ML	limo arenoso	Radiolarita	bosque
8	262940	337682	12	9	1,87	2000	22,44	16,83	448,80	336,60	SW	arena bien gradada	Radiolarita	bosque
13	263432	338020	30	29	1,31	2000	39,30	37,99	786,00	759,80	MH	limo elástico arenoso	Radiolarita	bosque
16	258201	338928	33	29	1,35	2000	44,55	39,15	891,00	783,00	ML	limo arenoso	Radiolarita	bosque
21	254365	339686	22	19	1,45	2000	31,90	27,55	638,00	551,00	SW	arena bien gradada	Radiolarita	bosque
33	261517	343197	22	19	1,20	2000	26,40	22,80	528,00	456,00	ML	limo con arena	Radiolarita	bosque
2	258969	335501	33	31	1,38	300	45,54	42,78	136,62	128,34	MH	limo elástico arenoso	Aluvial	zacate
6	255262	336304	32	29	1,49	2000	47,68	43,21	953,60	864,20	ML	limo arenoso	Aluvial	bosque
9	260977	337764	19	16	1,56	2000	29,64	24,96	592,80	499,20	ML	limo con arena	Aluvial	bosque
10	257829	337326	32	27	1,63	2000	52,16	44,01	1043,20	880,20	CL	arcilla ligera arenosa	Aluvial	bosque
11	255628	337512	40	38	1,21	1000	48,40	45,98	484,00	459,80	ML	limo arenoso	Aluvial	pasto
14	262378	338401	36	35	1,34	300	48,24	46,90	144,72	140,70	ML	limo arenoso	Aluvial	zacate
15	259046	338741	18	17	1,58	300	28,44	26,86	85,32	80,58	MH	limo elástico arenoso	Aluvial	zacate
17	256131	338562	33	30	1,34	1000	44,22	40,20	442,20	402,00	MH	limo elástico arenoso	Aluvial	pasto
22	254273	339278	28	25	1,06	2000	29,68	26,50	593,60	530,00	ML	limo arenoso	Aluvial	bosque
23	261311	340334	18	15	1,27	2000	22,86	19,05	457,20	381,00	SW	arena bien gradada	Aluvial	bosque
27	262168	341569	32	28	1,22	2000	39,04	34,16	780,80	683,20	ML	limo arenoso	Aluvial	bosque
29	259264	341120	30	18	1,82	2000	54,60	32,76	1092,00	655,20	MH	limo elástico arenoso	Aluvial	bosque
3	260936	336022	35	33	1,05	2000	36,75	34,65	735,00	693,00	CL	arcilla ligera arenosa	Coluvio	bosque
5	258421	336612	21	19	1,55	300	32,55	29,45	97,65	88,35	CL	arcilla ligera arenosa	Coluvio	zacate
7	254362	336314	19	13	1,61	2000	30,59	20,93	611,80	418,60	SW	arena bien gradada	Basalto	bosque
12	254340	337993	25	19	1,20	2000	30,00	22,80	600,00	456,00	ML	limo con arena	Basalto	bosque
18	255358	338413	35	33	1,32	1000	46,20	43,56	462,00	435,60	ML	limo arenoso	Basalto	pasto
20	257002	339996	33	31	1,28	1000	42,24	39,68	422,40	396,80	CL	arcilla ligera arenosa	Basalto	pasto
25	255806	340407	33	30	1,18	2000	38,94	35,40	778,80	708,00	ML	limo arenoso	Basalto	bosque
30	256571	343346	39	36	1,36	2000	53,04	48,96	1060,80	979,20	MH	limo elástico arenoso	Basalto	bosque
31	255947	342101	37	33	1,30	1000	48,10	42,90	481,00	429,00	CL	arcilla ligera arenosa	Basalto	pasto
19	260402	339713	24	21	1,27	1000	30,48	26,67	304,80	266,70	ML	limo arenoso	Intrusivo	bosque
24	258444	340822	23	20	1,57	2000	36,11	31,40	722,20	628,00	ML	limo con arena	Intrusivo	bosque
26	262818	340894	21	18	1,54	2000	32,34	27,72	646,80	554,40	ML	limo con arena	Intrusivo	bosque
28	260409	341860	29	28	1,27	2000	36,83	35,56	736,60	711,20	MH	limo elástico arenoso	Intrusivo	bosque
32	254323	342834	40	36	1,26	1000	50,40	45,36	504,00	453,60	CL	arcilla ligera arenosa	Intrusivo	pasto
34	254446	343637	35	30	1,33	2000	46,55	39,90	931,00	798,00	ML	limo arenoso	Intrusivo	bosque

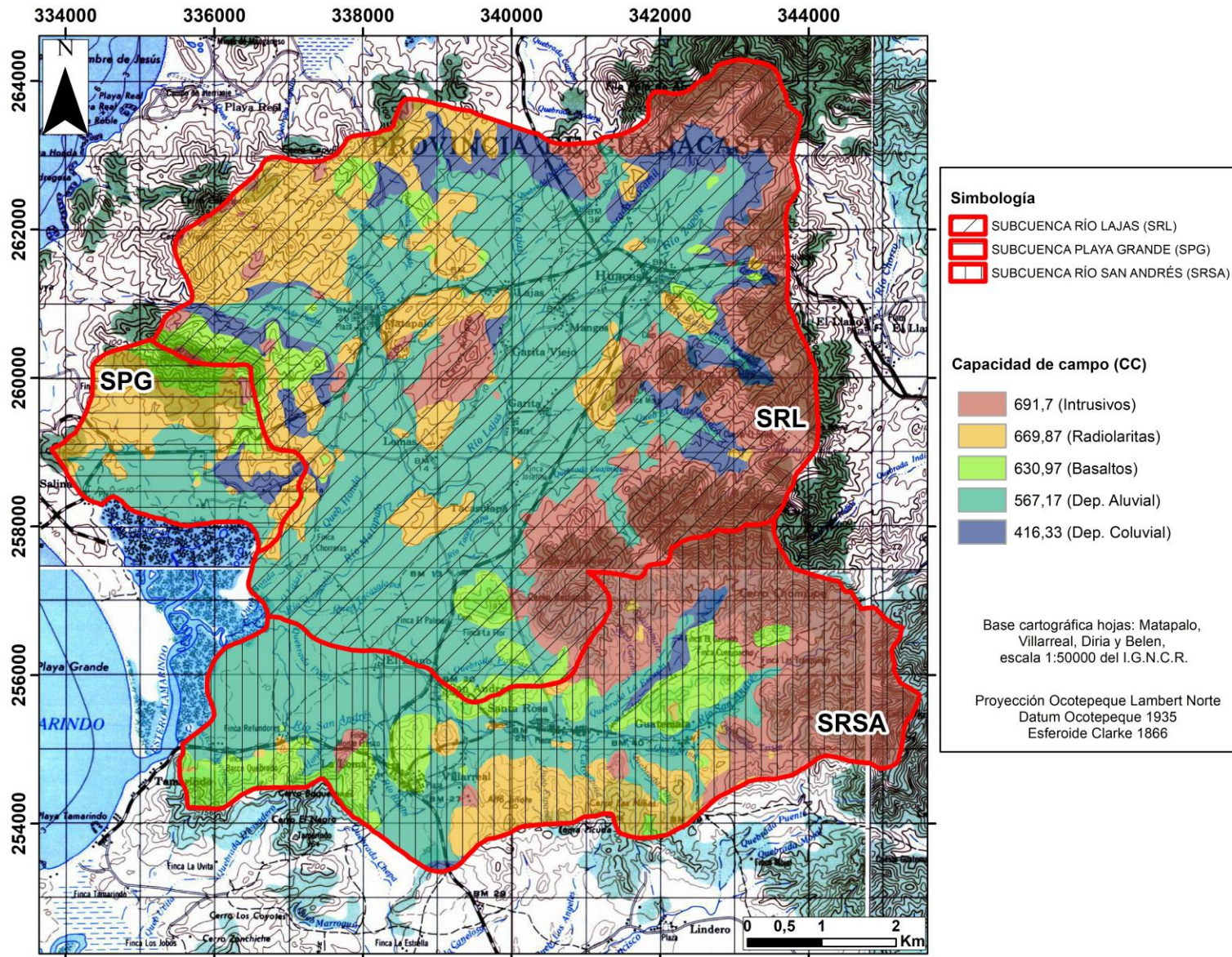


Figura 42. Mapa de la capacidad de campo por unidad geológica en milímetros.

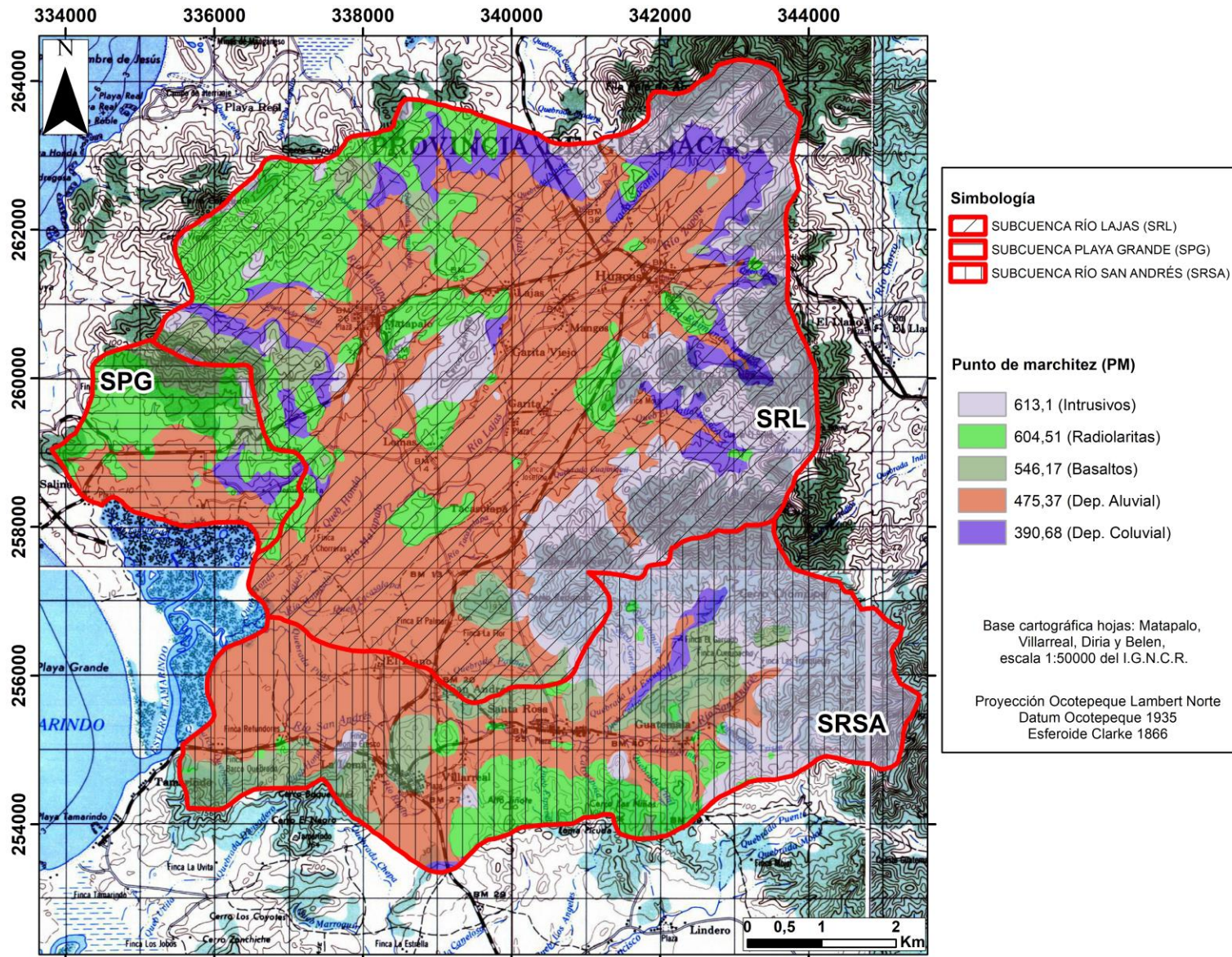


Figura 43. Mapa del punto de marchitez por unidad geológica en milímetros.

#### **9.4 Retención de Lluvia en el Follaje (Ret)**

La retención de lluvia interceptada por el follaje es determinada mediante el uso de los mapas *raster* de precipitación (P) y el coeficiente de retención de follaje (Cfo), el cual fue elaborado a partir del mapa de cobertura de vegetación, donde se le indicó un valor de coeficiente de follaje (Cfo) de 0,20 a las coberturas boscosas y un valor de coeficiente de follaje de 0,12 a las demás coberturas. De este modo, mediante el álgebra de mapas del *software* anteriormente mencionado, se han determinado los mapas de retención (Ret) para cada mes. Seguidamente se ilustra el mapa de la Ret en milímetros, equivalente para el mes de noviembre (Figura 44).

#### **9.5 Precipitación que Infiltra (Pi)**

Para determinar la precipitación que infiltra mensualmente (Pi), se deben considerar los factores de precipitación mensual (P), retención de lluvia mensual por el follaje (Ret) y el coeficiente de infiltración (Ci). De modo que mediante la utilización del Álgebra de mapas del *software* ArcGis 10.3, se procede a determinar los mapas de precipitación que infiltra para cada mes.

Una vez determinada esta variable, se procede a graficar los valores obtenidos de la Pi contra la ETP de cada mes (Figura 45), para determinar los meses consecutivos en los cuales la Pi es mayor a la ETP (agosto, setiembre y octubre) y así seleccionar el mes posterior a que se cumpla esta condición (mes de noviembre).

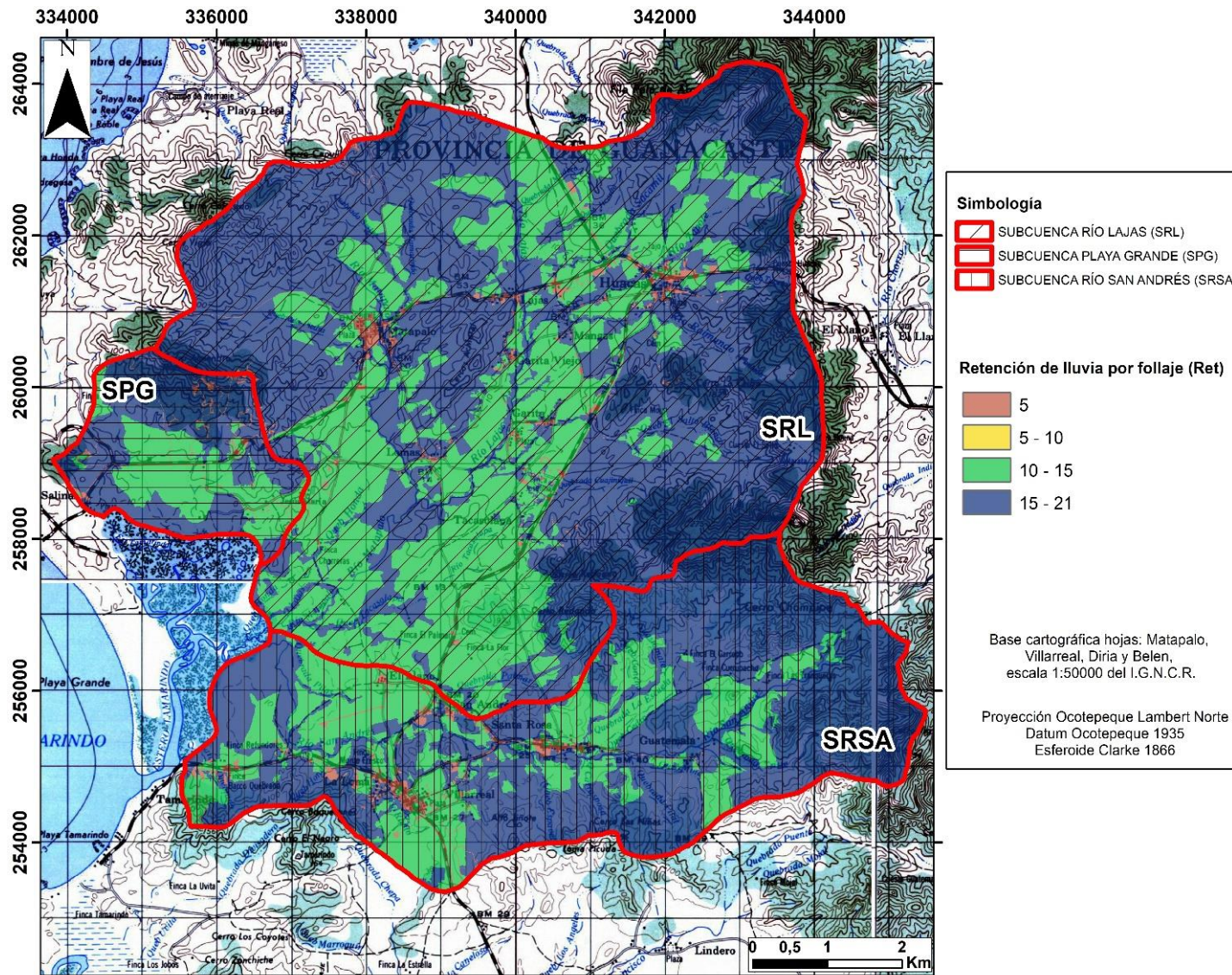
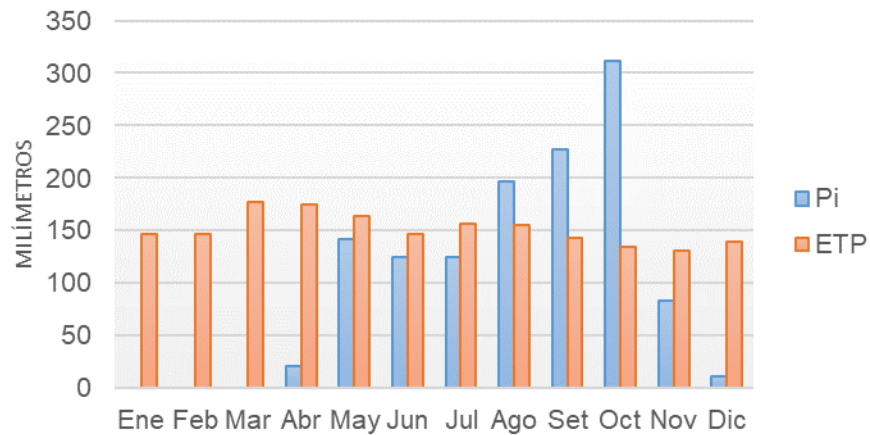


Figura 44. Mapa de la retención de lluvia por el follaje.

Comparación de los valores de la Precipitación que infiltra (Pi) y la Evapotranspiración potencial (ETP)



**Figura 45.** Comparación de la Precipitación que infiltra y la Evapotranspiración potencial.

Cabe mencionar que, para el mes de noviembre, se asumirá que la humedad del suelo al inicio del mes (HSi) es igual a la capacidad de campo (CC).

Por lo tanto, con esta humedad definida es posible ir determinando las humedades iniciales y finales de los suelos para los meses siguientes, hasta cerrar el ciclo en el mes de octubre. La HSf de octubre debe coincidir con la CC para confirmar que el supuesto considerado ha sido correcto (Schosinsky, 2006).

A continuación, se presenta el mapa de precipitación que infiltra (Pi) en milímetros correspondiente para el mes de noviembre (Figura 46).

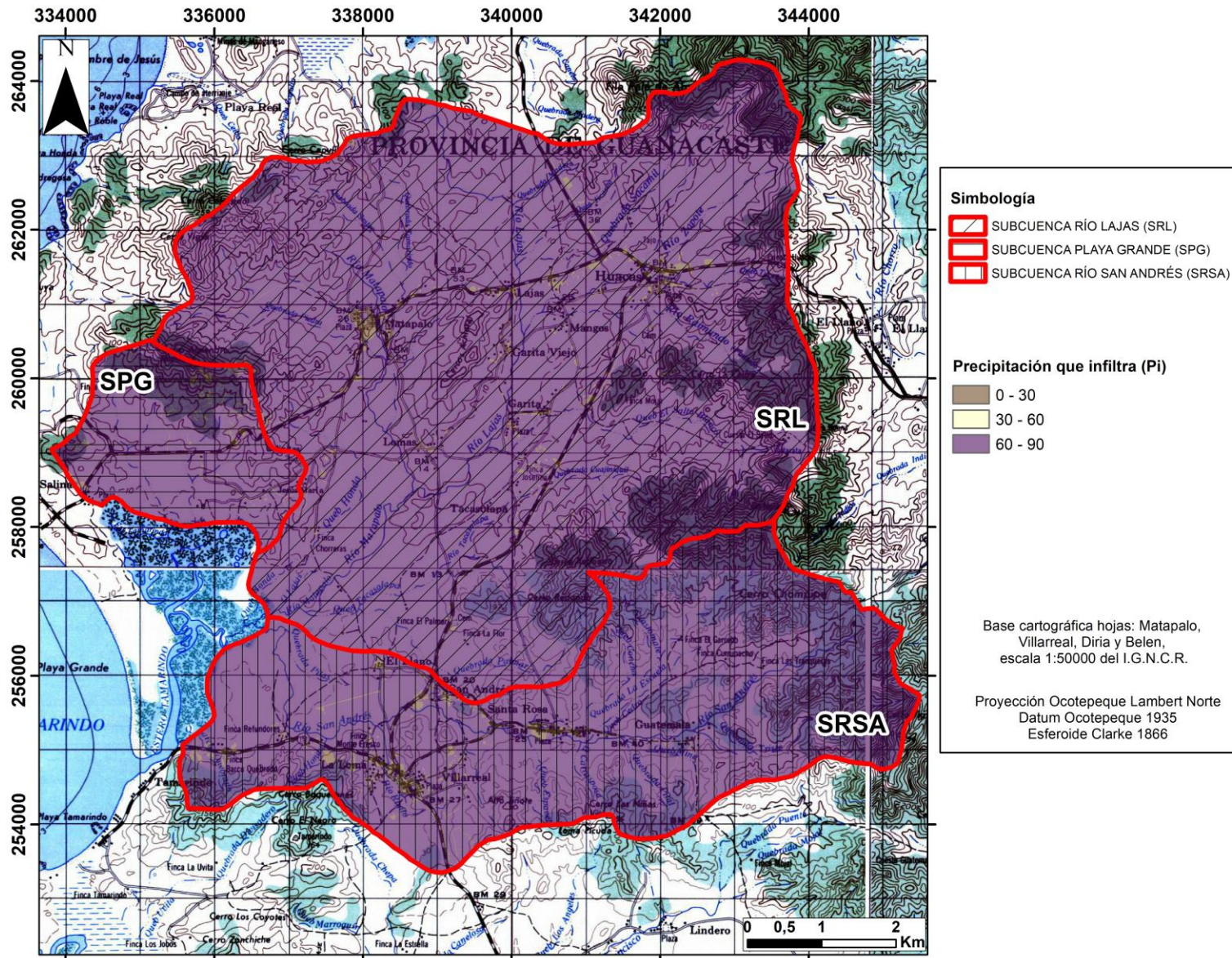


Figura 46. Mapa de la precipitación que infiltra en milímetros.

## **9.6 Escorrentía Superficial (ESC)**

La escorrentía superficial generada por las precipitaciones de lluvia mensual corresponde con la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje, menos la infiltración. De este modo, la escorrentía superficial en milímetros, que corresponde al mes de noviembre se presenta en la Figura 47.

## **9.7 Coeficiente de Humedad al Final del mes antes de la ETP (C1)**

Este coeficiente corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración.

Se determinada a partir de los mapas *raster* de la humedad del suelo al inicio del mes (**HSi**), la capacidad de campo (**CC**), punto de marchitez (**PM**) y la precipitación que infiltra (**Pi**). Considerando que al inicio de un mes cualquiera el suelo tendrá una humedad inicial (**HSi**), para la cual, si no existiera ETP, la **Pi** vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor ETP. Por lo que, si no consideramos la ETP, el coeficiente de humedad al final del mes sería el C1.

Como se mencionó anteriormente, para estimar este coeficiente, se considera el supuesto de que la humedad del suelo al inicio del mes (**HSi**) es igual a la capacidad de campo (**CC**); para el mes siguiente a tres meses consecutivos donde la precipitación ha sido mayor a la evapotranspiración potencial, de modo que para el caso en estudio el mes a considerar es el mes de noviembre. Una vez establecido este supuesto, se procede a calcular el coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la ETP, como se muestra en la Figura 48.

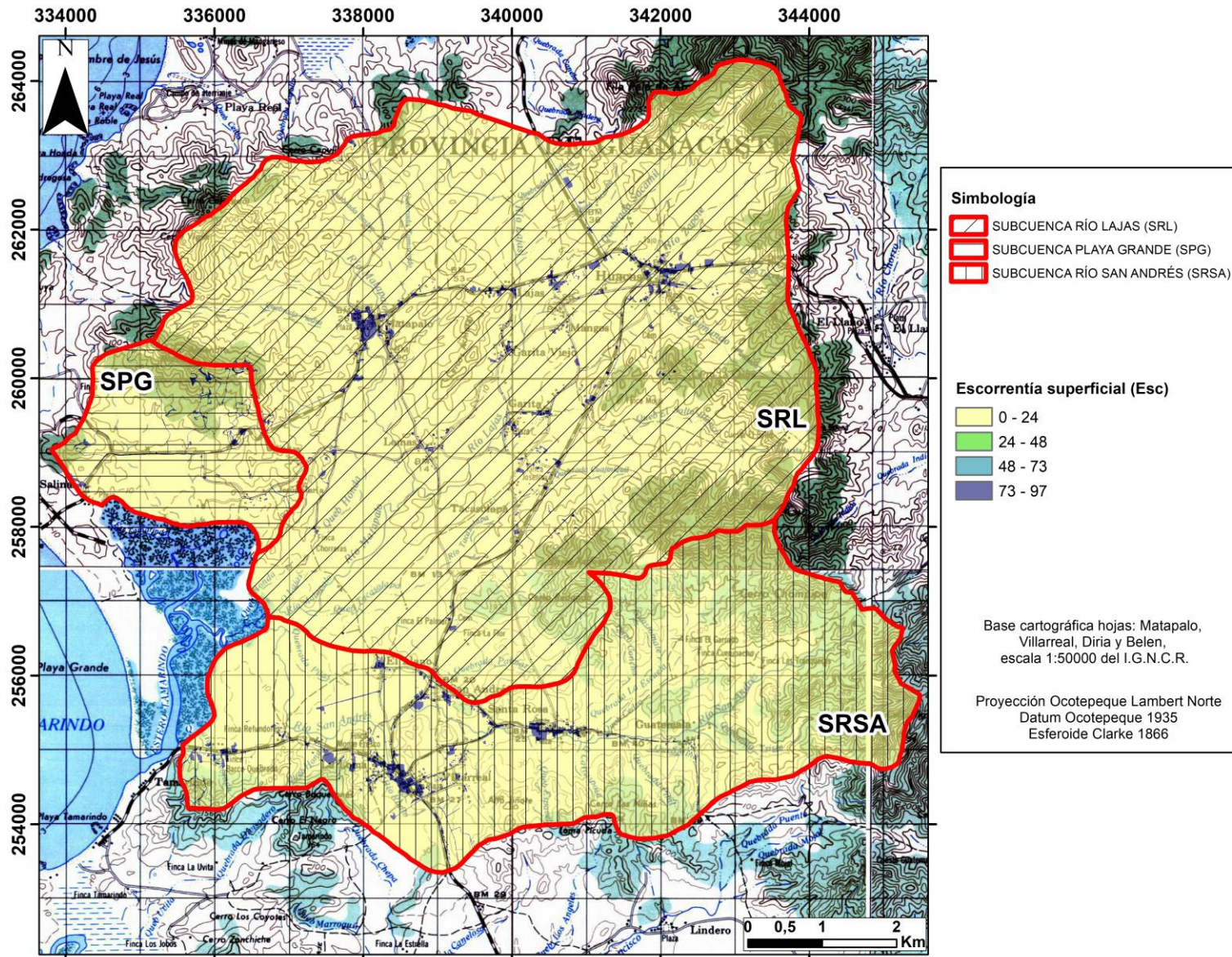


Figura 47. Mapa de escorrentía superficial para el mes de noviembre en milímetros.

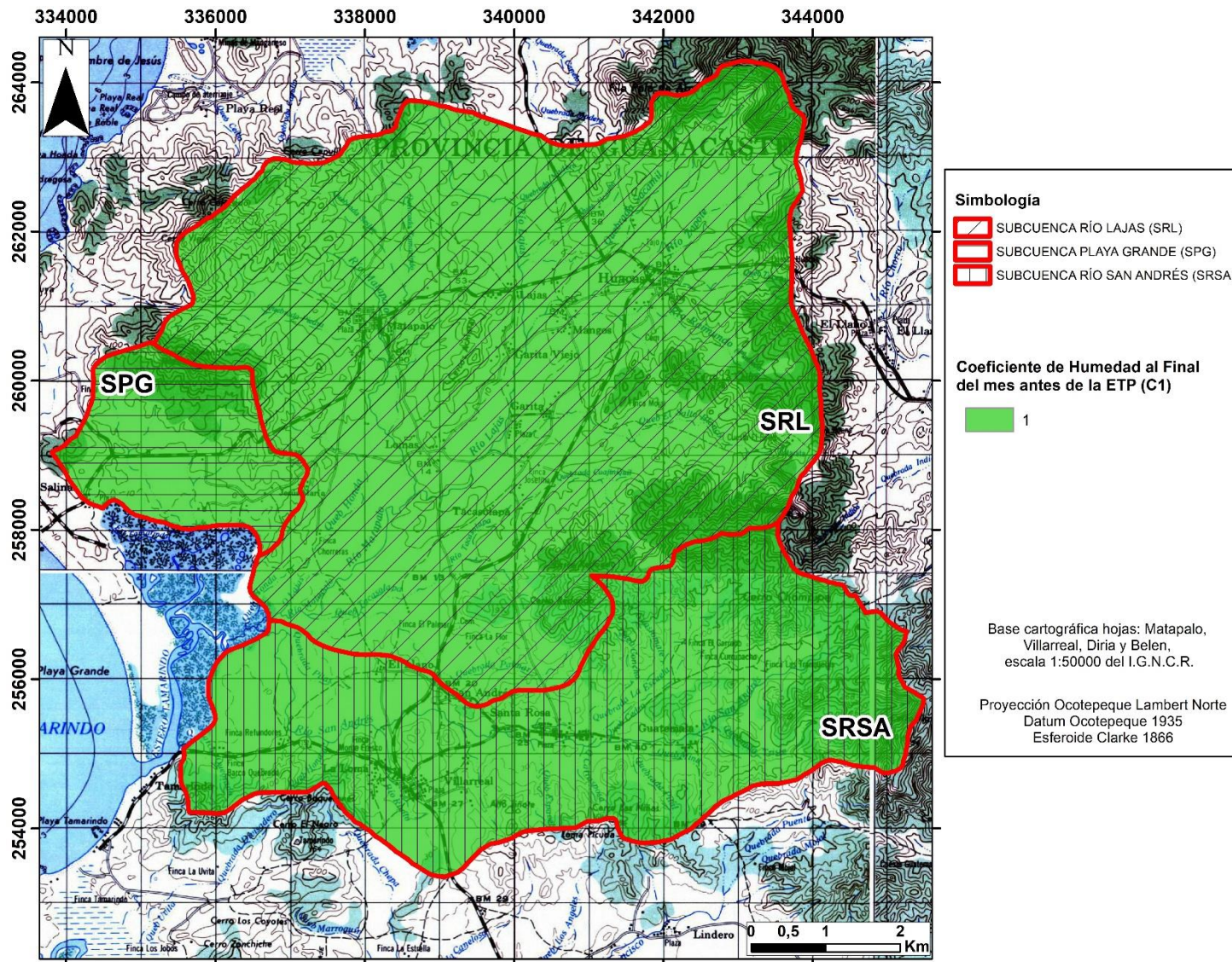


Figura 48. Mapa del coeficiente de humedad al final del mes antes de la ETP (C1).

### **9.8 Coeficiente de Humedad al Final del mes después de la ETP (C2)**

Contrario al supuesto considerado para el C1, si se toma en cuenta la ETP, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad al final del mes sería C2. Este coeficiente corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo.

Para determinar este coeficiente se debe antes calcular la evapotranspiración potencial real (ETR1), la cual se estima multiplicando el C1 y la ETP (Figura 49).

Una vez calculada la ETR1, se procede a determinar el C2 a partir de los mapas *raster* de HSi (considerando que esta variable es igual a la CC para el mes de noviembre, según se explicó anteriormente para el coeficiente C1), el PM, la Pi y el ETR1 (Figura 50).

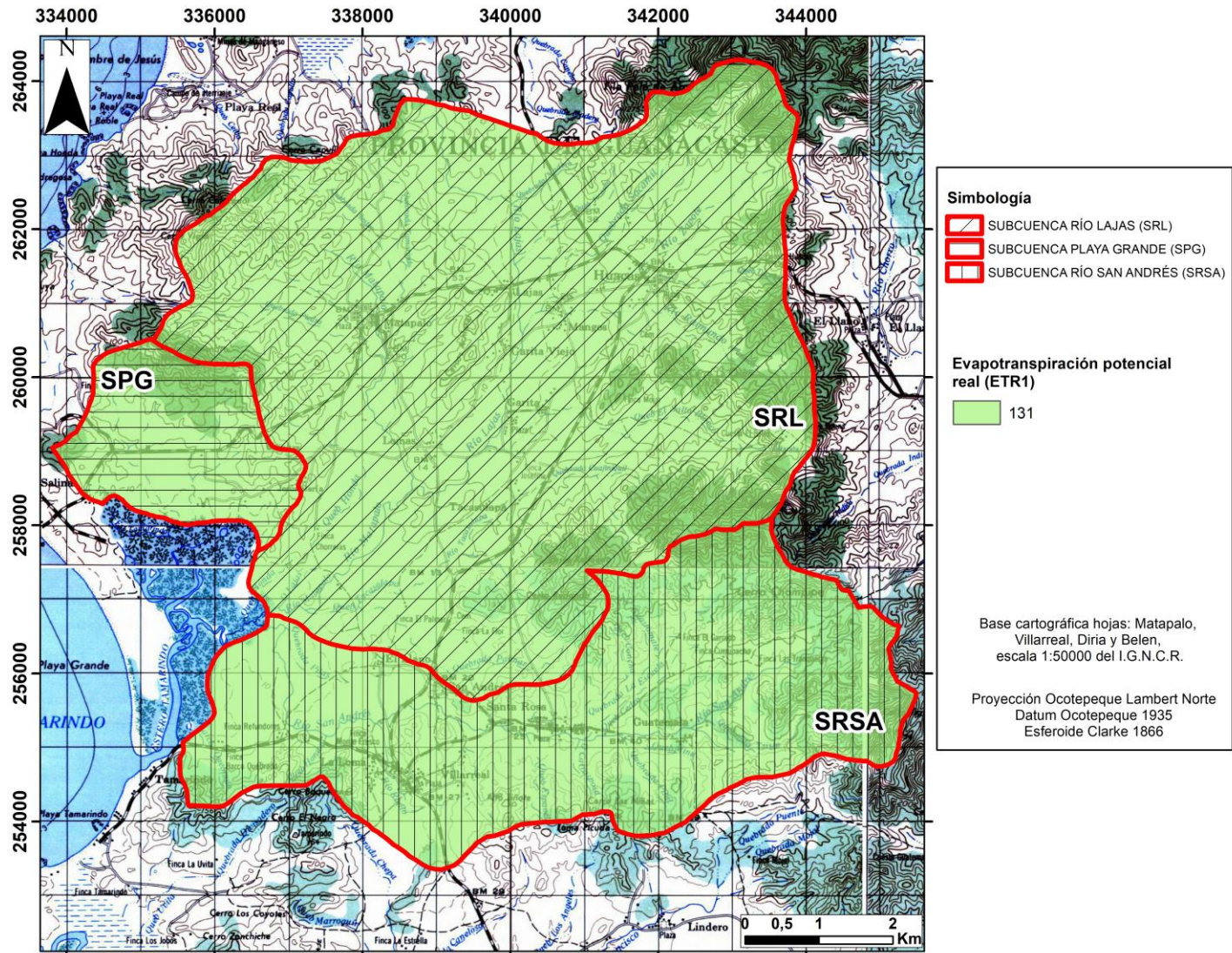


Figura 49. Mapa de la evapotranspiración potencial real para noviembre.

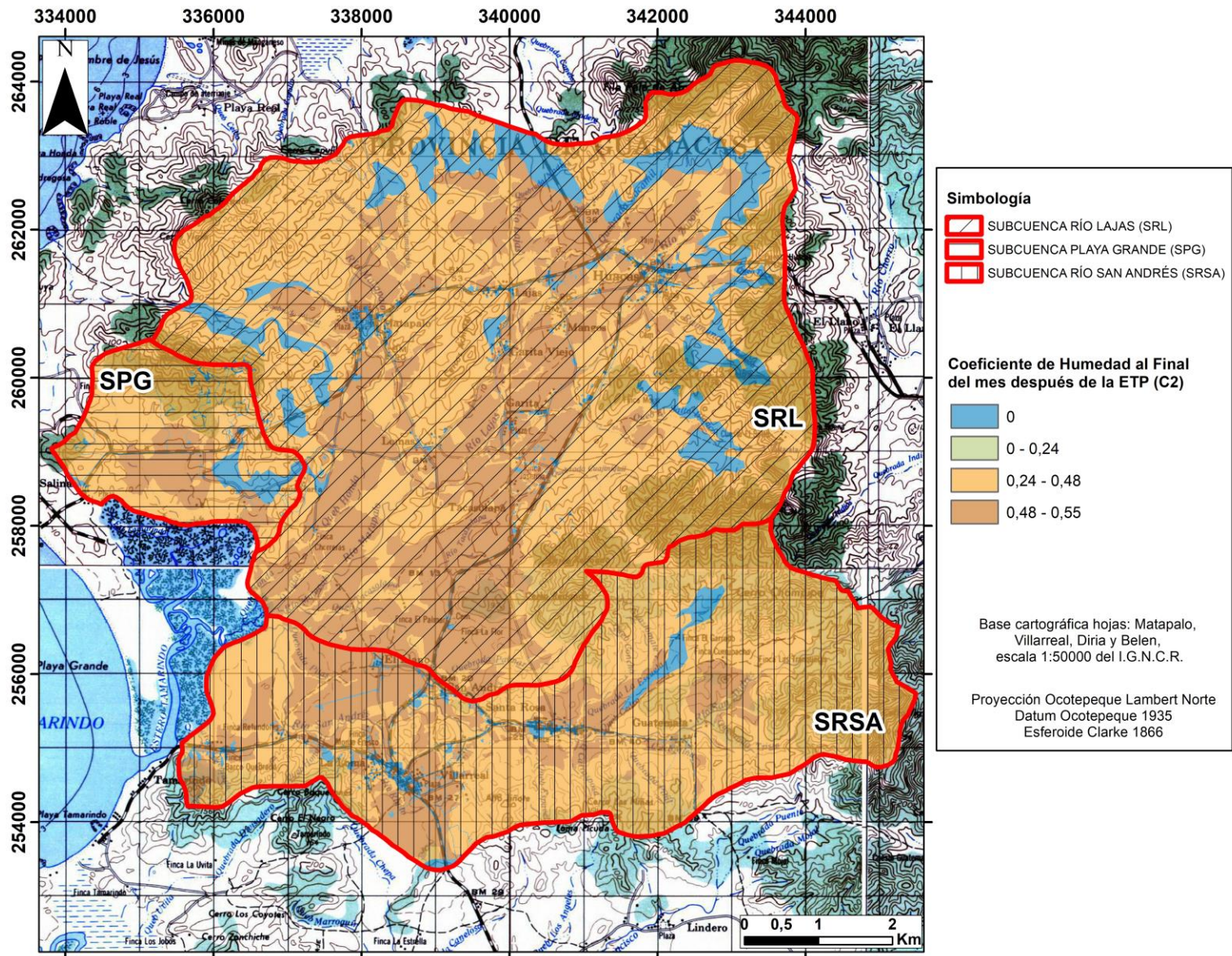


Figura 50. Mapa del coeficiente de humedad al final del mes después de la ETP.

### **9.9 Humedad Disponible (HD)**

Esta humedad representa la humedad que pueden tomar las raíces de las plantas para poder evapotranspirar.

Para determinar esta humedad, se consideran los mapas *raster* de **HSi** (considerando que esta variable es igual a la CC para el mes de noviembre, según se explicó anteriormente), además de la **Pi** y el **PM** (Figura 51).

### **9.10 Evapotranspiración real promedio (ETR)**

Se determina a partir de los mapas *raster* de los coeficientes de humedad **C1** y **C2** y el de la **ETP**. Y mediante condicionales en el *Raster Calculator* del *software* ArcGis 10.3 del mapa *raster* de la HD. Por lo que el resultado para esta variable ETR se muestra en la Figura 52.

### **9.11 Humedad del Suelo al Final del Mes (HSf)**

El cálculo de esta humedad no debe ser mayor a la CC, y se determina mediante los mapas *raster* de la **HD**, el **PM**, la **ETR** y la **CC**.

Una vez determinada esta humedad del suelo para el final del mes, para continuar el cálculo del balance hídrico de suelos se considera que esta humedad del suelo es igual a la humedad del suelo al inicio del mes siguiente.

De este modo y según se indicó para el cálculo del coeficiente de humedad C1, para este estudio se inicia el cálculo del balance hídrico de suelos en el mes de noviembre, por lo que la HSi del mes de diciembre será igual a la HSf del mes de noviembre (Figura 53).

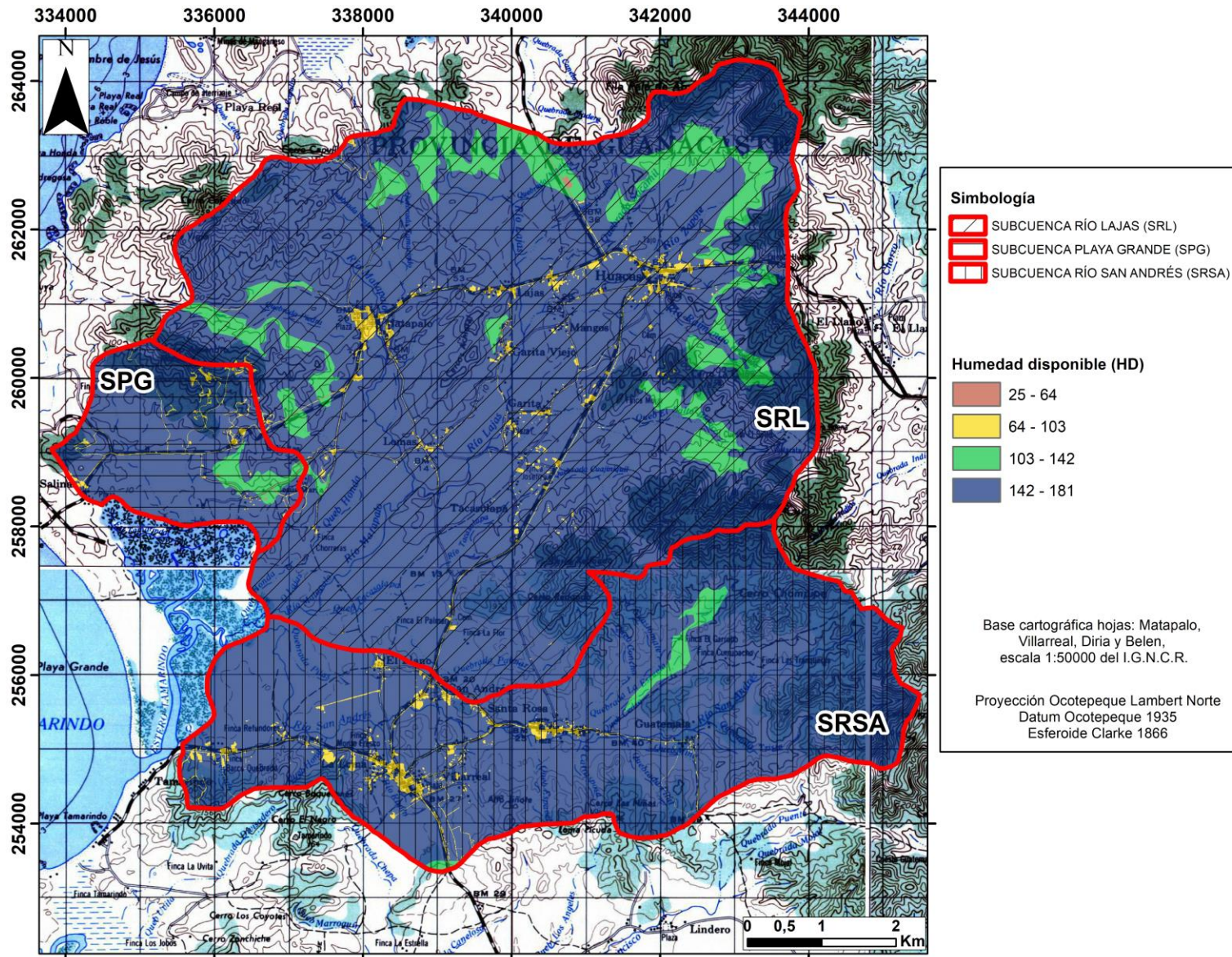


Figura 51. Mapa de la humedad disponible en milímetros para el mes de noviembre.

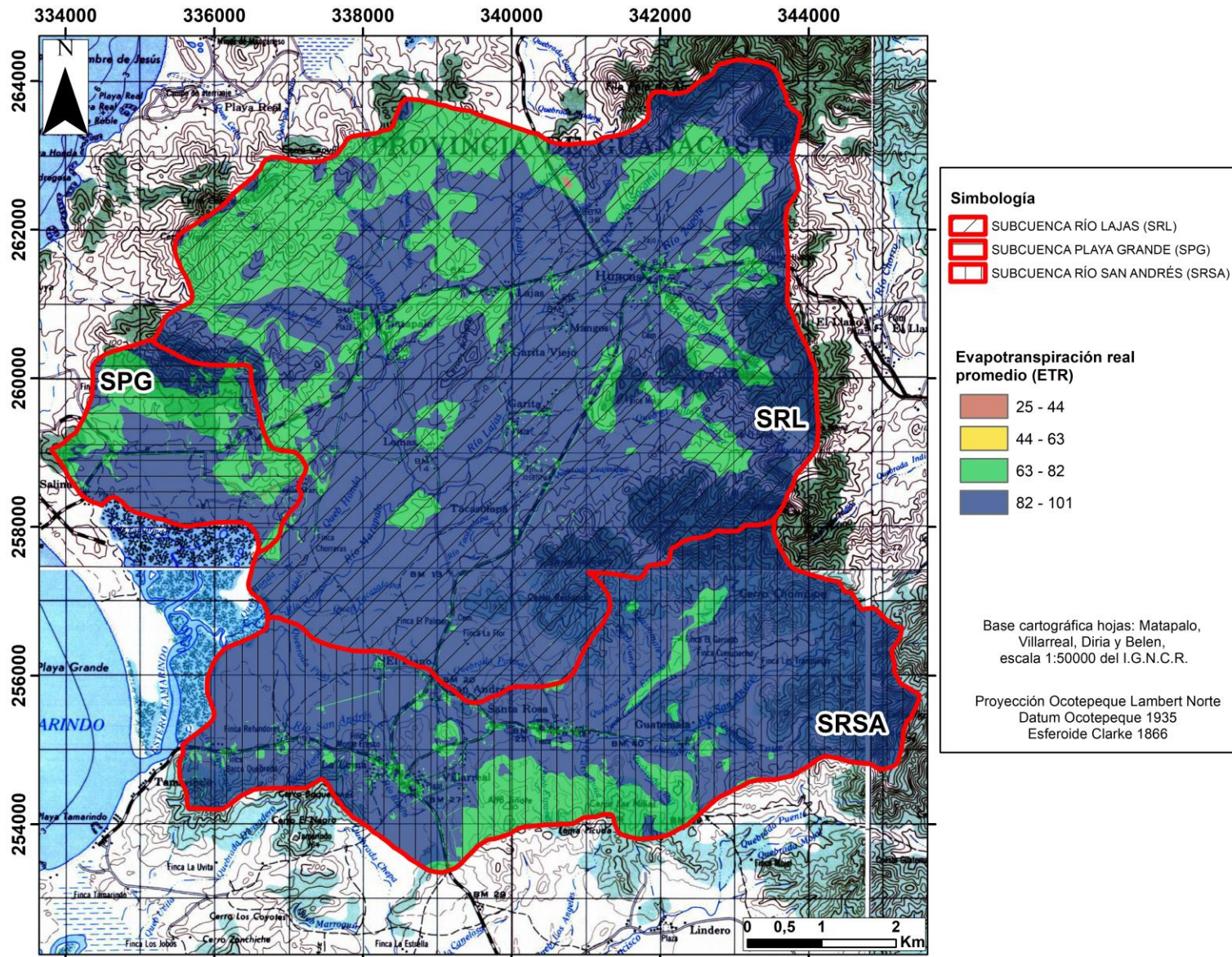


Figura 52. Mapa de la evapotranspiración real promedio del mes de noviembre.

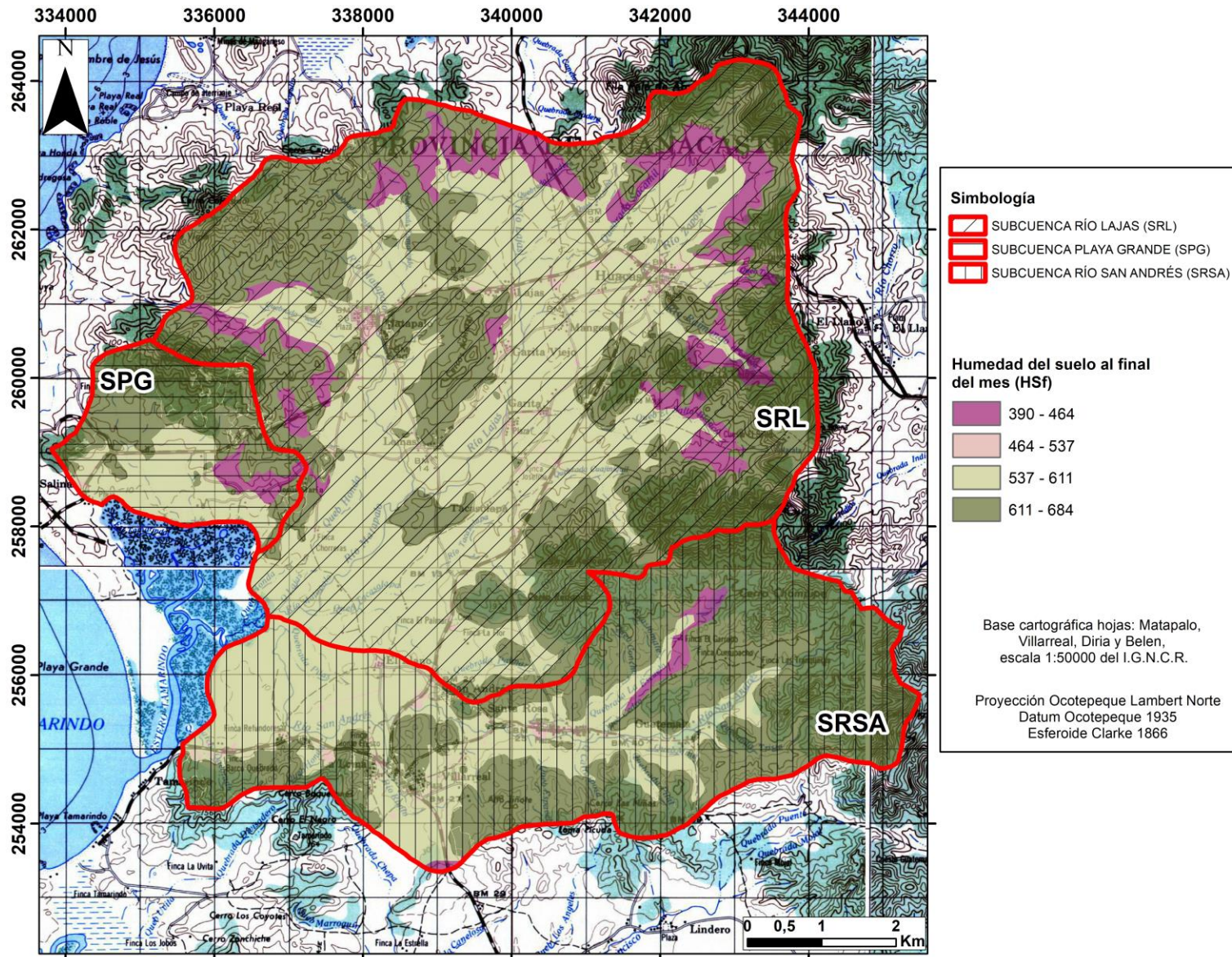


Figura 53. Mapa de la humedad del suelo en milímetros al final del mes de noviembre.

### **9.12 Recarga Potencial al Acuífero (Rp)**

La recarga al acuífero se lleva a cabo si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo (CC) y además, satisfacer la evapotranspiración (ETP) de las plantas. El agua sobrante una vez satisfecha la CC y la ETP, es la que recarga al acuífero.

Por lo tanto, para determinar esta variable se consideran los mapas *raster* generados de las variables de precipitación que infiltra ( $P_i$ ), la humedad del suelo al inicio del mes ( $HS_i$ ), la humedad del suelo al final del mes ( $HS_f$ ) y la evapotranspiración real (ETR). El mapa de la recarga potencial en milímetros para el mes de noviembre se presenta en la Figura 54.

Posteriormente, una vez determinado el mapa *raster* de la Rp para el mes de noviembre, se debe repetir el mismo proceso hasta haber calculado para cada mes del año un mapa *raster* de la Rp.

Posteriormente, empleando las herramientas del *Raster Calculator* del *software* ArcGis 10.3 se procede a realizar la suma de los mapas *raster* de Recarga Potencial para cada mes del año, para obtener un mapa *raster* de Recarga Potencial Anual (RPA) en milímetros (Figura 55).

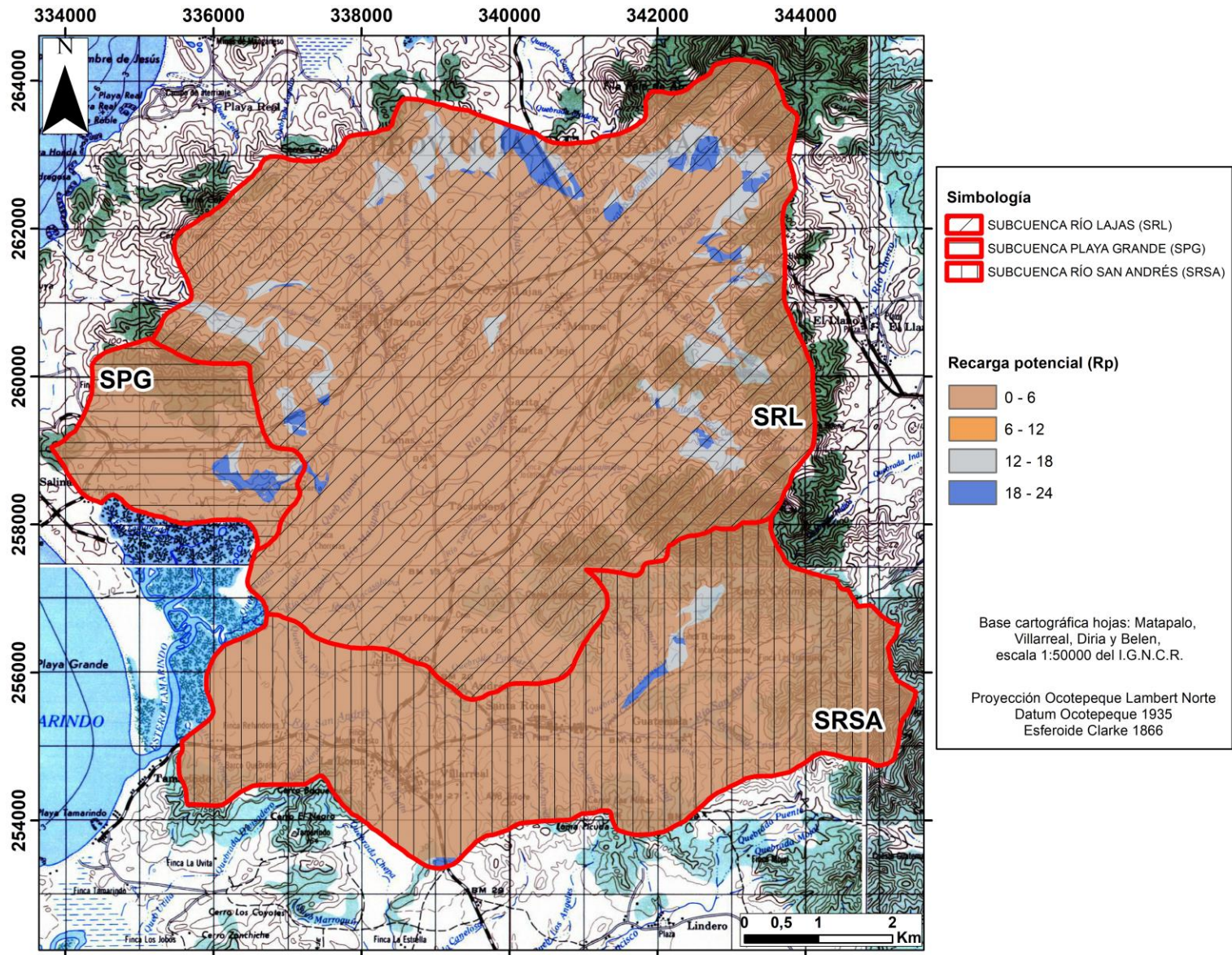


Figura 54. Mapa de la recarga potencial en milímetros para el mes de noviembre.

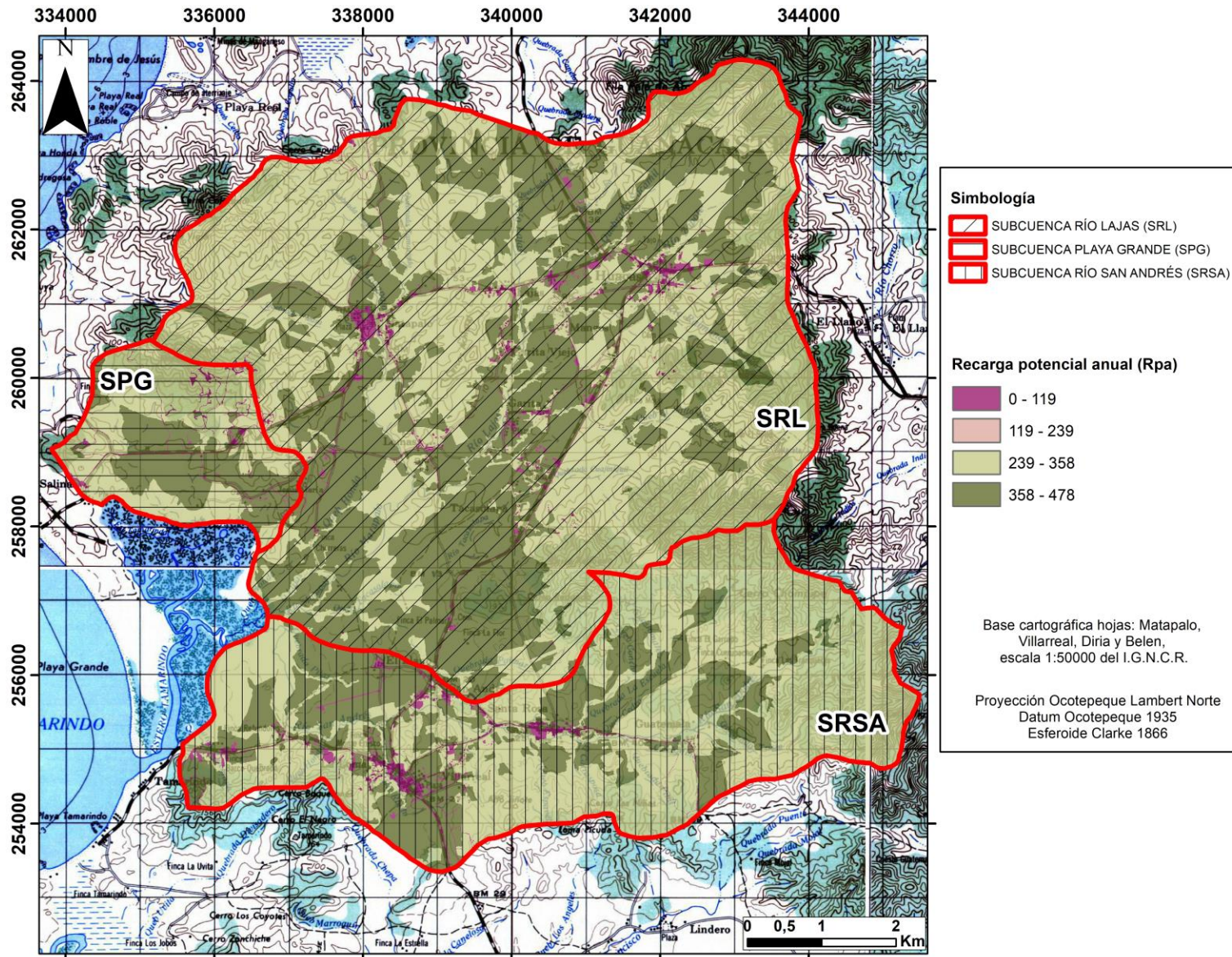


Figura 55. Mapa de la recarga potencial anual en milímetros.

Luego de determinar el mapa de la recarga potencial anual (RPA), este mapa es clasificado a partir de la definición de nivel de recarga acuífera según SENARA (2017), en la cual la recarga se categoriza en: **a) alta** cuando el valor de la recarga potencial es >30% de la precipitación media anual, **b) media** cuando el valor de la recarga potencial corresponde a valores entre 10% y 30%, y **c) baja** cuando el valor de la recarga potencial es <10% de la precipitación media anual. De este modo, el mapa clasificado según el nivel de recarga acuífera se presenta en la Figura 56.

Con base en esta figura, la zona de recarga potencial baja corresponde con 1,76 km<sup>2</sup> lo que representa un 2,17% del área de estudio. Por otro lado, la zona de recarga potencial media corresponde con 77,76 km<sup>2</sup> cuyo valor representa un 96,07% de la zona de estudio, y es la zona de recarga media la más abundante de la zona de investigación. Finalmente, la zona de recarga potencia alta corresponde con 1,35 km<sup>2</sup> lo que representa un 1,67% del área de estudio.

Finalmente, a partir del mapa de RPA (Figura 55) contiene los valores de recarga en unidades de milímetros (mm), por lo que se procede a convertir estos valores a metros (m). Una vez que se tienen los valores de píxel en metros, se procede a multiplicar el valor de dichos píxeles, por el área de cada píxel del mapa *raster*, el cual es de 5 m por 5 m de tamaño, o sea 25 m<sup>2</sup>. De este modo, obtenemos un mapa *raster* de recarga potencial con valor es de píxel en m<sup>3</sup> por año (Figura 57).

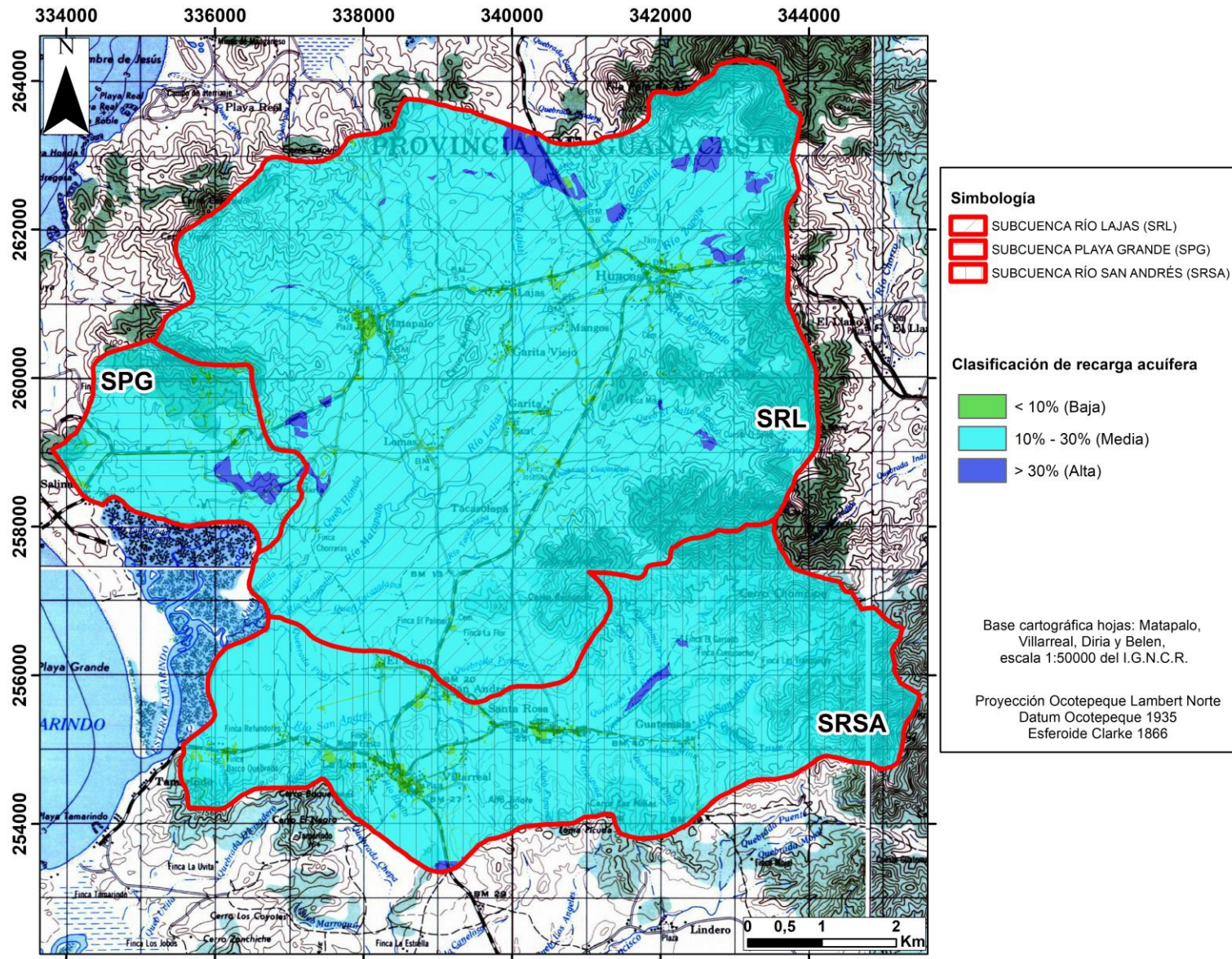


Figura 56. Mapa de clasificación de la recarga acuífera.

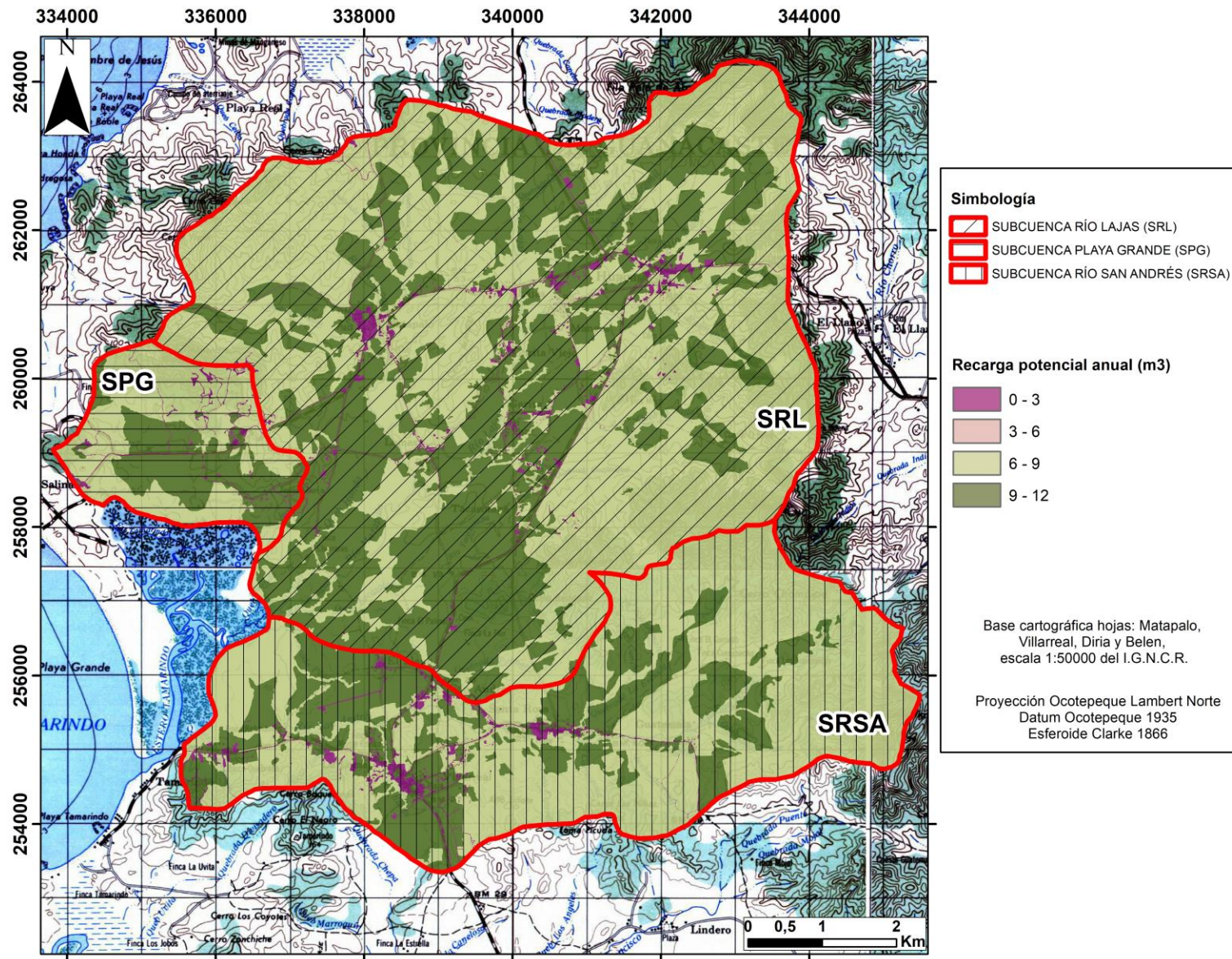


Figura 57. Mapa de la recarga potencial anual en m<sup>3</sup>.

Una vez determinada la recarga potencial para la zona de estudio, mediante la herramienta *Zonal Statistical as Table* se filtran los valores de recarga potencial anual según las unidades geológicas para cada subcuenca, como se muestra en los Cuadros 10, 11 y 12.

**Cuadro 10.** Recarga potencial anual de la Subcuenca del Río Lajas.

Cálculo del volumen de recarga anual	Subcuenca Río Lajas					
	Depósito Aluvial	Depósito Coluvial	Radiolarita	Basalto	Intrusivo	Total
Recarga potencial (mm/año)	319	470	323	259	296	-
Volumen de recarga (m <sup>3</sup> /año)	7.346.496	1.878.195	2.581.341	777.751	3.848.379	16.432.162
Volumen de recarga (L/s)	<b>233</b>	<b>60</b>	<b>82</b>	<b>25</b>	<b>122</b>	<b>521</b>
% Recarga	45	11	16	5	23	100
Área (km <sup>2</sup> )	23	4	8	3	13	51
% Área	45	8	16	6	25	100

A partir del Cuadro 10 se identifica que la unidad geológica que presenta el mayor volumen de recarga es la unidad de depósitos aluviales con 233 L/s, la cual representa un 46% de la recarga total de esta subcuenca y una cobertura del 45 % del área total de dicha subcuenca (23 km<sup>2</sup>) la cual presenta suelos limosos y arenosos cubriendo esta unidad de los depósitos aluviales y pendientes planas. Esta unidad es seguida por la unidad de intrusivos con un volumen de recarga de 122 L/s, que representa un 23 % de la recarga total (521 L/s) y que de igual manera es la segunda unidad de mayor extensión en la subcuenca con 13 km<sup>2</sup> y está cubierta mayormente por bosque. La tercera unidad que presenta el mayor volumen de recarga en esta subcuenca es la unidad de radiolaritas con 82 L/s, favorecido por el fracturamiento que presenta esta unidad. En cuanto a la recarga de las radiolaritas, representa un 16 % de la recarga total y un 16 % del área total de la subcuenca.

**Cuadro 11.** Recarga potencial anual de la Subcuenca del Río San Andrés.

Cálculo del volumen de recarga anual	Subcuenca Río San Andrés					
	Depósito Aluvial	Depósito Coluvial	Radiolarita	Basalto	Intrusivo	Total
Recarga potencial (mm/año)	313	467	310	297	303	-
Volumen de recarga (m <sup>3</sup> /año)	2.656.549	186.944	961.704	1.159.273	2.514.511	7.478.981
Volumen de recarga (L/s)	<b>84</b>	<b>6</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>80</b>	<b>237</b>
% Recarga	36	2	13	16	34	100
Área (km <sup>2</sup> )	9	0,4	3	4	8	24
% Área	35	2	13	16	34	100

Con base en el Cuadro 11 se interpreta que la unidad geológica que presenta el mayor volumen de recarga es la unidad de depósitos aluviales con 84 L/s, cuyo valor representa un 36% de la recarga total de la subcuenca y a un 35 % del área total de dicha subcuenca (9 km<sup>2</sup>) la cual está conformada por un suelo arenoso y para el cual se favorece la infiltración debido a las bajas pendientes. Esta unidad es seguida por la unidad de intrusivos con 80 L/s, que representa un 34 % de la recarga total (237 L/s) y es la unidad predominante en la parte alta de la subcuenca, la cual se presenta con abundante fracturamiento que beneficia la infiltración del agua de lluvia y además, es cubierta por bosque. La tercera unidad que presenta el mayor volumen de recarga en esta subcuenca es la unidad de basaltos con 37 L/s, dicha unidad representa un 16 % de la recarga total y un 16 % del área total de la subcuenca. Esta unidad de basaltos al igual que la unidad de intrusivos se presenta con un alto grado de fracturamiento, característica que favorece la infiltración de agua de lluvia hacia esta unidad litológica.

**Cuadro 12.** Recarga potencial anual de la Subcuenca Playa Grande.

Cálculo del volumen de recarga anual	Subcuenca Playa Grande					
	Depósito Aluvial	Depósito Coluvial	Radiolarita	Basalto	Intrusivo	Total
Recarga potencial (mm/año)	325	447	273	205	269	-
Recarga (m <sup>3</sup> /año)	649.423	156.517	818.678	205.470	16.127	1.846.215
Recarga (L/s)	21	5	26	7	1	59
% Recarga	35	8	44	11	1	100
Área (km <sup>2</sup> )	2	0,4	3	1	0,1	6
% Área	31	5	47	16	1	100

Según el Cuadro 12 se identifica que la unidad geológica que presenta el mayor volumen de recarga es la unidad de radiolaritas con 26 L/s, la cual representa un 44% de la recarga total de esta subcuenca, la cual es favorecida por el grado de fracturamiento que presentan estas rocas, cubriendo un área que representa un 47 % de la totalidad de esta subcuenca (6 km<sup>2</sup>). La unidad de radiolaritas es seguida en cuanto a la mayoría de la recarga por la unidad de depósitos aluviales con 21 L/s, que representa un 35 % de la recarga total (59 L/s) y un 31 % del área de la subcuenca., constituida por un suelo limo arenoso que beneficia la recarga directa de la lluvia hacia esta unidad. La tercera unidad que presenta la mayor recarga en esta subcuenca es la unidad de basaltos con 7 L/s, dicha unidad representa un 11 % de la recarga total y un 16 % del área total de la subcuenca, la cual se favorece por la porosidad secundaria generada por la presencia de fracturas abiertas en esta unidad, así como una cobertura boscosa.

Finalmente, y de manera resumida se presenta en el Cuadro 13 el volumen de la recarga potencial anual por unidad geológica para el acuífero Huacas-Tamarindo.

**Cuadro 13.** Volumen de la recarga potencial por unidad geológica.

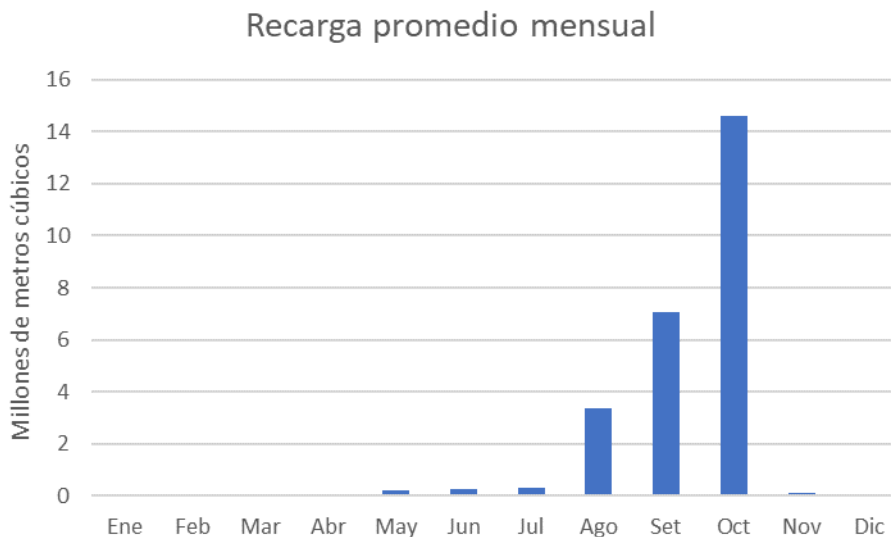
Cálculo del volumen de la recarga anual	Unidad Geológica					
	Depósito Aluvial	Depósito Coluvial	Radiolarita	Basalto	Intrusivo	Total
Volumen de recarga (m <sup>3</sup> /año)	10.652.467	2.221.657	4.361.723	2.142.494	6.379.017	25.757.358
Volumen de recarga (L/s)	338	70	138	68	202	<b>817</b>
% Recarga	41	9	17	8	25	100
Área (km <sup>2</sup> )	33	5	14	7	21	81
% Área	41	6	17	9	26	100
Precipitación (L/s)						3.945
<b>Porcentaje de la lluvia que recarga el acuífero Huacas-Tamarindo</b>						<b>21%</b>

Con base en el Cuadro 13 se determina que la unidad geológica que presenta el mayor volumen de recarga es la unidad de depósitos aluviales con 338 L/s, la cual es la unidad que representa la más grande extensión de la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo con un área de cobertura de 33 km<sup>2</sup> y que además, representa un 41% de la recarga total al acuífero en estudio y está conformada por suelos limo arenosos hasta arenosos, a través de los cuales se favorece la recarga directa de agua de lluvia por la baja pendiente en donde se encuentran, además de la cobertura de zacate. La segunda unidad geológica con mayor volumen de recarga es la unidad de intrusivos con 202 L/s y un área de extensión de 21 km<sup>2</sup>, que se presenta predominantemente en la parte alta del sector este de la cuenca Huacas-Tamarindo, cubierta por bosque y con la presencia de un abundante fracturamiento debido a la tectónica local de la zona de estudio, la cual muestra fracturamientos preferenciales norte-sur. Por otra parte, la unidad que muestra el menor volumen de recarga es la unidad de basaltos con 68 L/s, la cual se distribuye en la zona de estudio por un área de 7 km<sup>2</sup>, la cual a pesar de no ser la unidad de menor extensión en la totalidad de la cuenca Huacas-Tamarindo, presenta condiciones menos favorables en cuanto a pendiente o tipo de cobertura en comparación con la unidad de depósitos aluviales (5 km<sup>2</sup>, unidad de menor extensión de la cuenca Huacas-Tamarindo).

En cuanto al valor determinado del volumen de la recarga potencial anual al acuífero Huacas-Tamarindo, el cual es de 817 L/s, se calcula que representa un 21% de la precipitación de lluvia dentro de la zona de estudio.

Por otro lado, al analizar el volumen de recarga potencial anual (Figura 58), se observa que para el mes de octubre ocurre aproximadamente un 56 % de la recarga hacia el acuífero Huacas-Tamarindo, mientras que los meses de mayo a julio se lleva a cabo aproximadamente un 3 % de la recarga y para los meses de agosto y setiembre un 13 % y un 27 %, respectivamente.

Entre los meses de diciembre a abril no se genera recarga potencial hacia el acuífero, por lo que de aumentarse la demanda hídrica en el acuífero Huacas-Tamarindo debe de realizarse una adecuada gestión del recurso hídrico principalmente hacia el sector del estero de Tamarindo.



**Figura 58.** Recarga promedio mensual en millones de m<sup>3</sup>.

De igual manera que se muestra en la Figura 58 se presenta en el Cuadro 14 la distribución de la recarga potencial promedio mensual que se lleva a cabo en el acuífero Huacas-Tamarindo, en unidad de milímetros y en comparación con la lluvia mensual promedio obtenida de la estación meteorológica No. 72149 del IMN ubicada en San José de Pinilla, Santa Cruz de Guanacaste (Figura 59).

**Cuadro 14.** Relación lluvia mensual y recarga potencial promedio (mm).

Mes	Lluvia (mm)	Recarga potencial promedio (mm)
Enero	0,3	0,0
Febrero	0,7	0,0
Marzo	3,1	0,0
Abril	25,5	0,0
Mayo	175,1	2,5
Junio	153,2	2,9
Julio	153,6	3,9
Agosto	241,8	41,6
Setiembre	280,7	87,4
Octubre	384,8	180,1
Noviembre	102,4	1,2
Diciembre	16,5	0,0
<b>Total</b>	<b>1537,7</b>	<b>319,6</b>

De este modo, se muestra que durante el mes de octubre es cuando ocurre la mayor recarga potencial mensual (180,1 mm) lo cual representa un 47 % de la cantidad de lluvia de este mes (384,8 mm). Por otro lado, se observa como entre los meses de diciembre a abril no hay aporte de la lluvia que se refleje como recarga potencial hacia el acuífero y como se mencionó anteriormente, es congruente que los 319,6 mm de recarga potencial corresponden con un 21% de la lluvia anual.



**Figura 59.** Lluvia y recarga promedio mensual.

## 10 Disponibilidad Hídrica Subterránea

La disponibilidad hídrica subterránea para el acuífero Huacas-Tamarindo, es determinada considerando el principio de que el agua que se infiltra en el suelo para recargar el acuífero, menos el agua que se extrae del acuífero a partir de los pozos perforados y excavados, menos el agua que se descarga de manera natural al estero de Tamarindo es igual al agua subterránea que dispone el acuífero Huacas-Tamarindo.

De este modo, se describen a continuación los cálculos realizados para determinar la disponibilidad hídrica subterránea del acuífero en estudio, a partir del análisis de cada subcuenca (Playa Grande, Río Lajas y Río San Andrés).

### 10.1 Volumen de la Recarga Potencial Anual al Acuífero

Con base en el cálculo del volumen de la recarga potencial al acuífero Huacas-Tamarindo (Figura 57), mediante la herramienta *Zonal Statistical as Table* del software ArcGis 10.3 se filtraron los valores de la recarga potencial anual, a partir de las formaciones geológicas que conforman las tres subcuencas que integran la cuenca hidrográfica en estudio y que se presentan en los Cuadro 10, Cuadro 11 y Cuadro 12.

De este modo, en el Cuadro 15 se representan los valores del volumen de la recarga potencial anual determinada para cada una de las subcuencas que integran la zona de estudio.

**Cuadro 15.** Volumen de la recarga potencial anual por subcuenca.

Subcuenca	Recarga (m <sup>3</sup> /año)	Recarga (L/s)	Área (km <sup>2</sup> )
Río Lajas	16.432.162	521	51
Río San Andrés	7.478.981	237	24
Playa Grande	1.846.215	59	6
<b>Total</b>	<b>25.757.358</b>	<b>817</b>	<b>81</b>

## **10.2 Volumen de Agua Subterránea por Extracción de Pozos**

El volumen de agua subterránea por extracción de pozos perforados, así como excavados, fue calculado a partir de las concesiones de aprovechamiento del agua subterránea de la Dirección de Agua del MINAE (ANEXO 10) a la fecha del 6 de mayo del año 2017. Estas concesiones fueron relacionadas con los pozos registrados en la base de datos de pozos del SENARA (ANEXO 2) los cuales incluye pozos tanto del AyA, así como los pozos de las ASADAS. Para los cuales, a partir del uso registrado en la concesión de aprovechamiento del MINAE, y según el uso mencionado en el registro de perforación, se le asignó un régimen de bombeo para cada pozo (ANEXO 2) según su uso (Cuadro 16), con lo que se obtuvo un volumen de extracción anual para cada uno de los pozos registrados ante la Dirección de Agua del MINAE, los cuales fueron clasificados según el uso (Cuadro 17) y por subcuenca (Cuadro 18).

Cabe mencionar que, los caudales considerados para realizar el cálculo de la extracción que se presentan en el ANEXO 11, fueron establecidos primeramente según el caudal concesionado por la Dirección de Agua del MINAE (ANEXO 10) para los pozos que cuentan con esta información. En los casos en que los pozos carecen de concesión del MINAE, fue considerado el caudal recomendado a partir de la prueba de bombeo realizada y para los pozos que carecen de prueba bombeo ni concesión del MINAE, se consideró el caudal requerido según lo mencionado en el reporte de perforación (ANEXO 2). Además, se debe indicar que varios de los pozos de la zona de estudio cuentan con más de un registro de concesión, por lo que dichos caudales de aprovechamiento fueron considerados en el cálculo de la extracción.

Para los pozos en los cuales el uso es el abastecimiento público, los caudales asignados fueron los caudales indicados por los operadores del servicio de abastecimiento de agua potable en la zona de estudio (AyA – operado por la Oficina Cantonal de Tamarindo, ASADA de Santa Rosa, ASADA de Villareal, ASADA de Lomas, La Josefina y Los Robles, ASADA de Garita, Lajas y Mangos, ASADA de Lomas, ASADA de Matapalo y ASADA de Playa Grande).

**Cuadro 16.** Volumen de extracción de pozos por uso, según Dirección de Agua del MINAE.

Uso	Horas/día	Meses
Abastecimiento público	24	12
Riego	16	7
Turismo	24	12
Abrevadero	6	12
Agroindustrial	24	12
Industrial	24	12
Urbanístico	24	12
Doméstico	8	12
Riego-Doméstico	24	12
Riego-Turismo-Doméstico	24	12
Varios	12	12

**Cuadro 17.** Volumen de extracción por uso para cada subcuenca.

Uso	Subcuenca Río Lajas	Subcuenca Río San Andrés	Subcuenca Playa Grande	Volumen total (L/s)
Abastecimiento público	117,31	128,60	12,54	258,15
Turístico, riego y doméstico	31,69	8,81	0	40,12
Varios	41,61	1,00	0,50	43,11
Doméstico (Consumo humano)	18,68	2,82	0,69	22,18
Riego y doméstico	11,93	2,00	3,33	17,26
Turístico	6,95	0,67	2,10	9,72
Riego	4,14	1,23	0	5,36
Urbanístico	0	0	3,50	3,50
Abrevadero	1,18	1,58	0	2,76
<b>Total</b>	<b>233,48</b>	<b>146,69</b>	<b>22,66</b>	<b>402,84</b>

**Cuadro 18.** Volumen de extracción por subcuenca.

<b>Subcuenca</b>	<b>Extracción (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Extracción (L/s)</b>
Río Lajas	7.363.025	233
Río San Andrés	4.626.016	147
Playa Grande	714.606	23
<b>Total</b>	<b>12.703.962</b>	<b>403</b>

### **10.3 Volumen de Agua Subterránea por Descarga Natural**

Este volumen fue determinado para cada una de las subcuencas en estudio (Playa Grande, Río Lajas y Río San Andrés), a partir de la ecuación de flujo de Darcy (Custodio & Llamas, 1983) la cual relaciona la transmisividad, el gradiente hidráulico y la longitud del ancho de la celda de flujo. Dicha ecuación se muestra a continuación:

$$Q = T * i * L$$

Donde,

**Q** = Caudal de descarga (m<sup>3</sup>d)

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/d)

**i** = Gradiente hidráulico

**L** = Longitud del ancho del tubo de flujo (m)

Cabe mencionar que el gradiente hidráulico fue determinado a partir del mapa de las líneas isofreáticas, la longitud del ancho del tubo de flujo corresponde con la distancia horizontal por donde se descarga el agua subterránea del acuífero (Figura 32). En cuanto a la variable de la transmisividad, se definieron a partir del modelo hidrogeológico para cada subcuenca en la zona de cierre de las mismas (Figura 9, Figura 11 y Figura 12) y los valores asignados se determinaron según las transmisividades calculadas a partir de las pruebas de bombeo, para cada unidad geológica (Cuadro 3, Cuadro 4 y Cuadro 5). De este modo, seguidamente se determina para cada unidad litológica presente en el cierre de cada subcuenca, el caudal natural de descarga por unidad litológica (Cuadro 19, Cuadro 20 y Cuadro 21).

**Cuadro 19.** Volumen de descarga natural para la subcuenca del Río San Andrés.

Unidad litológica	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d) T	Gradiente hidráulico i	Longitud del ancho de los tubos (m) L	Caudal (m <sup>3</sup> /d) Q	Caudal (m <sup>3</sup> /año) Q	Caudal (L/s) Q	Caudal Total (L/s)
Depósito aluvial	75,38	0,012	2063	1.866	681.130	21,59	<b>45,44</b>
Radiolarita	83,00	0,012	2063	2.055	749.983	23,78	
Basalto	0,20	0,012	2063	4,95	1.807	0,06	

**Cuadro 20.** Volumen de descarga natural para la subcuenca del Río Lajas.

Unidad litológica	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d) T	Gradiente hidráulico i	Longitud del ancho de los tubos (m) L	Caudal (m <sup>3</sup> /d) Q	Caudal (m <sup>3</sup> /año) Q	Caudal (L/s) Q	Caudal Total (L/s)
Depósito aluvial	162,48	0,008	856	1.113	406.122	12,88	<b>19,48</b>
Radiolarita	83,00	0,008	856	568,38	207.460	6,58	
Basalto	0,20	0,008	856	1,37	499,90	0,016	

**Cuadro 21.** Volumen de descarga natural para la subcuenca de Playa Grande.

Unidad litológica	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d) T	Gradiente hidráulico i	Longitud del ancho de los tubos (m) L	Caudal (m <sup>3</sup> /d) Q	Caudal (m <sup>3</sup> /año) Q	Caudal (L/s) Q	Caudal Total (L/s)
Radiolarita	83,00	0,010	2647	2.197	801.909	25,43	<b>25,49</b>
Basalto	0,20	0,010	2647	5,29	1.932	0,061	

Una vez calculado el caudal de descarga natural para cada una de las subcuencas, se presenta en el Cuadro 22 los cálculos realizados para determinar el volumen de agua subterránea retenido en el acuífero Huacas-Tamarindo.

**Cuadro 22.** Volumen de agua subterránea almacenado en el acuífero Huacas-Tamarindo por subcuenca.

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	% Área	Recarga (m <sup>3</sup> /año)	Recarga (L/s)	Descarga pozos (m <sup>3</sup> /año)	Descarga pozos (L/s)	Descarga natural (m <sup>3</sup> /año)	Descarga natural (L/s)	Volumen almacenado (m <sup>3</sup> /año)	Volumen almacenado (L/s)
Río Lajas	51	63	16.432.162	521	7.363.025	233	614.082	19	8.455.055	<b>269</b>
Río San Andrés	24	30	7.478.981	237	4.626.016	147	1.432.920	45	1.420.045	<b>45</b>
Playa Grande	6	7	1.846.215	59	714.606	23	803.841	25	327.768	<b>11</b>
<b>Total</b>	81	100	25.757.358	<b>817</b>	12.703.962	<b>403</b>	2.850.843	<b>89</b>	10.202.868	<b>325</b>

A partir del volumen de agua subterránea almacenado en el acuífero en estudio, según se muestra en el Cuadro 22 se procede a cuantificar el 40% del volumen almacenado (según consideración del CTI para los estudios hidrogeológicos más recientes), el cual será preservado como reserva de agua subterránea en el acuífero Huacas-Tamarindo y la diferencia (60% del volumen retenido) podrá ser asignada como recurso hídrico disponible en el acuífero.

**Cuadro 23.** Disponibilidad hídrica en el acuífero Huacas-Tamarindo.

Subcuenca	Volumen almacenado		40% del volumen almacenado		Disponibilidad hídrica	
	(m <sup>3</sup> /año)	(L/s)	(m <sup>3</sup> /año)	(L/s)	(m <sup>3</sup> /año)	(L/s)
Río Lajas	8.455.055	<b>269</b>	3.382.022	<b>107,2</b>	5.073.033	<b>160,86</b>
Río San Andrés	1.420.045	<b>45</b>	568.018	<b>18,01</b>	852.027	<b>27,02</b>
Playa Grande	327.768	<b>11</b>	131.107	<b>4,16</b>	196.661	<b>6,24</b>
<b>Total</b>	10.202.868	<b>325</b>	4.081.147	<b>129,37</b>	6.121.721	<b>194,12</b>

Con base en el Cuadro 23 se muestra que el acuífero Huacas-Tamarindo cuenta con una disponibilidad hídrica de **6 L/s** para la subcuenca de Playa Grande, lo que equivale a un 10 % de la recarga potencial anual por infiltración de lluvia para esta subcuenca. La subcuenca del Río Lajas presenta una disponibilidad hídrica de **161 L/s**, equivalente a un 31 % de la recarga potencial en esta subcuenca. Por otro lado, la subcuenca del Río San Andrés muestra una disponibilidad hídrica de **27 L/s**, lo cual corresponde a un 11 % de la recarga potencial para esta subcuenca.

Para la totalidad del acuífero Huacas-Tamarindo, los 194 L/s correspondientes con el volumen de agua subterránea disponibles a utilizar del acuífero, representa un 24 % de la recarga potencial anual (817 L/s).

## 11 Conclusiones y Recomendaciones

1. Litológicamente la zona de estudio está conformada por rocas asociadas al Complejo de Nicoya, las cuales corresponden con rocas basálticas (9%), rocas intrusivas (26%) que han sido clasificadas como diabasas y gabronitas, así como radiolaritas (17%). Así mismo, están presentes depósitos coluviales en un 7% de la zona de estudio y la unidad de depósitos aluviales, los cuales corresponden con la unidad litológica más abundante dentro del área de estudio (41%).
2. A partir de la interpretación de los perfiles hidrogeológicos se muestra que el nivel del agua subterránea se localiza entre 1 m y 26 m de profundidad, contenida en la unidad hidrogeológica, la cual es conformada por los depósitos aluviales, las radiolaritas, los basaltos y los intrusivos. Estas unidades litológicas son captadas por múltiples pozos (base de datos del SENARA y del AyA), quienes muestran profundidades entre los 12 y los 147 metros bajo el nivel del suelo (m.b.n.s.) y que presentan un espesor saturado que varía de los 15 m a los 132 m, en las zonas fracturadas de las unidades del Complejo de Nicoya y en los materiales porosos de la unidad de depósitos aluviales.
3. Con base en la interpretación de las tomografías eléctricas se evidencia como el depósito aluvial que se distribuye a lo largo de estas dos líneas de perfil, presenta un espesor máximo de aproximadamente 30 m, lo cual es congruente con los espesores de mayor extensión en los perfiles hidrogeológicos y las secciones MT y que muestran resistividades eléctricas de 4  $\Omega$ m hasta los 35  $\Omega$ m. Para la unidad de basaltos se registran resistividades eléctricas de 89 a 149  $\Omega$ m (entre los 30 m y 60 m de profundidad), interpretadas como tramos en donde los basaltos se encuentran relativamente sanos, mientras que las resistividades eléctricas entre los 35 y los 89  $\Omega$ m, se interpretan como zonas en donde se localizan conjuntamente tanto radiolaritas como basaltos fracturados y saturados.
4. Se muestra en los perfiles hidrogeológicos, empleados como base para ilustrar el modelo hidrogeológico del acuífero Huacas-Tamarindo, la existencia de una conexión hidráulica entre los depósitos coluvio-aluviales y las unidades que los subyacen (basaltos, radiolaritas e intrusivos del Complejo de Nicoya). De modo

que las unidades del Complejo de Nicoya obtienen una recarga directa a partir de las lluvias en los sectores en que estas unidades afloran directamente, favorecidas por el alto grado de fracturación que se presenta en estas rocas. Por otro lado, para las zonas donde las rocas del Complejo de Nicoya se encuentran subyaciendo a los depósitos coluvio-aluviales obtienen recarga por la percolación de dichos depósitos. Los depósitos aluviales de igual manera reciben una recarga directa a través de las lluvias, a través de los suelos limo arenosos que la sobreyacen, así como recarga lateral de las unidades del Complejo de Nicoya.

5. Al interpretar los datos de los niveles estáticos de algunos de los pozos que conforman la red de monitoreo de pozos de la Comisión Técnica Interinstitucional (CTI), se muestra una relación de recarga tardía entre las primeras lluvias del año y el nivel freático del acuífero, ya que se debe antes satisfacer la capacidad de campo del suelo y la evapotranspiración de las plantas antes de que exista un aporte de agua al acuífero. De modo que, posterior a registrarse un aumento en las lluvias existe una tendencia a incrementarse el nivel freático para los meses de agosto a octubre y una disminución para los meses de noviembre y diciembre.
6. Con base en el nivel estático del agua subterránea en los pozos perforados y excavados de la red de monitoreo del CTI durante la estación lluviosa, se elaboró el mapa de líneas isofreáticas para el acuífero Huacas-Tamarindo donde se observa que las elevaciones para el nivel freático se encuentran entre los 52 y los 2 m.s.n.m. y que el flujo del agua subterránea es descargado de manera natural hacia el sector del estero de Tamarindo.
7. El modelo hidrogeológico conceptual determinado para el acuífero Huacas-Tamarindo, se define como una sola unidad hidrogeológica, la cual es conformada por las zonas fracturadas de las unidades litológicas de las radiolaritas, los basaltos, las rocas intrusivas y los depósitos aluviales (aluvión), las cuales en conjunto constituyen un acuífero libre.

En cuanto a los parámetros hidráulicos de transmisividad y conductividad hidráulica, determinados para las unidades litológicas o la combinación de ellas, se muestran a continuación el rango de valores para dichos parámetros hidráulicos a partir del

procesamiento de pruebas de bombeo existentes de la base de datos de pozos del SENARA, para cada una de las subcuencas de la zona de estudio:

**a) Subcuenca Playa Grande**

-Unidad de basalto: muestra una transmisividad de 0,20 y una conductividad hidráulica de 0,01 m/d; catalogado como algo permeable.

-Unidad de aluvión-radiolarita: presenta una transmisividad de 1,22 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 0,19 m/d; caracterizada como algo permeable.

**b) Subcuenca Río Lajas**

-Unidad de aluvión: se indica una transmisividad de 0,45 a 360 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 0,02 a 17,10 m/d; categorizada como permeable hasta algo permeable.

-Unidad de radiolarita-basalto: presenta una transmisividad de 9,97 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 0,45 m/d; catalogada como algo permeable.

-Unidad de aluvión-radiolarita-basalto: obtuvo una transmisividad de 884 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 32,40m/d; caracterizada como permeable.

-Unidad de aluvión-basalto: muestra una transmisividad de 59,8 a 73,2 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 2,4 a 4,2 m/d; catalogada como permeable.

**c) Subcuenca Río San Andrés**

-Unidad de aluvión: presenta una transmisividad de 15 a 120 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 1,2 a 6,7 m/d; caracterizada como permeable.

-Unidad de radiolarita: indica una transmisividad de 83 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 3,2 m/d; catalogada como permeable.

-Unidad de aluvión-basalto: presenta una transmisividad de 1190 m<sup>2</sup>/d y una conductividad hidráulica de 45,1 m/d; categorizada como permeable.

8. En la zona de estudio se registra una precipitación anual promedio de 1.538 mm (3.945 L/s), a partir de la estación meteorológica de San José de Pinilla, la cual registra datos desde el año 2004. En promedio el mes que registra la menor cantidad de lluvia es enero con 0,3 mm y el mes con la mayor cantidad de lluvia es octubre con 384,8 mm.

9. A partir del balance hídrico de suelos, se determinó una recarga potencial para el acuífero Huacas-Tamarindo de 817 L/s (320 mm/año), el cual representa un 21% de la precipitación en la cuenca (1.538 mm/año).

El volumen de recarga anual determinado para cada unidad geológica se muestra a continuación:

- Unidad de depósito coluvial: 70 L/s (9%)
- Unidad de basalto: 68 L/s (8%)
- Unidad de radiolarita: 138 L/s (17%)
- Unidad de intrusivos: 202 L/s (25%)
- Unidad de depósito aluvial: 338 L/s (42%)

Por otra parte, se determinó el volumen de recarga potencial anual para cada subcuenca que conforman la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, el cual es:

- Subcuenca Playa Grande: 59 L/s
- Subcuenca Río San Andrés: 237 L/s
- Subcuenca Río Lajas: 521 L/s

10. El volumen de extracción de agua subterránea calculado para cada una de las subcuencas que constituyen la cuenca hidrográfica Huacas-Tamarindo, a partir de las concesiones de aprovechamiento de la Dirección de Agua del MINAE de los pozos perforados y excavados es:

- Subcuenca Playa Grande: 23 L/s
- Subcuenca Río San Andrés: 147 L/s
- Subcuenca Río Lajas: 233 L/s

En cuanto al uso que presenta el mayor volumen de extracción, corresponde con el abastecimiento público con 258 L/s y la subcuenca que muestra el mayor volumen es la subcuenca del Río San Andrés con 129 L/s; es seguida por la subcuenca del Río Lajas con 117 L/s y por último está la subcuenca de Playa Grande con 13 L/s.

11. El volumen de extracción del agua subterránea debido a la descarga natural hacia el sector del estero de Tamarindo, determinado a partir de la ecuación de Darcy para cada una de las subcuencas, se presenta a continuación:

- Subcuenca Playa Grande: 25 L/s
- Subcuenca Río San Andrés: 45 L/s
- Subcuenca Río Lajas: 19 L/s

**12.** La disponibilidad hídrica subterránea para el acuífero Huacas-Tamarindo considerando un 40% de volumen almacenado como reserva de agua subterránea, el cual corresponde con 4 L/s para la subcuenca de Playa Grande, de 107 L/s para la subcuenca del Río Lajas y de 18 L/s para la subcuenca del Río San Andrés, es de:

- Subcuenca Playa Grande: 6 L/s (representa un 10% de la recarga potencial anual de esta subcuenca).
- Subcuenca Río San Andrés: 27 L/s (corresponden con un 11% de la recarga potencial anual para esta subcuenca).
- Subcuenca Río Lajas: 161 L/s (corresponden con un 31% de la recarga potencial anual para esta subcuenca)

**13.** A partir de la disponibilidad hídrica subterránea mencionada y aunado a la incertidumbre que se presenta en la cuenca en estudio a causa del aprovechamiento de pozos ilegales, no se recomienda aumentar la explotación del recurso hídrico subterráneo mediante nuevas perforaciones para la subcuenca Playa Grande, así como la subcuenca del Río San Andrés. Debido a que para la subcuenca de Playa Grande la disponibilidad hídrica de apenas 6 L/s de modo que corresponde con un caudal sumamente bajo, el cual podría estarse extrayendo actualmente a través de aprovechamientos ilegales. Mientras que, para la subcuenca del Río San Andrés, a pesar de estimarse una disponibilidad hídrica de 27 L/s, en esta subcuenca se cuenta con la presencia de 4 entes operadores del recurso hídrico subterráneo (ASADAS de Tamarindo, Villareal, Santa Rosa y el AyA) por lo que, debido a las razones expuestas y para garantizar la demanda de las comunidades abastecidas por los entes operadores, se debe restringir nuevas extracciones de agua subterránea para toda el área de estas dos subcuencas. Por otro lado, se determina para la subcuenca del Río Lajas una disponibilidad hídrica de 161 L/s, de modo que sería factible el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo a partir de nuevas perforaciones en esta subcuenca, resguardando una zona de retiro de al menos 1 km en los alrededores del estero de Tamarindo,

en ausencia de estudios hidrogeológicos locales para la evaluación del riesgo de intrusión salina.

En cuanto a las recomendaciones para la zona de estudio se indican las siguientes:

1. Llevar a cabo un levantamiento de pozos dentro de la zona de estudio, para fiscalizar la legalidad de estos, en cuanto al permiso de perforación y concesión de aprovechamiento del agua subterránea por parte de la Dirección de Agua del MINAE.
2. Mantener el monitoreo del nivel del agua subterránea en los pozos de la zona de estudio, así como monitorear los parámetros de la conductividad eléctrica, los iones bromuro, cloruro y nitratos, para los pozos que se ubican a una distancia menor a 1 km del estero de Tamarindo, de modo que se pueda identificar con anticipación un posible avance de la interfase agua dulce – agua salada hacia el acuífero. Además, de realizar tomografías eléctricas, orientadas paralelamente a la dirección del flujo subterráneo del agua y lo más cercano al estero, con el objetivo de determinar la presencia o ausencia de la intrusión salina hacia el acuífero, para la estación seca y durante la marea alta, de manera que se realice bajo el escenario más crítico.
3. Ubicar piezómetros de investigación en los alrededores del estero de Tamarindo, para aumentar el monitoreo y control de la calidad del agua subterránea en el acuífero Huacas-Tamarindo.

## 12 Bibliografía

- AGUDELO, C., 2013: Evaluación hidrogeológica, hidrogeoquímica e isotópica del acuífero Huacas Tamarindo. - 70 págs. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), San José.
- ALVARADO, G. E., & GANS, P., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central.- Rev. Geol. Amér. Central, 46: 7-122.
- ARIAS, M.E; 2002: La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología. Rev. Geól. América Central, 27: 21-26.
- ARIAS, M.E., 2007: La primera experiencia en la aplicación de los Métodos Electromagnéticos en acuíferos costeros de Costa Rica: El caso de Tamarindo, Guanacaste. Boletín Geológico y Minero, 118 (1): 51-62.
- DENGO, G., 1962: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.- 112 págs. Instituto Geográfico de Costa Rica, San José.
- DENYER, P. & ARIAS, O; 1991): Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. Rev. Geol. Amer. Central, 12:1-59 págs.
- DENYER, P. & BAUMGARTNER, P.O., 2006: Emplacement of Jurassic-Lower Cretaceous radiolarites of Nicoya complex (Costa Rica).- Geological Scta, 4 (1-2): 203-218.
- DENYER, P. & ALVARADO, G.E., 2007: Mapa geológico de Costa Rica.- Escala 1:400000. Librería Francesa S.A., San José.

DENYER, P. & GAZEL, E., 2009: The Costa Rican Jurassic to Miocene oceanic complexes: Origin, tectonics and relations.- Jour. South Amer. Earth sci., 28: 429-442.

DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografía geológica de la Península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica- 1 ed.- [San José], C.R.: Edit. UCR, 2014.- 202 págs.

GEOMETRICS, 2000: Operation manual for Stratagem systems running IMAGEM Ver. 2.19.

HARGRAVES, G.H. & SAMANI, Z.A.;1985: Reference crop evapotranspiration from temperatura Applied Eng. in Agriculture; 1(2): 96-99.

HIDALGO, H.G., AMADOR, J.A., ALFARO, E.J. & QUESADA, B., 2013: Hydrological climate change projections for Central America.- Journal of Hydrology, 495: 94-112.

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2016: El ENOS y sus efectos en Costa Rica. Costa Rica, Inf. Men. Ago: 2 págs.

KUYPERS, E; 1979: La Geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. Inst. Geogr. Nac; 25, Inf. Sem. Julio-Dic: 15-75 págs.

KUIJPER, E. P. & DENYER, P., 1979: Volcanic exhalative manganese deposits of the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica.- Econ. Geol., 74: 672-678.

- MONTERO, W. & DENYER, P., 2011: Fallamiento neotectónico de la Península de Nicoya y su relación con el escarpe tectónico del antearco Centroamericano. – Rev. Geol. Amér. Central, 45: 9-52.
- MORERA, S. & MATAMOROS, B., 2003: Evaluación del potencial y demanda hídrica subterránea en el acuífero costero Huacas-Tamarindo, Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.- 69 págs. SENARA, San José [Inf. interno].
- ONU, 1972: Manual de instrucciones, estudios hidrológicos.-540 págs. ONU Publ. N° 70, San José, Costa Rica.
- REYNOLDS, J.M., 1997: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics.-749 pages. John Wiley & Sons Ltd. England.
- SASAKI, Y., 1992: Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. Fukuoka, Japan.
- SENARA, MINAE, AyA, ICE & BANCO NACIONAL, 2008: Plan de Abastecimiento de Agua y Gestión.- 32 págs.. San José
- SENARA, 2017: Términos de referencia para presentar estudios hidrogeológicos a la Dirección de investigación y Gestión Hídrica (DIGH) del SENARA, proyectos nuevos o existentes y trámites de perforación de pozos. San José.
- SINTON, C.W., DUNCAN, R.A. & DENYER, P., 1997: Nicoya Peninsula: A single suite of Caribbean oceanic plateau magmas.- Jour.Geophys. Research, 102(B7): 15507-15520.

SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amer. Central, 23: 43-55 págs.

SCHOSINSKY, G.; 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. – Rev. Geol. Amer. Central 34-35: 13-30 págs.

TOURNON, J., 1984: Magmatismes du Meozoique a l'actual en Amerique Centrale: L'exemple de Costa Rica, des ophiolites aux andesites.- 335 págs. Univ. Pierre et Marie Curie [Tesis Ph.D.].

## **13 Anexos**

### **13.1 ANEXO 1. *Análisis macroscópico y microscópico de roca.***

## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Muestra	M-Tama-1
Procedencia	Tamarindo
X (LN)	342661
Y (LN)	256166

### Descripción macroscópica

Roca con textura afanítica porfirítica con fenocristales de augita (3%) y olivino (5%) en una matriz microcristalina (80%). Tiene vetillas rellenas de sílice (10%) y óxidos de hierro (2%). No es posible observar una superficie sana ya que la roca se encuentra muy alterada.

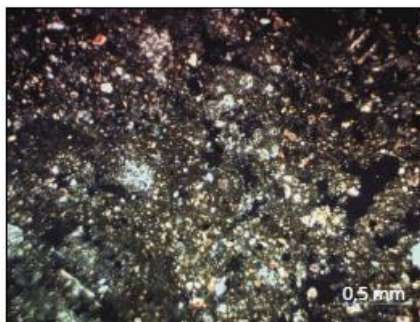
### Descripción microscópica

Textura hipocristalina porfirítica, con fenocristales de augita (5%) y olivino (10%) en una matriz (40%) compuesta por olivino, ceolitas y calcedonia. Afectada por óxidos de hierro (10%) y arcillas (25%), como minerales secundarios presenta ceolitas (5%) y calcedonia (3%). También se observa vetillas rellenas de calcedonia y ceolitas (2%). Y minerales accesorio como magnetita, sericita y apatito.

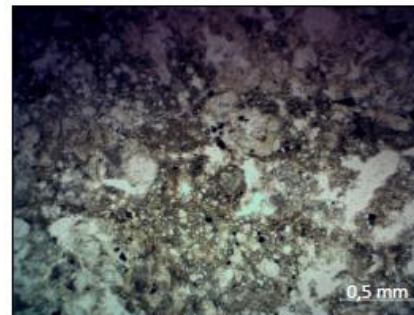
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Xenomórfica, se observan varios fantasmas y otras uralitizadas. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,01*0,015 mm.	5%
Olivino	Xenomórfico, abunda la textura en malla. Presenta alteraciones a iddingsita y serpentina. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,02*0,015 mm.	10%
Matriz	Compuesta por olivino, augita, plagioclasa, ceolitas y calcedonia.	40%
Ceolitas	Rellenando vesículas, con dimensiones de hasta 0,01*0,005 mm.	5%
Vetillas	Rellenas de calcedonia y ceolitas. Con dimensiones máximas de 0,01 mm * 2 cm.	2%
Calcedonia	Se observa sutituyendo minerales fantasmas, así como rellenando vesículas	3%
Óxidos de hierro	Tonos rojizos, disperso en la sección delgada.	10%
Arcillas	Color marrón, dispersa en la sección delgada.	25%
Accesorios	Magnetita, sericita y apatito	>1%

Nombre de la roca	Basalto silicificado
-------------------	----------------------

Vista general de la sección delgada (Nícoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nícoles paralelos).

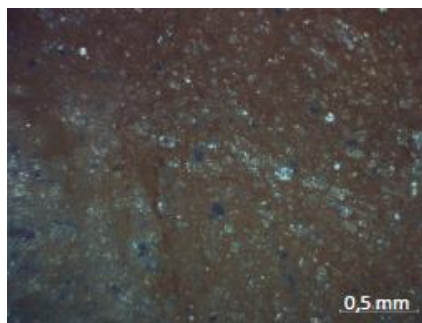


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

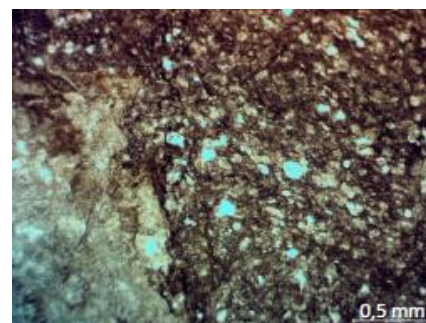
Muestra	M-Tama-2	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	339300	
Y (LN)	255600	

<b>Descripción macroscópica</b>		
Roca de grano fino color rojo ocre y cemento silíceo. Se observan algunos sectores rellenos de sílice.		
<b>Descripción microscópica</b>		
Textura de grano fino compuesta por radiolarios (15%), óxidos de hierro (30%), vetillas rellenas de óxidos de hierro (5%), vesículas rellenas (10%) de ceolitas y calcedonia; en una matriz de cemento silíceo compuesto por calcedonia (40%). Y algunos opacos como minerales accesorio.		
<b>Componentes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>
Radiolarios	Poseen dimensiones promedio de 0,01 mm de diámetro.	15%
Óxidos de hierro	Color rojo ocre, presentes en el cemento	30%
Vetillas	Rellenas de óxido de hierro, con dimensiones máximas de 0,01 mm * 2,5 cm.	5%
Vesículas	De morfología irregular, rellenas por ceolitas y calcedonia.	10%
Cemento	De composición silíceo, compuesto por calcedonia.	40%
Opacos	Dispersos en la sección delgada.	>1%
<b>Observaciones</b>		
Su génesis se debe a la cementación de depósitos silíceos de aguas profundas.		
<b>Nombre composicional</b>	Lodolita silícea (Radiolarita)	
<b>Nombre granulométrico Dean et al. (1985)</b>	Barro arcilloso con radiolarios	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).



## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

Muestra	M-Tama-3	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	339635	
Y (LN)	255602	

### Descripción macroscópica

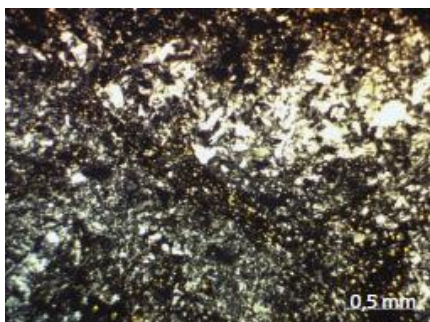
Roca con textura afanítica porfírica, con fenocristales de olivino (7%) y augita (3%) en una matriz microcristalina (75%). Se observan vetillas de sílice (10%), óxidos de hierro (5%) y sectores con reemplazamientos silíceo a posibles plagioclasas (10%). La superficie sana es color gris claro, mientras la superficie alterada es gris verdoso con sectores rojizos.

### Descripción microscópica

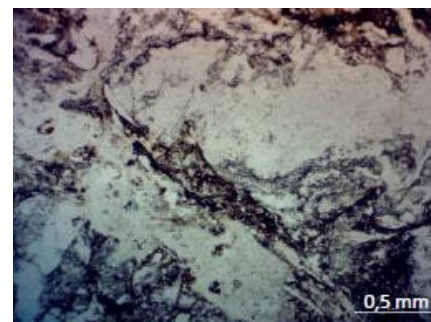
Textura hipocristalina porfírica con fenocristales de augita (5%), olivino (5%) y calcedonia (20%) en una matriz (50%) compuesta por calcedonia, augita y olivino. Presenta óxidos de hierro (10%), vesículas (>1%) y vetillas (10%) rellenas de calcedonia y ceolitas. Además de opacos, sericita y apatito como minerales accesorio.

Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Xenomórfico, algunos se encuentran uralitizados. Posee un diámetro promedio de 0,005 mm.	5%
Olivino	Xenomórfico, abunda la textura en malla y los fantasmas. Presenta alteraciones a iddingsita y serpentina. Posee un diámetro promedio de 0,015 mm.	5%
Matriz	Compuesta por calcedonia, augita y olivino.	50%
Óxidos de hierro	Color rojizo, se observa disperso en la sección y relleno algunas vetillas.	10%
Vetillas	Rellenas de calcedonia en su mayoría, otras rellenas con óxidos de hierro.	10%
Vesículas	Irregulares y rellenas de calcedonia y ceolitas.	>1%
Calcedonia	Se observa sustituyendo fantasmas de olivino.	20%
Accesorios	Opacos, sericita y apatito.	>1%
Nombre de la roca	Basalto silicificado	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).

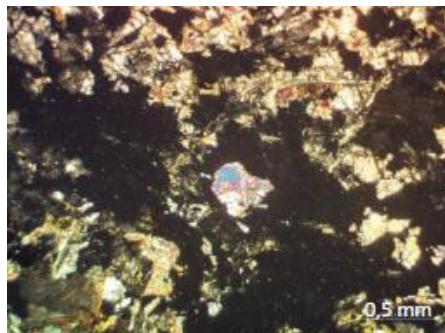


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

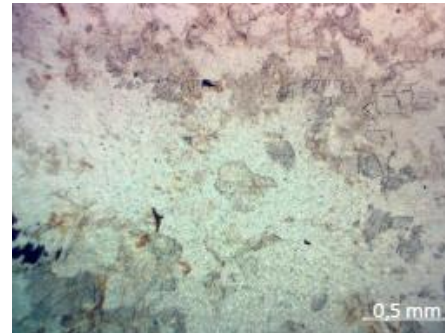
Muestra	M-Tama-4	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	340031	
Y (LN)	256798	

Descripción macroscópica		
Roca con textura fanerítica granular de color verde pardo, con cristales de augita (25%), plagioclasa (35%) y olivino (5%). Presenta óxidos de hierro (10%), arcillas (15%) y vetillas (10%) rellenas de sílice. Además de magnetita como mineral accesorio. Tiene una superficie de alteración de tono amarillento debido a los óxidos de hierro.		
Descripción microscópica		
Textura holocristalina glomeroporfirítica seriada y textura ofítica. Tiene fenocristales de augita (30%), olivino (5%) y plagioclasa (40%). Además de óxidos de hierro (3%) y vetillas (7%) rellenas de calcedonia, también se observa la calcedonia (15%) sustituyendo los fantasmas de plagioclasa presentes. Como minerales accesorio arcilla, magnetita, sericita y apatito.		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Xenomórfica, algunas se encuentran uralitizadas. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,1*0,15 mm.	30%
Olivino	Hipidiomórfico, con dimensiones de hasta 0,05*0,043 mm.	5%
Vetillas	Rellenas de calcedonia, con dimensiones máximas de 0,075 mm * 1,5 cm.	7%
Plagioclasa	Hipidiomórfica, corroidas en su mayoría. Presentan maclas polisintéticas y tipo Karlsbad. También se observan fantasmas. Presentan dimensiones de hasta 0,175*0,0375 mm.	40%
Calcedonia	Sustituyendo los fantasmas de plagioclasa presentes.	15%
Óxidos de hierro	Tono rojizo, disperso en la sección delgada.	3%
Accesorios	Arcilla, magnetita, sericita y apatito.	>1%
<b>Nombre de la roca</b>	Diabasa silicificada	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



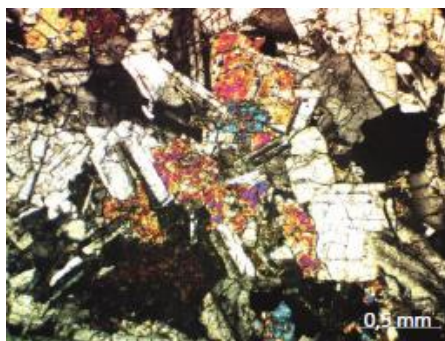
Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).



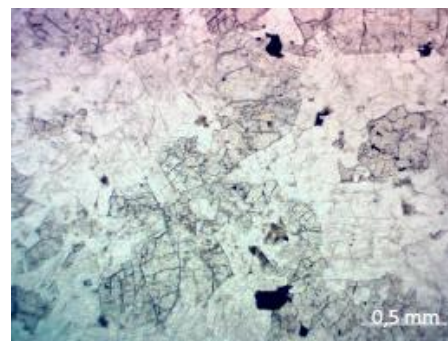
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		
Muestra	M-Tama-5	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	340031	
Y (LN)	256798	

Descripción macroscópica		
Roca textura fanerítica porfírica, con cristales de augita (30%), plagioclasa (40%), olivino (10%) y magnetita (5%). También tiene vetillas rellenas de sílice (10%), óxidos de hierro (3%) y arcillas (2%). La superficie sana es de color gris claro, mientras que la superficie alterada es color gris verdoso con sectores amarillentos.		
Descripción microscópica		
Textura holocristalina glomeroporfírica con textura ofítica y fenocristales de augita (35%), olivino (3%) y plagioclasa (45%). Se observan minerales de alteración como clorita parda (3%) y arcillas (7%), también hay vetillas rellenas de calcedonia (7%). Y magnetita, óxido de hierro, apatito y sericita como minerales accesorio.		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Hipidiomórfica, algunas veces se observa corroída y cloritizada. Tiene dimensiones de hasta 0,1*0,15 mm.	35%
Olivino	Hipidiomórfico, con dimensiones promedio de 0,05*0,043 mm.	3%
Vetillas	Rellenas de calcedonia, con dimensiones máximas de 0,0125 mm*2,5 cm.	7%
Plagioclasa	Hipidiomórfica, con maclas polisintéticas y tipo Karlsbad. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,025*0,1 mm.	45%
Clorita parda	Textura fibrosa, dispersa en la sección delgada. Con dimensiones de hasta 0,025*0,038 mm.	3%
Arcillas	Marrón, dispersas en la sección delgada.	7%
Accesorios	Magnetita, óxidos de hierro, apatito y sericita.	>1%
Nombre de la roca	Diabasa	

Vista general de la sección delgada (Nícoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nícoles paralelos).



## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

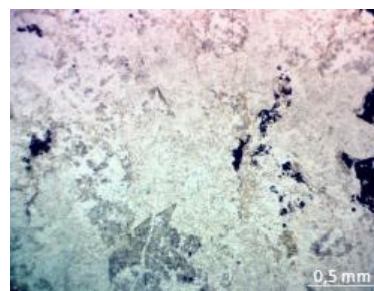
Muestra	M-Tama-6	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	340488	
Y (LN)	258400	

Descripción macroscópica		
Roca con textura fanerítica granular color gris verdoso, con cristales de augita (35%), olivino (5%), plagioclasa (40%), hornblenda (5%) y magnetita (5%). También presenta óxidos de hierro (5%) y vetillas rellenas de calcedonia (5%). Como minerales accesorio se observan arcillas. En superficie alterada tiene un color verde oscuro con sectores amarillentos.		
Descripción microscópica		
Textura holocristalina porfírica con fenocristales de augita (20%), olivino (3%), plagioclasa (25%) y hornblenda verde (5%). Presenta vetillas rellenas de calcedonia (4%), óxidos de hierro (3%), arcillas (5%) y calcedonia (35%). Además de magnetita, sericita y apatito como minerales accesorio.		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Xenomórfica, corroída y algunos fantasmas. Presenta alteración a clorita parda y uralita. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,625*0,1 mm.	20%
Olivino	Xenomórfico, algunos fantasmas y con bordes de opacita.	3%
Plagioclasa	Xenomórfica, la mayoría se encuentran corroídas. Poseen maclas polisintéticas y tipo Karlsbad. Se observan fantasmas rellenos de calcedonia. Tienen dimensiones máximas de 0,025*0,075 mm.	25%
Hornblenda verde	Xenomórfica, con dimensiones de hasta 0,05*0,075 mm.	5%
Vetillas	Rellenas de calcedonia y ceolitas, con dimensiones de hasta 0,0125 mm * 3 cm.	4%
Calcedonia	Sustituyendo los fantasmas de plagioclasa, augita y olivino.	35%
Óxidos de hierro	Se observa diseminado, relleno de vetillas y en los bordes del olivino.	3%
Arcillas	Color marrón, dispersas en la sección delgada.	5%
Accesorios	Magnetita, sericita y apatito.	>1%
<b>Observaciones</b>		
Se utilizó la clasificación de rocas gabroicas cuyos componentes son plagioclasa, piroxeno y hornblenda según Le Bas y Streckeisen (1991).		
Nombre de la roca	Gabronita piroxeno hornbléndica silicificada	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).

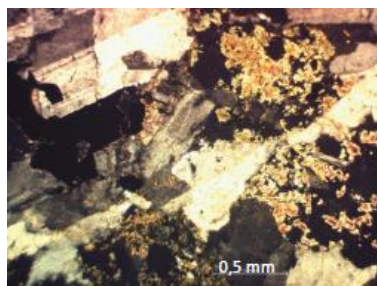


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

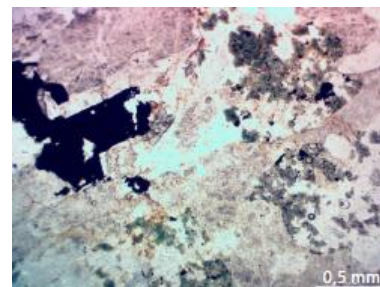
Muestra	M-Tama-7	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	342873	
Y (LN)	263452	

<b>Descripción macroscópica</b>		
Roca con textura fanerítica porfírica, color amarillo blanquesino. Con cristales de hornblenda (25%), augita (15%), plagioclasa (45%) y magnetita (5%). La muestra presenta óxidos de hierro (5%) y vetillas (5%) rellenas de sílice y magnetita. En la superficie alterada presenta sectores de color amarillo pardo.		
<b>Descripción microscópica</b>		
Textura holocristalina con fenocristales de augita (15%), hornblenda verde (10%) y plagioclasa (20%). Se observan vetillas rellenas de calcedonia (3%) y calcedonia sustituyendo minerales fantasmas (35%), además de óxidos de hierro (7%), arcillas (10%), magnetita, sericita y apatito como minerales accesorio.		
<b>Componentes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje</b>
Augita	Xenomórfica y corroída en su mayoría, también se observan fantasmas. Presenta alteraciones a clorita parda y uralita. Con dimensiones promedio de 0,0875*0,1 mm.	15%
Hornblenda verde	Xenomórfica y corroída en su mayoría, también se observan fantasmas. Con dimensiones de hasta 0,175*0,25 mm.	10%
Plagioclasa	Hipidiomórfica, la mayoría se encuentran corroídas, con maclas polisintéticas y tipo Karlsbad. También se observan fantasmas. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,05*0,25 mm.	20%
Vetillas	Rellenas de calcedonia, con dimensiones máximas de 0,0375 mm * 3,5 cm.	3%
Calcedonia	Sustituye los fantasmas de plagioclasa, augita y hornblenda verde.	35%
Óxidos de hierro	Tono rojizo, dispersos en la sección delgada.	7%
Arcillas	Color marrón, dispersas en la sección delgada.	10%
Accesorios	Magnetita, sericita y apatito.	>1%
<b>Observaciones</b>		
Se utilizó la clasificación de rocas gabroicas cuyos componentes son plagioclasa, piroxeno y hornblenda según Le Bas y Streckeisen (1991).		
<b>Nombre de la roca</b>	Gabronorita piroxeno hornbléndica silicificada	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).

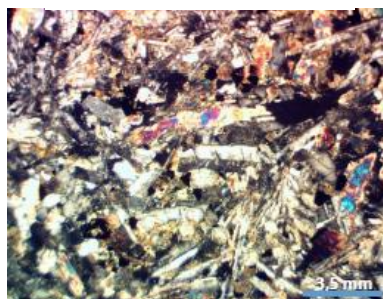


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

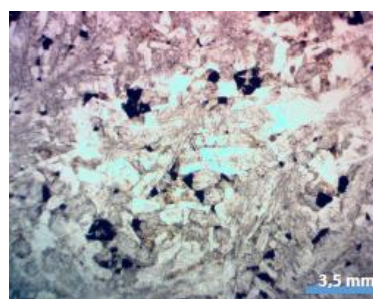
<b>Muestra</b>	M-Tama-8	
<b>Procedencia</b>	Tamarindo	
<b>X (LN)</b>	337782	
<b>Y (LN)</b>	262853	

Descripción macroscópica		
Roca con textura afanítica porfírica, color gris oscuro con pátina de tono amarillento. Presenta cristales de augita (30%), plagioclasa (25%) y vetillas (5%) rellenas de sílice. Se observan vesículas vacías en un 5% y vetillas rellenas de sílice (1%). La matriz es microcristalina de color gris.		
Descripción microscópica		
Textura intergranular compuesta por fenocristales de augita (47%), plagioclasa (40%) y magnetita (5%), también presenta vesículas (3%) y algunas vetillas (5%) rellenas de calcedonia.		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Hipidiomórfica a xenomórfica en su mayoría, con dimensiones de 0,03 * 0,0175 mm.	47%
Plagioclasa	Hipidiomórfica con dimensiones máximas de 0,075 * 0,0175 mm. Presentan maclas de Karlsbad y polisintéticas.	40%
Magnetita	Presentan hábito geométrico en su mayoría con dimensiones de 0,0125 mm de diámetro.	5%
Vesículas	Redondeadas a subsféricas, con dimensiones promedio de 0,0125 mm de diámetro.	3%
Vetillas	Rellenas de calcedonia, con dimensiones de 0,005 mm * 3,5 cm.	5%
Observaciones		
Abunda textura fluidal, similar a la textura espinifex pero con estructuras compuestas por augita y plagioclasa, indicando un enfriado rápido de los cristales que se encontraban a altas temperaturas.		
<b>Nombre de la roca</b>	Basalto calcoalcalino rico en Al (Le Bas y Strekeisen, 1991)	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).

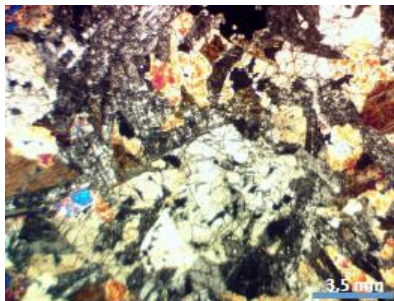


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

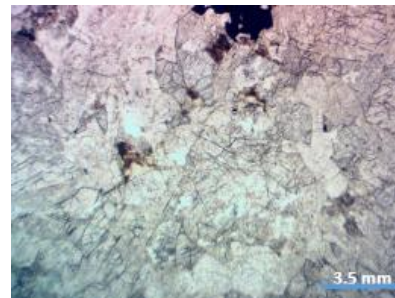
Muestra	M-Tama-9	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	335550	
Y (LN)	260965	

Descripción macroscópica		
Roca con textura afanítica porfírica, color gris claro con pátina de óxido de hierro. Con cristales de augita (15%), plagioclasa (10%) y olivino (5%). La muestra presenta vetillas (10%) rellenas de sílice. La matriz es microcristalina de color gris.		
Descripción microscópica		
Textura holocristalina seriada con textura ofítica. Se encuentra conformada por fenocristales de augita (25%), plagioclasa (15%) y olivino (10%). Se observa abundantes cristales de calcedonia sustituyendo fantasmas de plagioclasa y augita. Además de vetillas (3%) rellenas de calcedonia, óxidos de hierro (3%), arcillas (3%) y ceolitas (1%). Como minerales accesorio hay opacos, sericita y apatito.		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Calcedonia	De textura granular, se encuentra sustituyendo fantasmas de plagioclasa y augita.	40%
Augita	Hipidiomórfica a xenomórfica y corroída en su mayoría, también se observan fantasmas. Presenta textura ofítica. Con dimensiones máximas de 0,00625*0,125 mm.	25%
Plagioclasa	Hipidiomórfica, la mayoría presentan textura cribosa, con maclas polisintéticas y tipo Karlsbad. También se observan fantasmas. Sus dimensiones promedio corresponden con 0,05*0,25 mm.	15%
Olivino	Hipidiomórfico, en ocasiones se observa textura en malla y alteración a serpentina y a iddingsita. Poseen un tamaño promedio de 0,0325 mm de diámetro.	10%
Vetillas	Presentan dimensiones hasta de 2,5 cm * 0,0375 mm rellenas de calcedonia.	3%
Oxidos de hierro	Tono rojizo, dispersos en la sección delgada.	3%
Arcillas	Color marrón, dispersas en la sección delgada.	3%
Ceolitas	Se encuentran rellenas algunas de las vetillas, con dimensiones hasta de 3,5 cm *0,025 mm.	1
Accesorios	Opacos, sericita y apatito.	>1%
Nombre de la roca	Diabasa silicificada.	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).

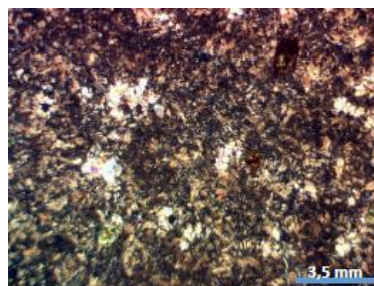


## DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

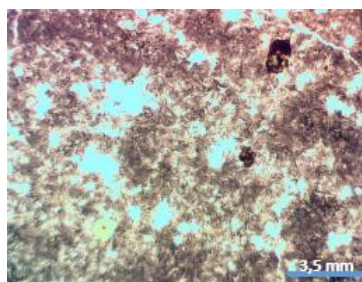
Muestra	M-Tama-10	
Procedencia	Tamarindo	
X (LN)	336635	
Y (LN)	259266	

<b>Descripción macroscópica</b>		
Roca con textura afanítica porfírica, color gris con pátina compuesta principalmente por óxidos de hierro color rojizo. Con cristales de augita (5%) y olivino (5%). La muestra presenta fracturas rellenas de sílice, óxidos de hierro y otras sin ningún relleno. La matriz es vítrea de color gris claro		
<b>Descripción microscópica</b>		
Textura hipocristalina porfírica con fenocristales de augita (3%) y olivino (5%), en una matriz (75%) compuesta de olivino, plagioclasa, augita y vidrio volcánico. Además de vetillas rellenas de calcedonia (5%) y otras de óxidos de hierro (3%); así como vesículas sin rellenar (1%) y otras rellenas de calcedonia (1%).		
Componentes	Descripción	Porcentaje
Augita	Fenocristales hipidiomórficos en su mayoría, con dimensiones promedio de 0,025*0,0375.	3%
Olivino	Hipidiomórfico, la mayoría se encuentran iddingsitizados y otros alterados a nontronita. Con dimensiones de hasta 0,0125*0,015 mm.	5%
Matriz	Se encuentra compuesta por olivino serpentizado con textura en malla, plagioclasa, augita y vidrio volcánico.	75%
Vetillas	Rellenas de calcedonia en su mayoría, con dimensiones máximas de 0,0375 mm * 3,5 cm.	5%
Vesículas	Alargadas y sin relleno en su mayoría. Con dimensiones hasta de 0,05*0,125 mm.	1%
Calcedonia	De textura granular y se encuentra rellenando algunas de las vesículas.	1%
Óxidos de hierro	De tono rojizo, se encuentra rellenando algunas de las vetillas.	3%
Arcillas	Color marrón dispersa en la sección delgada.	7
Accesorios	Opacos, sericita y apatito.	>1%
<b>Observaciones</b>		
<b>Nombre de la roca</b>	Basalto calcoalcalino rico en Al (Le Bas y Strekeisen, 1991)	

Vista general de la sección delgada (Nicoles cruzados).



Vista general de la sección delgada (Nicoles paralelos).



**13.2ANEXO 2.** *Cuadro resumen de los pozos de la base de datos del SENARA.*

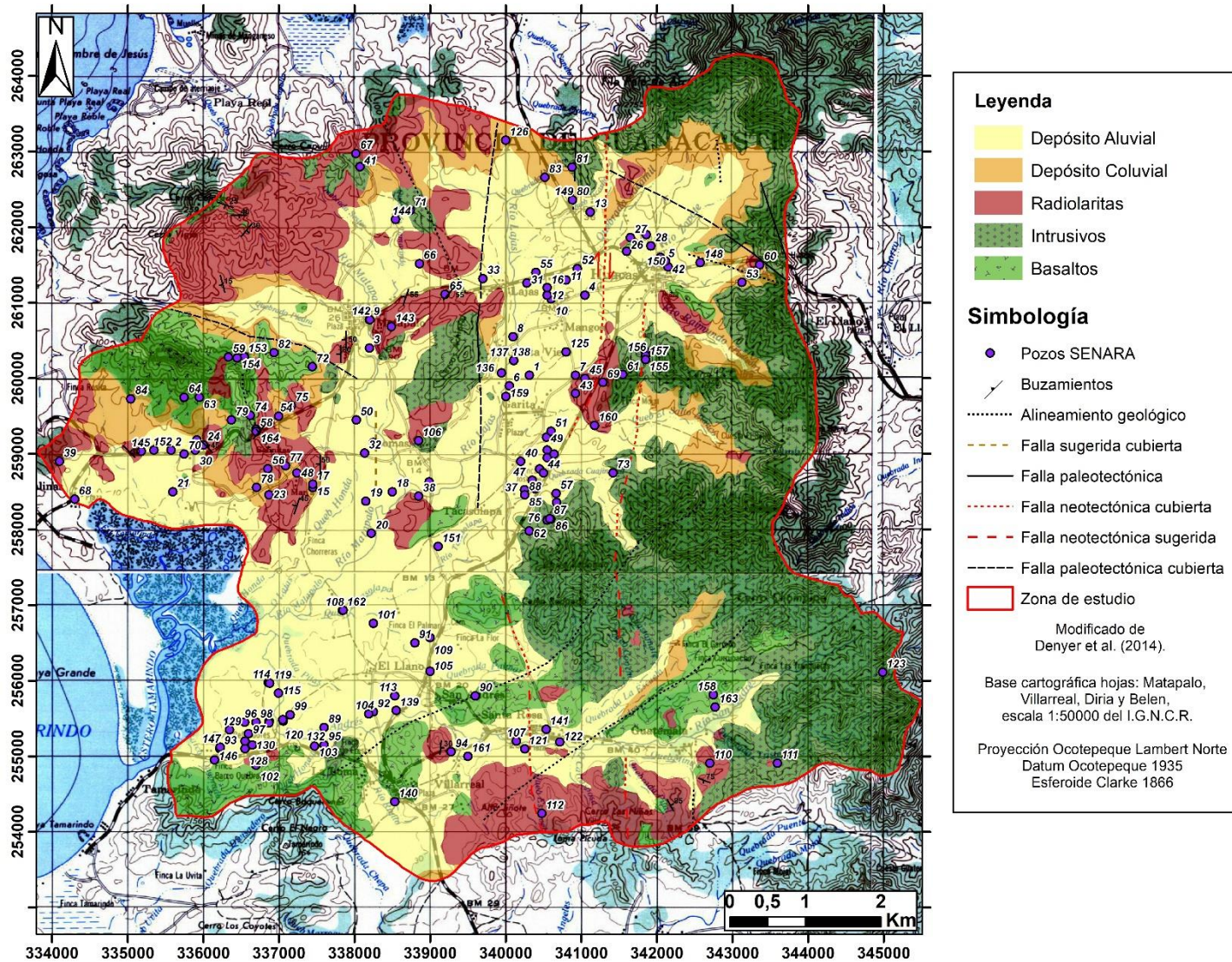
N. Pozo	N. SENARA	Uso	Norte	Este	Litología	Rejilla (m)	Acuífero	Profundidad (m)	Diametro armado (m)	Nivel estático (m)	Nivel dinámico	Caudal L/s	Tiempo prueba de bombeo (min)	Trasmisividad (m2/d)	Observaciones
1	INV-41	Doméstico	259286	341599	SD	SD	SD	15	0,15	1,4	3,53	3	720	72,5	Datos de prueba de bombeo, Pertenece a la Sociedad de Usuarios de agua de El Mojal
2	INV-90	Abastecimiento público	260042	340315	0-12 suelo arcilloso, 12-14 lavas, 14-16 tobas, 16-20 tobas y lavas intercaladas, 20-27 lavas densas oscuras, 27-31 tobas café densas	19-28	Bas-rad	31	0,20	5,6	14,28	2,53	SD	SD	04-20 AyA, ubicado en La Garita
3	INV-91	Abastecimiento público	259050	335575	0-3 suelo arcilloso, 3-10 radiolitas fracturadas, 10-15 lavas densas, 15-18 lavas fracturadas	10-16	Rad-bas	18	0,25	8,4	15,25	1	120	SD	Pertenece a la ASADA de Playa Grande, AyA 04-22
4	15-01 AyA	Infuctuoso	256517	337974	0-3 arcillas café, 3-6 arcilla con clastos basálticos, 6-9 lavas meteorizadas, 9-10 lavas sanas	SD	Basaltos	10	SD	SD	SD	SD	SD	SD	15-01 AyA, perforación suspendida por condiciones hidrogeológicas desfavorables
5	MTP-16	Doméstico	260400	338200	0-3 suelo, 3-8 arcilla café, 8-10 arcilla con arena, 10-13 radiolarita meteorizada, 13-32 lavas gris verdosa	4-32 (frente formación)	Aluv-rad-bas	32	0,15	4,7	5,49	2,78	480	85	Prueba de bombeo
6	MTP-19	Doméstico	261100	341050	0-1 suelo, 1-15 arcillas con clastos, 15-21 aluvión, 21-26 lavas basálticas	15-24	Aluv-int	26	SD	5	SD	SD	SD	SD	El nivel estático apareció a los 5 m y luego vario a los 6 m
7	MTP-20	Doméstico	261540	342100	0-3 arcillas, 3-7 arenas, 7-30 arenas con clastos lávicos	7-29	Aluvión	30	0,15	4,34	4,53	3,3	2160	SD	SD
8	MTP-21	Doméstico	259900	340050	0-7 arcilla café, 7-15 arena y grava, 15-23 arcilla gris, 23-30 lavas gris	8-16 / 23,5-30,5	Aluv-bas	33,5	0,1	2,12	4,05	6,3	1440	75	SD
9	MTP-62	Turístico y consumo humano	260040	340925	0-13 arcilla y arenas, 13-22 grava y arena, 22-40 lavas	13-34	Aluv-bas	40	0,1	12	25	1,89	SD	SD	SD
10	MTP-70	Abastecimiento público	260550	340100	0-10 arena, 10-40 lavas	4-12	Aluv-bas	40	0,25	2,79	4,65	6,42	1440	SD	De 18-40 se rellenó, perforado por AyA, pertenece a la ASADA de Garita
11	MTP-72	Abastecimiento público	259050	338720	0-9 arcilla, 9-17 aluvión, 17-19 lavas	11-17	Aluv-bas	19	0,25	2,92	11,85	2,2	1500	SD	Perforado por AyA, pertenece a la ASADA de Lomas
12	MTP-73	Infuctuoso	260700	337850	0-3 suelo, 3-5 radiolarita	SD	SD	5	SD	4,72	SD	SD	SD	SD	No se continuó por condiciones desfavorables, perforado por AyA
13	MTP-76	Abastecimiento público	260776	338200	SD	6-11	Radiolaritas	12	0,15	4,6	7,99	7	1440	SD	No se cuenta con litología, perforado por AyA, pertenece a la ASADA de Matapalo
14	MTP-94	Turístico, riego y consumo humano	261050	340600	0-5 arena y grava, 5-8 arcilla con arena, 8-16 arenas con gravas, 16-18 lavas	6-18	Aluv-bas	25	0,25	1,76	4,98	11	480	SD	SD
15	MTP-98	Turístico y riego	261300	340800	0-3 suelo, 3-5 aluvión, 5-29 gravas y arenas, 29-31 lavas	13-22	Aluvión	31	0,16	3,33	9,81	11	1440	1739	SD
16	MTP-99	Turístico y riego	261100	340550	0-2 suelo, 2-4 aluvión, 4-6 arcilla, 6-11 gravas y arenas, 11-16 lavas	7,5-10,5	Aluvión	16	0,38	SD	SD	10	720	1500	SD
17	MTP-105	SD	262200	341120	0-4 limos y arcillas, 4-9 aluvión, 9-20 radiolaritas, 20-25 basaltos	SD	SD	25	0,25	4,18	15,48	1,89	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo
18	MTP-111	Riego	259150	338250	0-4 suelo arenoso, 4-9 aluvión, 9-16 radiolaritas, 16-18 basaltos y gabros	6-17	Aluv-rad-bas	18	0,15	2,65	SD	2,7	720	SD	Sin datos prueba de bombeo
19	MTP-112	Consumo humano y riego	258555	337450	0-2 suelo, 2-10 arena fina, 10-25 arena gruesa (radiolarita), 25-26 lavas basálticas	12-26	Rad-bas	26	0,15	1,5	9	5	4320	32	Prueba de bombeo, acuífero libre
20	MTP-113	Turístico y riego	261200	340550	0-1,5 suelo, 1,5-6,5 aluvión; 6,5-7,5 arcilla; 7,5-17,5 aluvión; 17,5-20 lavas	17-20	Aluv-bas	20	0,25	2,35	4,67	10	1440	3200	SD
21	MTP-115	Consumo humano y riego	258600	337450	0-4 arcilla, 4-7 arena fina, 7-12 arcilla café, 12-18 arena rojiza, 18-23 radiolarita	11-23	Aluv-rad	21	0,15	3,1	20	7	1440	40	SD
22	MTP-116	Riego	258500	338500	0-2,5 arena arcillosa; 2,5-24 arena gruesa	12-24	Radiolaritas	24	0,2	3	3,28	5	270	SD	SD
23	MTP-117	Riego	258375	338150	0-2,5 arena arcillosa; 2,5-24 arena gruesa	12-24	Radiolaritas	24	0,2	3	6	5	240	SD	SD
24	MTP-118	Riego	257950	338225	0-6 arcilla, 6-11 arena rojiza, 11-16 arcilla gris oscura, 16-22 arena fina arcillosa	6-12 y 18-22	Aluvión	22	0,2	3	17	2,5	280	SD	SD
25	MTP-122	Turístico	258500	335600	0-2 suelo, 2-10 aluvión, 10-13 radiolarita meteorizada, 13-14 radiolarita	4-14	Aluv-rad	14	0,1	7,48	12,28	0,15	30	SD	SD
26	MTP-123	Turístico	259000	340640	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27	MTP-133	Turístico	258460	336870	0-2 suelo, 2-10 aluvión, 10-16 radiolarita	4-16	Aluv-rad	16	0,15	3	SD	SD	SD	SD	SD
28	MTP-134	Doméstico y riego	259119	336002	0-4,5 limo con clastos; 4,5-14 lavas basálticas fracturadas; 14-60 lavas basálticas masivas	18-60	Basaltos	60	0,15	6,43	54	0,5	75	0,48	SD
29	MTP-135	Turístico, consumo humano, riego	261900	341860	0-6 aluvión, 6-8 arcilla y arenas, 8-16 arenas finas, 16-18 gravas gruesas, 16-18 radiolaritas	14-18	Aluv-rad	18	0,15	6	13	10	SD	SD	SD
30	MTP-136	Turístico, riego y consumo humano	261680	341600	0-8 aluvión, 8-14 arcillas y arenas, 14-16 gravas gruesas, 16-17 radiolaritas	6-17	Aluv-rad	17	0,15	5,5	12,85	10,6	1440	SD	SD
31	MTP-137	Turístico y consumo humano	261860	341650	0-4 aluvión, 4-8 arcillas y arenas, 8-15 gravas, 15-16 radiolaritas	9-16	Aluv-rad	16	0,15	5,5	SD	10	1440	SD	SD
32	MTP-138	Turístico y consumo humano	261750	341920	0-4 aluvión, 4-10 arcilla y arena, 10-19 aluvión fino	12-19	Aluvión	19	0,15	5,6	12,8	10	1440	SD	SD
33	MTP-139	Doméstico y riego	259184	335917	0-5 Limos arcillosos con clastos, 5-10 lavas basálticas meteorizadas y fracturadas, 10-45 lavas basálticas sanas	10-45	Basaltos	45	0,15	8,6	22,24	0,5	180	17,02	A los 7 m aparece nivel de agua, a los 45 m el nivel baja a los 8,6 m
34	MTP-140	Doméstico y riego	259052	335896	0-6 limo arcilloso con clastos, 6-16 lavas basálticas fracturadas, 16-33 lavas masivas	6-9 y 9-33 (frente formación)	Basaltos	33	0,15	2,18	5,9	1	360	36,9	Nivel a 6 mbns a los 33 m sube a 2,18 mbns; con prueba de bombeo
35	MTP-142	Turístico	261260	340280	0-22 arena fina a gruesa, 22-30 grava gruesa	SD	Aluvión	30	0,15	5,5	10,55	20	720	396	Prueba de bombeo, acuífero libre
36	MTP-144	Riego	259010	338135	0-4,5 suelo; 4,5-17,5 lavas fracturadas; 17,5-27,5 lavas sanas; 27,5-33 lavas fracturadas; 33-51 lavas sanas; 51-80 lavas fracturadas	4,5-80	Basaltos	80	0,3	1,5	SD	7	SD	SD	SD
37	MTP-145	Doméstico	261320	339700	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	-	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
38	MTP-146	Doméstico	259050	340550	0-0,5 suelo; 0,5-7 arenas; 7-9 lavas fracturados	3-9	Aluv-rad	9	0,15	2,5	2,6	1,5	720	SD	SD
39	MTP-147	Doméstico	258950	340550	0-0,5 suelo; 0,5-7,5 arenas; 7,5-16 lavas fracturadas	7-16	Aluv-rad	16	0,15	7	8	3	720	SD	SD
40	MTP-148	Doméstico y riego	258800	340450	0-0,5 suelo; 0,5-7,5 arenas; 7,5-14 lavas fracturadas	5-14	Aluv-int	14	0,25	4	8	5	720	SD	SD

41	MTP-149	Doméstico	258525	340250	0-0,5 suelo; 0,5-7,5 arenas; 7,5-15 lavas fracturadas	5-15	Aluv-rad	15	0,12	5	7	5	1440	SD	SD
42	MTP-159	Doméstico, riego, agropecuario	258440	338850	0-2 suelo, 2-20 aluvión fino	6-20	Aluvión	20	0,12	2	2	3	720	SD	SD
43	MTP-168	Proyecto urbanístico	258900	334100	0-26 radiolaritas, 26-30 lavas	12-30	Rad-bas	30	0,15	5	20	3,5	SD	SD	SD
44	MTP-170	Doméstico, turismo y riego	258900	340200	0-1 suelo, 1-14 arenas, 14-24 lavas meteorizadas, 24-30 lavas sanas	6-30	Aluv-rad	30	0,2	3	3,5	5	1200	SD	SD
45	MTP-176	Doméstico	262800	338075	0-3 suelo arcilloso, 3-7 arena media, 7-10 arcilla, 10-12 arena gruesa, 12-20 arcilla, 20-30 roca café	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo
46	MTP-177	Doméstico	261475	342150	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
47	MTP-181	Doméstico	259800	340925	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
48	MTP-182	SD	258750	340500	0-5 suelo, 5-10 arenas, 10-30 lavas meteorizadas y fracturadas	10-24 y 27-30	Basaltos	30	0,15	7	SD	SD	SD	SD	SD
49	MTP-183	SD	260000	341050	0-3 radiolaritas, 3-8 arenas café, 8-12 lavas fracturadas, 12-20 lavas sanas	8-20	Basaltos	20	0,15	4	SD	SD	SD	SD	SD
50	MTP-184	Doméstico	258540	340390	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
51	MTP-185	Doméstico	258650	340350	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
52	MTP-186	Turístico	258750	337240	0-2 suelo arenoso, 2-12 arenas gruesas, 12-18 radiolaritas	8-18	Aluv-rad	18	0,2	6	12	5	SD	SD	SD
53	MTP-187	Doméstico	259220	340540	0-8 arcillas, 8-11 arenas, 11-20 lavas gris sanas	SD	SD	20	0,15	8	SD	SD	SD	SD	SD
54	MTP-188	Riego	259450	338025	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
55	MTP-191	Doméstico	259300	340600	0-5 arcillas y arenas, 5-10 arenas, 10-20 lavas	10-20	Intrusivos	20	0,15	8	SD	1	SD	SD	SD
56	MTP-193	Doméstico	261450	340950	0-3 arcillas, 3-8 arenas, 8-11 gravas, 11-13 lavas basálticas	8-13	Aluv-bas	13	0,25	6	SD	4	SD	SD	SD
57	MTP-194	Doméstico	261270	343125	0-1 suelo arcilloso, 1-16 materiales basálticos, 16-30 materiales basálticos	12-30	Basaltos	30	SD	8,3	16,2	1	300	SD	SD
58	MTP-196	Varios	259500	337000	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	4	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
59	MTP-198	Varios	261400	340400	SD	SD	SD	18	SD	8	SD	2	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
60	MTP-202	Doméstico y riego	258804	336856	0-8 suelo, 8-15 radiolaritas, 15-21 basaltos meteorizados, 21-100 basaltos sanos	SD	Basaltos	100	SD	49,8	81	1	300	SD	SD
61	MTP-203	Abastecimiento público	258478	340668	SD	SD	SD	50	SD	SD	SD	3	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
62	MTP-206	Doméstico	259155	340430	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
63	MTP-209	Doméstico	261225	338970	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología. Denegado según nota de empresa perforadora
64	MTP-214	Doméstico y riego	259325	336700	0-7 coluvio, 7-12 lavas alteradas, lavas	8-15	Basaltos	15	SD	9	14,5	0,5	480	SD	SD
65	MTP-215	Doméstico y riego	260282	336335	0-1 suelo, 1-6 radiolarita meteorizada, 6-16 radiolarita, 16-20 radiolarita	6-20	Radiolaritas	20	0,12	14	18	0,5	SD	SD	SD
66	MTP-220	Doméstico	261502	343361	0-1 arcillas, 1-5 arcilla roja, 5-21 aluvión, 21-37 lavas	21-37	Basaltos	37	SD	17	SD	0,4	SD	SD	SD
67	MTP-221	Doméstico	260050	341550	0-58 radiolaritas fracturadas, 58-75 lavas basálticas	39-50 y 57-69	Rad-int	75	0,15	26	54,4	1,5	360	SD	SD
68	MTP-223	Doméstico	257981	340313	0-3 coluvio, 3-18 radiolarita, 18-26 lavas basálticas sanas	11-26	Rad-bas	26	0,15	5	19	2,5	360	SD	Nivel aparece a los 5 m, sin prueba de bombeo
69	MTP-224	Doméstico	259750	335950	0-52 radiolaritas, 52-60 lavas basálticas	4-8/22-24/38-42/44-46	Rad-bas	60	0,15	2	SD	1,5	SD	SD	Sin prueba de bombeo, mayor aporte de agua a 20 y 40 m
70	MTP-225	Doméstico	259750	335750	0-30 radiolaritas, 30-46 lavas basálticas	6-12/18-24/27-33/36-42	Rad-bas	46	0,15	2	SD	1,5	SD	SD	Sin prueba de bombeo, mayor aporte de agua a 10 y 40 m
71	MTP-232	Doméstico	261110	339200	0-3 suelo rojizo, 3-7 limos y arcillas, 7-86 lavas y radiolaritas intercaladas	22-86 (frente formación)	Rad-bas	86	0,15	12	43	0,6	120	SD	SD
72	MTP-233	Doméstico	261518	338860	0-9 aluvión fino, 9-30 radiolaritas fracturadas	12-30	Radiolaritas	30	0,15	8	15	2	600	7,2	Con prueba de bombeo, nivel aparece a los 8 m
73	MTP-234	Consumo humano, riego y agropecuario	262975	338021	0-1 suelo, 1-48 radiolaritas, 48-56 lavas basálticas	20-52	Rad-bas	56	0,15	16	SD	1,5	SD	SD	Sin prueba de bombeo, mayor aporte a los 10 y 40 m
74	MTP-245	Abastecimiento público	258400	334300	SD	SD	SD	43	SD	6,23	36,15	9	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología. Perteneciente a la ASADA de Playa Grande
75	MTP-248	Doméstico	259946	341287	0-17 arcilla rojiza, 17-20 radiolaritas fracturadas, 20-57 lavas basálticas y radiolaritas intercaladas y fracturadas	9-45 y 51-57	Rad-bas	57	0,15	16	SD	SD	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni caudal reportado
76	MTP-249	Abastecimiento público	259000	335750	0-3 suelo, 3-10 radiolaritas fracturadas, 10-20 lavas fracturadas	9-18	Rad-bas	20	0,2	5,06	8,75	9	1440	SD	Sin prueba de bombeo, 04-16 AyA, pertenece a la ASADA de Playa Grande
77	MTP-273	Doméstico y riego	262221	338737	0-8 arcillas, 8-15 aluvión, 15-55 radiolaritas	18-55	Aluv-rad	55	SD	8,8	45,7	1	300	SD	Sin datos de prueba de bombeo
78	MTP-285	Doméstico	260153	337444	SD	SD	SD	75	SD	SD	SD	0,4	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
79	MTP-301	Consumo humano y turismo	258750	341420	SD	SD	SD	25	SD	SD	SD	14	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
80	MTP-302	Doméstico	259511	336625	0-2 suelo rojizo, 2-12 limos y arcillas, 12-80 lavas basálticas y radiolaritas intercaladas	18-80 (frente formación)	Rad-bas	80	0,15	13	SD	SD	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni caudal definido
81	MTP-309	Doméstico	259638	337167	0-2 suelo rojizo, 2-10 limos arcillosos, 10-86 lavas basálticas y radiolaritas intercaladas	18-86 (frente formación)	Rad-bas	86	0,15	26	SD	0,6	SD	SD	SD
82	MTP-311	Doméstico	258125	340550	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	1	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología

83	MTP-315	Doméstico	258842	337089	0-1 suelo arcilloso, 1-9 aluvión, 9-19 radiolaritas	7-19	Aluv-rad	19	SD	4,2	SD	1	SD	SD	SD
84	MTP-316	Doméstico	258558	336706	0-1 suelo arcilloso, 1-9 aluvión, 9-20 radiolaritas	8-20	Aluv-rad	20	SD	4,3	SD	1	SD	SD	SD
85	MTP-318	Doméstico y riego	259450	336375	0-65 lavas basálticas fracturadas, 65-90 radiolaritas, 90-140 lavas basálticas	82-88/74-80/86-92/98-104/110-116/122-128/134-137	Rad-bas	140	0,15	4	128	1	180	SD	Sin prueba de bombeo, pozo de 140 m
86	MTP-319	SD	262360	340885	SD	SD	SD	22	0,15	7	14,5	2	240	26,6	Sin prueba de bombeo, ni litología (0-22 aluvión, 22 lavas) inferido
87	MTP-324	Doméstico y riego	262793	340879	0-1 suelo, 1-7 basaltos meteorizados, 7-147 basaltos sanos	123-147	Basaltos	147	0,15	18,4	125	0,8	360	SD	Sin datos de prueba de bombeo
88	MTP-329	Doméstico	260341	336938	0-4 arcilla, 4-10 limos y arcillas rojizas, 10-130 lavas basálticas	18-130 (frente formación)	Basaltos	130	SD	33	SD	4	SD	SD	SD
89	MTP-331	Turístico	262660	340519	0-5 arcillas, 5-46 lavas basálticas fracturadas, 46-60 lavas basálticas sanas	18-24/36-42/54-60	Basaltos	60	0,15	4,6	4,7	3,14	360	2951	Con prueba de bombeo
90	MTP-335	Turismo y agropecuario	259728	335043	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
91	MTP-337	SD	261153	336458	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	pozo seco
92	MTP-338	SD	261297	336572	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
93	MTP-349	Consumo humano	258459	340253	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Lomas, La Josefina, Los Robles
94	MTP-350	Consumo humano	258137	340599	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Lomas, La Josefina, Los Robles
95	MTP-351	Consumo humano	258143	340583	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Lomas, La Josefina, Los Robles
96	MTP-352	Consumo humano	258459	340253	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Lomas, La Josefina, Los Robles
97	MTP-355	Consumo humano	261652	341432	SD	SD	SD	4,5	SD	1,35	SD	SD	SD	SD	SD
98	VI-3	Abrevadero	255382	337600	SD	SD	SD	36	SD	2,38	9,45	6,3	SD	29,4	Sin litología
99	VI-11	Abrevadero	255800	339600	0-14 radiolarita, 14-16 lavas basálticas	SD	SD	16	0,15	5,18	5,36	2,36	240	SD	Sin armado
100	VI-12	Abrevadero	256500	338800	0-15 radiolarita	SD	Radiolaritas	15	0,15	3,7	3,95	2,36	120	1509	Sin armado
101	VI-17	Abastecimiento público	255588	338250	0-2 arcilla café, 2-11 aluvión, 11-22 lavas	7,5-11	Aluvión	22	0,15	3,72	6,87	3,5	1500	43	Prueba de bombeo, perforado por AyA
102	VI-18	Abastecimiento público	255150	340310	SD	7,5-11	Radiolaritas	31	0,15	5,31	10,18	10	1200	SD	Prueba de bombeo, perforado por AyA
103	VI-20	Abastecimiento público	255100	336222	0-1 arcillas, 1-14 arenas y gravas, 14-28 lavas basálticas	8-16 y 21-30	Aluv-bas	32	0,2	5,64	5,93	6,3	1440	1110	Prueba de bombeo, perforado por AyA
104	VI-53	Riego	255060	339280	0-20 radiolaritas, 20-30 lavas	15-30	Rad-bas	30	0,15	3	10	3,15	240	SD	SD
105	VI-56	Turístico	255150	337600	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,75	SD	SD	SD
106	VI-62	Doméstico	255450	336550	0-3 arcillas, 3-6 arenas, 6-15 lavas	3-15	Aluv-bas	15	0,2	3	SD	8	SD	SD	Sin prueba de bombeo, caudal estimado con prueba con compresor de aire
107	VI-63	Abastecimiento público	255300	336600	0-1 suelo, 1-5 coluvio, 5-15 lavas basálticas	4-15	Aluv-bas	15	0,15	3,1	SD	SD	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni caudal definido, ASADA de Tamarindo
108	VI-64	Abastecimiento público	255450	336700	0-1 suelo, 1-15 lavas basálticas	4-15	Basaltos	15	0,15	3,1	SD	SD	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni caudal definido, ASADA de Tamarindo
109	VI-67	Riego, consumo humano y turismo	255550	337150	0-6 suelo, 6-9 aluvión, 9-11 limos, 13-16 aluvión, 16-26 lavas fracturadas, 26-30 lavas sanas	7-9 y 14-26	Aluv-bas	30	0,2	1,8	5,83	2	720	237	Sin prueba de bombeo
110	VI-92	sin uso	256002	336550	0-1 suelo, 1-17 aluvión, 17-25 lavas	5-25	Aluv-bas	25	0,2	2	2	8	SD	SD	Sin prueba de bombeo, pozo AyA Guanacaste, fuera de operación, VI-238 Red de monitoreo
111	VI-93	Riego, doméstico y turístico	255275	337500	0-1,5 suelo: 1,5-14 aluvión; 14-25 lavas	3-20	Aluv-bas	25	0,25	3	4	8	720	SD	SD
112	VI-94	sin uso	255802	337246	0-1,6 suelo; 1,6-12 arenas; 12-28 material fracturado (radiolaritas); 28-35 lavas	10-35	Aluv-rad-bas	35	0,2	3	4	8	SD	SD	SD
113	VI-101	Doméstico	256760	338250	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
114	VI-102	Riego, consumo humano y turismo	254880	336700	SD	4-29	SD	29	0,2	1,5	2,96	3,5	480	196	SD
115	VI-113	Riego, consumo humano y turismo	255133	337475	SD	SD	SD	SD	SD	2,15	2,55	6,3	480	500	SD
116	VI-115	Abastecimiento público	256552	338174	SD	SD	SD	SD	SD	2,9	6,01	19,5	960	4893	Sin prueba de bombeo, pozo #2 ASADA Villareal
117	VI-117	Doméstico	256125	339000	0-2 suelo, 2-3 arcillas, 3-10 arcillas arenosas, 10-15 aluvión, 15-26 radiolaritas, 26-30 lavas basálticas	6-30	Aluv-rad-bas	30	0,2	2,5	SD	8	SD	SD	SD
118	VI-118	Doméstico	259175	338850	0-2 suelo, 2-5 arcillas arenosas, 5-13 aluvión grueso, 13-27 radiolaritas, 27-30 lavas basálticas	6-30	Aluv-rad-bas	30	0,2	3	SD	8	SD	SD	SD
119	VI-142	Abastecimiento público	255200	340141	0-6 arcillas rojizas, 6-38 arenas gruesas oscuras y densas (radiolaritas)	11-26	Radiolaritas	38	0,2	5,3	8,84	10,5	240	SD	Sin prueba de bombeo, 99-010 AyA, pertenece a la ASADA de Santa Rosa
120	VI-145	Abastecimiento público	256928	337844	0-4 arcillas, 4-7 aluvión, 7-17 radiolarita, 17-24 lavas fracturadas	5-20	Aluv-rad-bas	24	0,25	1,6	4,84	12	1200	1070	Prueba de bombeo, pozo ASADA de Tamarindo
121	VI-149	Doméstico y riego	256570	339000	SD	SD	SD	30	SD	SD	SD	2	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología

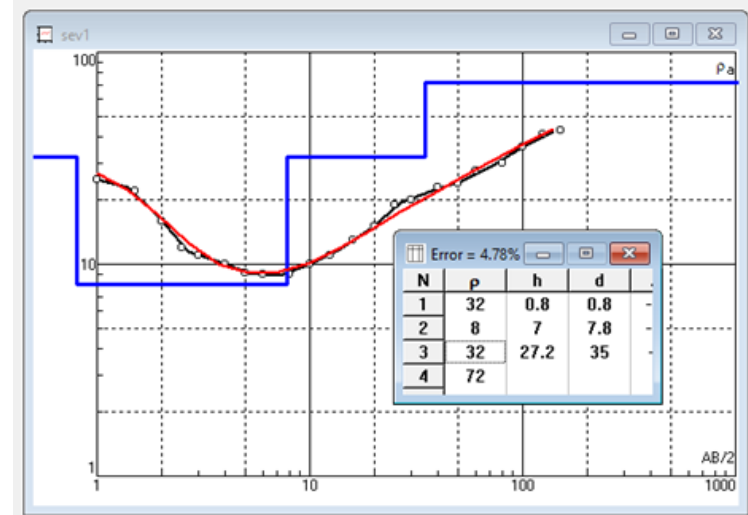
122	VI-171	Doméstico y riego	254910	342700	SD	SD	SD	40	SD	SD	SD	1	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
123	VI-175	Doméstico y riego	254910	343595	SD	SD	SD	40	SD	SD	SD	1	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
124	VI-183	Varios	254244	340479	SD	SD	SD	50	SD	SD	SD	2	SD	SD	Sin datos de prueba de bombeo, ni litología
125	VI-214	Abastecimiento público	255800	338534	0-4 arcilla, 4-35 radiolaritas	SD	Radiolaritas	35	0,15	1,69	13,09	7,8	720	124	Sin datos de prueba de bombeo, ASADA de Tamaindo
126	VI-218	Abastecimiento público	255974	336860	0-5 arcillas, 5-18 aluvión	8-17	Aluvión	18	0,25	4,45	9,62	1,5	720	SD	Virgilio 2, prueba de bombeo 12-14
127	VI-219	Abastecimiento público	255836	336997	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	2,85	SD	SD	3 Papaturre
128	VI-220	Abastecimiento público	255465	336874	0-1 suelo arcilloso, 1-3 arcilla arenosa, 3-9 arena limosa café, 9-13 arena media, 13-22 arena gruesa verdosa	9-18	Aluvión	22	0,20	5,55	7,42	1,6	1200	SD	4 Pochote, AyA INV-165
129	VI-221	Abastecimiento público	255467	337061	0-6 arcillas negras, 6-27 arenas y gravas, 27-30 lavas meteorizadas	18-27	Aluvión	30	0,20	3,12	13,63	1,5	1200	SD	5 Albin, AyA pozo 13-27
130	VI-224	Abastecimiento público	255442	336872	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Pochote 4B, AyA
131	VI-225	Abastecimiento público	255966	336879	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	3,78	SD	SD	Virgilio 2B, AyA
132	VI-226	Abastecimiento público	255485	337055	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	3,6	SD	SD	Albin 2, AyA
133	VI-230	Abastecimiento público	255354	340321	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Colacho, Asada Santa Rosa
134	VI-231	Abastecimiento público	255096	340255	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Black Starlin, Asada Santa Rosa
135	VI-232	Abastecimiento público	255212	340038	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	Viejo redonde, Asada Santa Rosa
136	VI-236	Abastecimiento público	255267	340939	SD	SD	SD	SD	SD	3,6	SD	SD	SD	SD	Seabees
137	VI-233	Abastecimiento público	255188	340718	SD	SD	SD	11	SD	3,58	SD	SD	SD	SD	La Tebita, Asada Santa Rosa
138	DI-205	Doméstico	256112	344988	SD	SD	SD	105	SD	SD	SD	0,4	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
139	ILG-46	Doméstico	261600	342050	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,5	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
140	ILG-81	Varios	260350	340800	SD	SD	SD	30	SD	SD	SD	4	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
141	ILG-698	Riego y turismo	263150	340000	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	5	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
142	ILG-776	Abastecimiento público	255200	336555	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	6	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología. Pertenecce al AyA
143	ILG-777	Abastecimiento público	255100	336555	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	10	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología. Pertenecce al AyA, VI-116
144	ILG-778	Abastecimiento público	255350	336350	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	4	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología. Pertenecce al AyA
145	ILG-779	Abastecimiento público	255150	336650	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	3	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología. Pertenecce al AyA
146	ILG-836	Turístico	259000	340640	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	1,1	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología
147	ILG-842	Turístico	255150	337600	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0,75	SD	SD	Sin prueba de bombeo, ni litología

SD = Sin dato

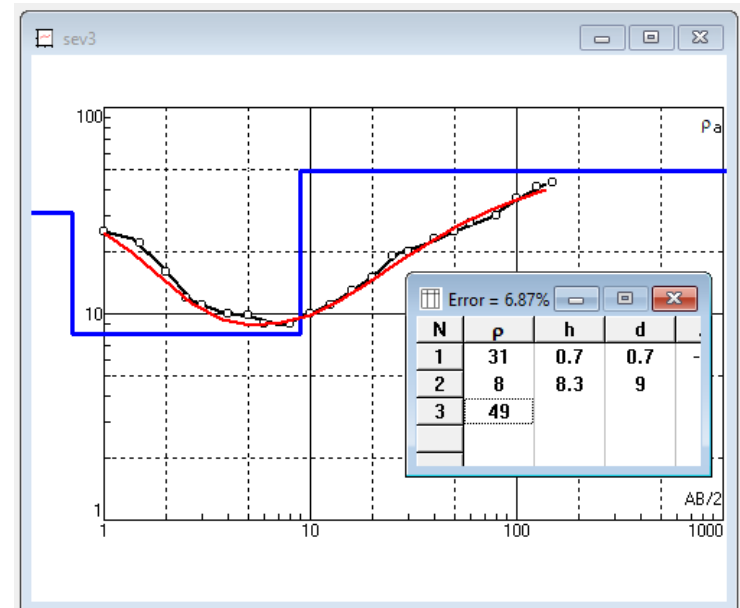


### **13.3 ANEXO 3. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).**

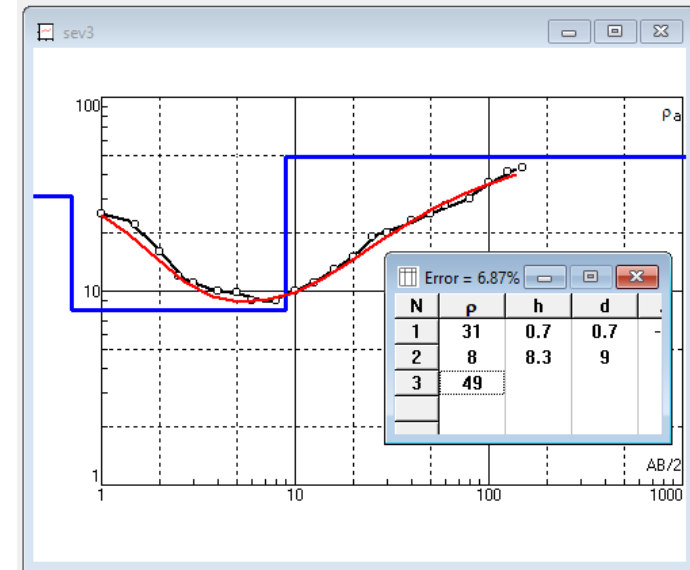
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 1			
Ubicación		255235 N	340494 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	32	0,8	Suelo residual
2	8	7,8	Aluvión fino arcilloso
3	32	35	Radiolarita fracturada y saturada
4	72	-	Radiolarita



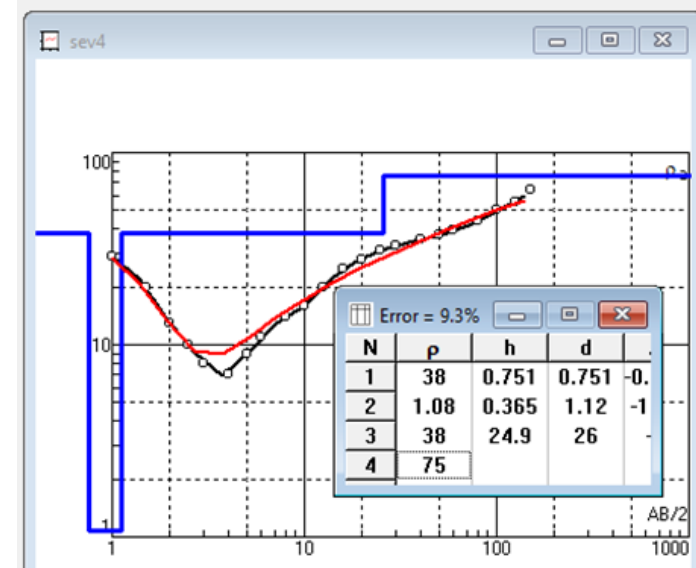
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 2			
Ubicación		255165 N	339615 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	12	0,6	Suelo residual
2	27	1,5	Aluvión
3	8	5	Aluvión fino arcilloso
4	46	12	Radiolarita
5	57	-	Radiolarita



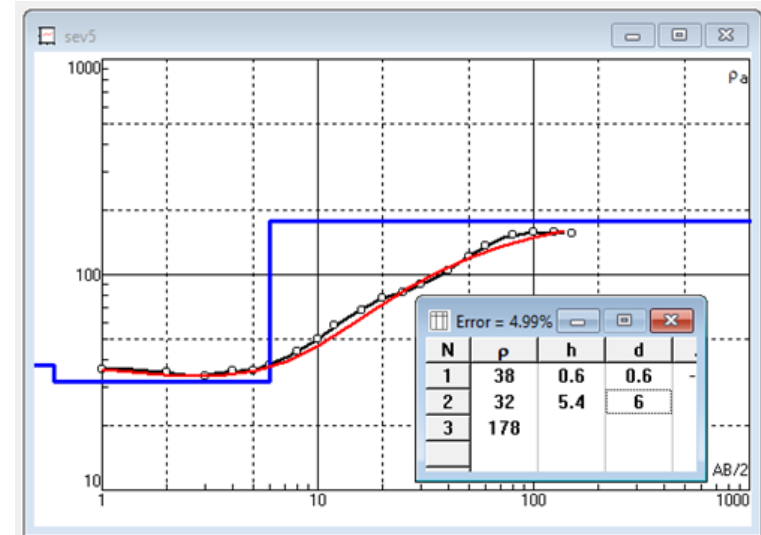
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 3			
Ubicación		255494 N	336786 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	31	0,7	Suelo residual
2	8	9	Aluvión fino arcilloso
3	49	-	Radiolarita



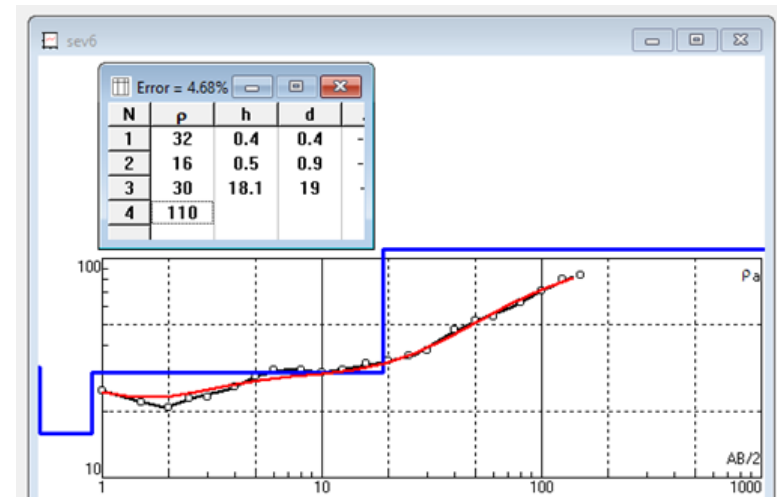
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 4			
Ubicación		257485 N	339130 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	38	0,75	Suelo residual grueso
2	1,08	1,1	Suelo residual arcilloso
3	38	26	Radiolarita fracturada y saturada
4	75	-	Basalto



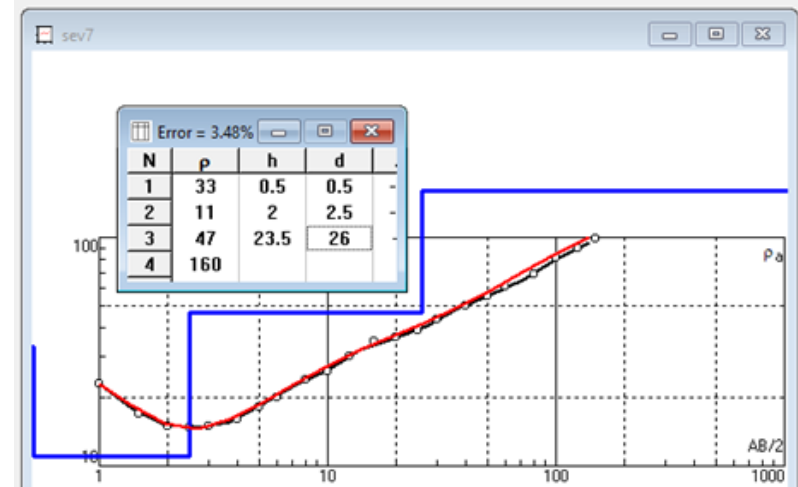
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 5			
Ubicación		256708 N	337927 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	38	0,6	Suelo residual
2	32	6	Aluvión
3	178	-	Basalto



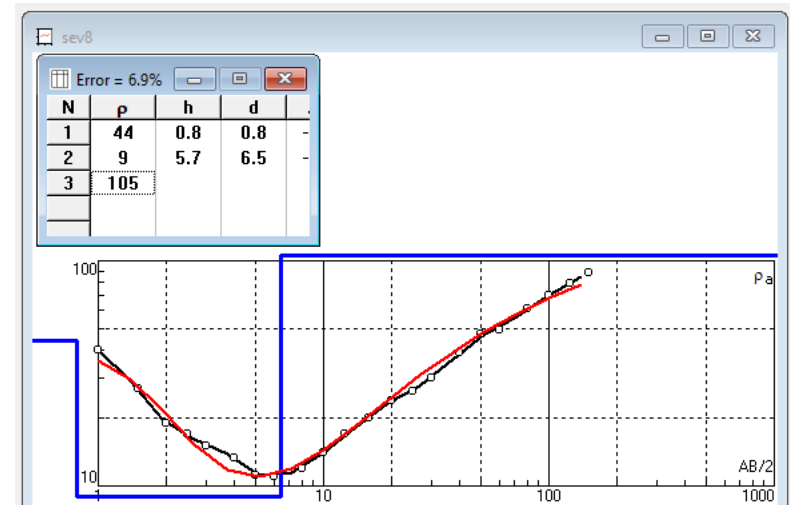
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 6			
Ubicación		257191 N	337697 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	32	0,4	Suelo residual
2	16	0,9	Aluvión fino
3	30	19	Radiolarita
4	110	-	Basalto



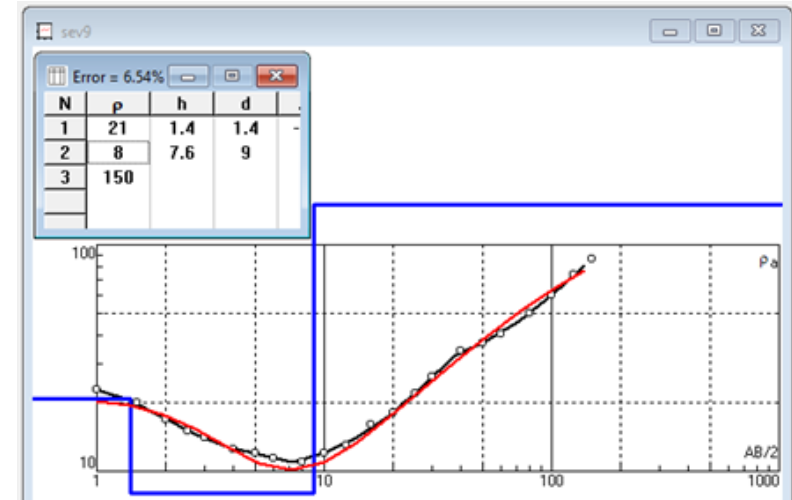
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 7			
Ubicación		256403 N	338043 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	33	0,5	Suelo residual
2	11	2,5	Aluvión fino
3	47	26	Radiolarita
4	160	-	Basalto



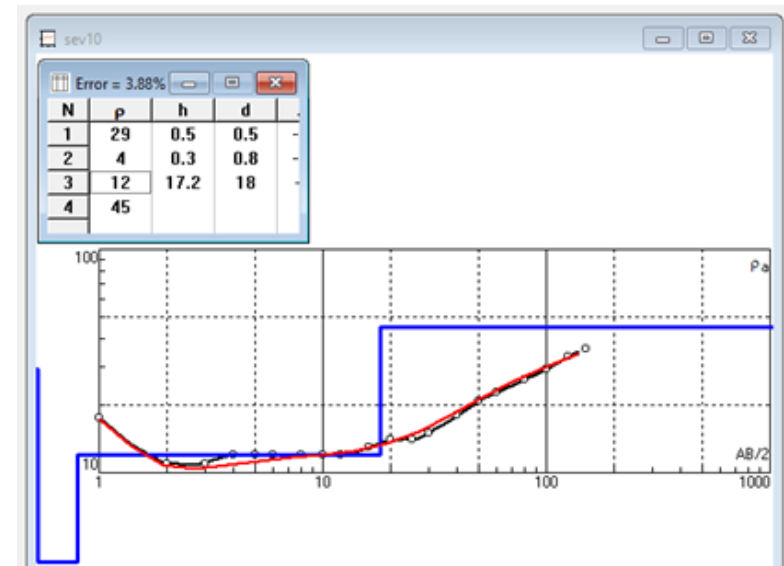
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 8			
Ubicación		258972 N	335340 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	44	0,8	Suelo residual grueso
2	9	6,5	Aluvión fino arcilloso
3	105	-	Basalto



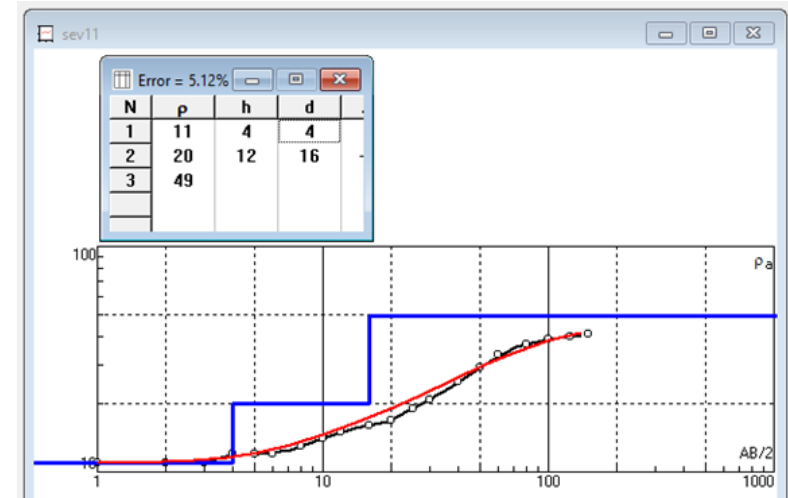
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 9			
Ubicación		258962 N	334870 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	21	1,4	Suelo residual
2	8	9	Aluvión fino arcilloso
3	150	-	Basalto



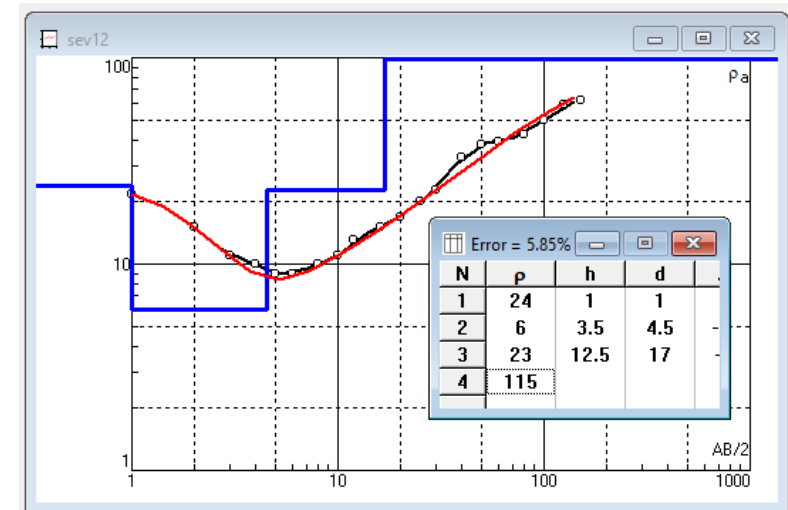
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 10			
Ubicación		262021 N	341048 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	29	0,5	Suelo residual
2	4	1	Aluvión fino arcilloso
3	12	4	Aluvión fino
4	45	-	Radiolarita



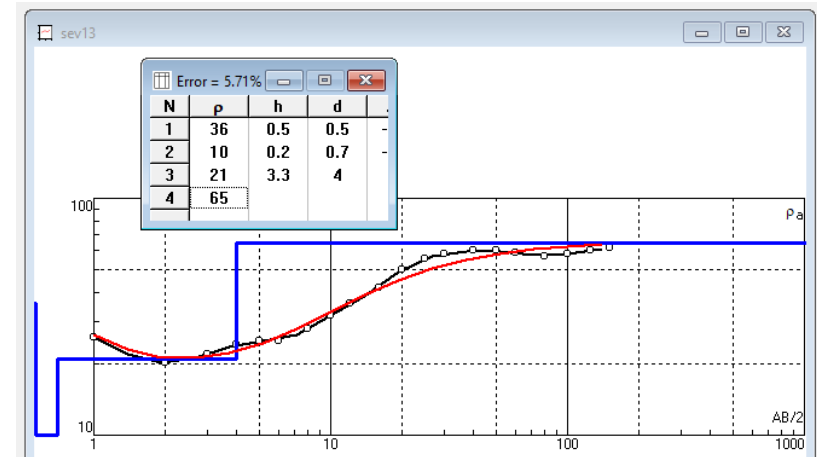
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 11			
Ubicación		261181 N	341428 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	11	4	Suelo residual
2	20	16	Aluvión fino arcilloso
4	49	-	Radiolarita fracturada



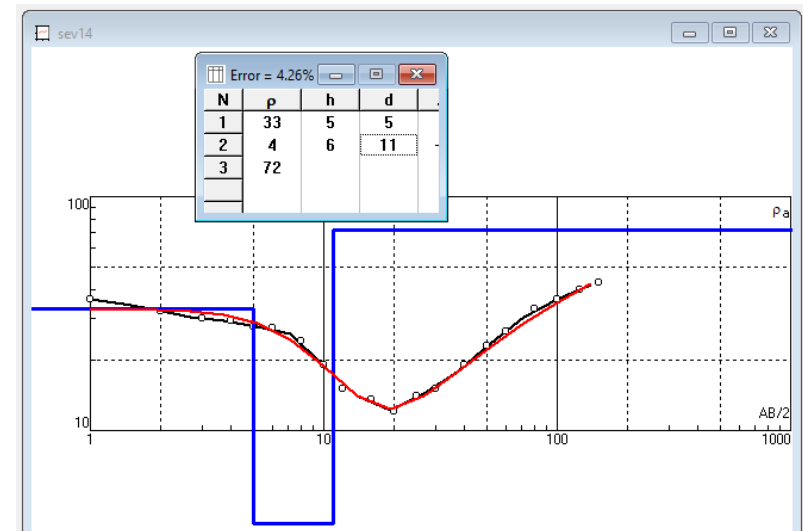
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 12			
Ubicación		259538 N	340199 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	24	1	Suelo residual
2	6	4,5	Aluvión fino arcilloso
3	23	17	Aluvión fino
4	115	-	Intrusivo fracturado



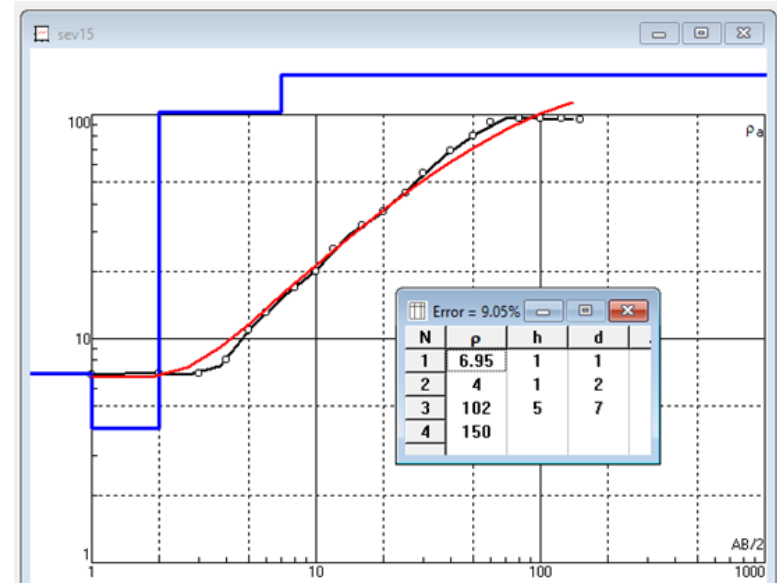
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 13			
Ubicación		258744 N	339888 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	36	0,5	Suelo residual
2	10	0,7	Aluvión fino
3	21	4	Aluvión
4	65	-	Radiolaritas



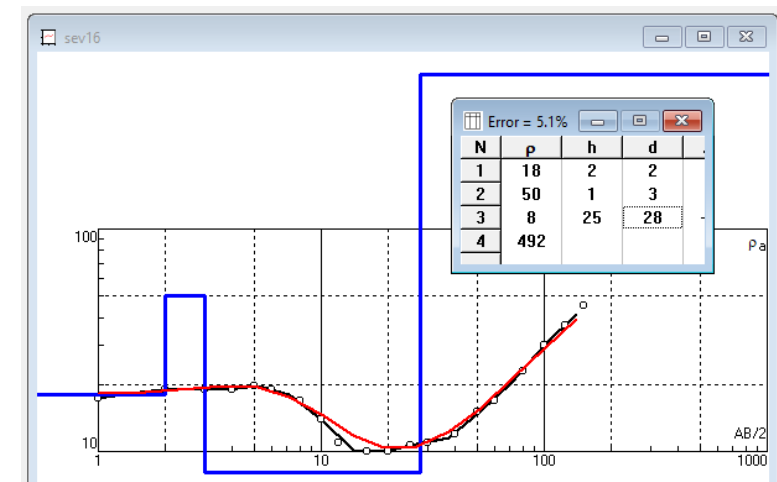
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 14			
Ubicación		261284 N	340285 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	33	5	Suelo residual
2	4	11	Aluvión fino arcilloso
3	72	-	Radiolarita



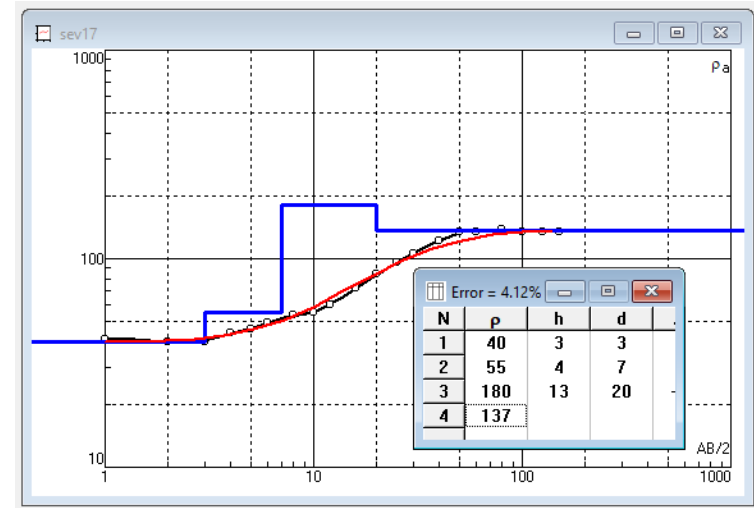
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 15			
Ubicación		258974 N	335697 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	7	1	Suelo residual arcilloso
2	4	2	
3	102	7	Basalto
4	150	-	



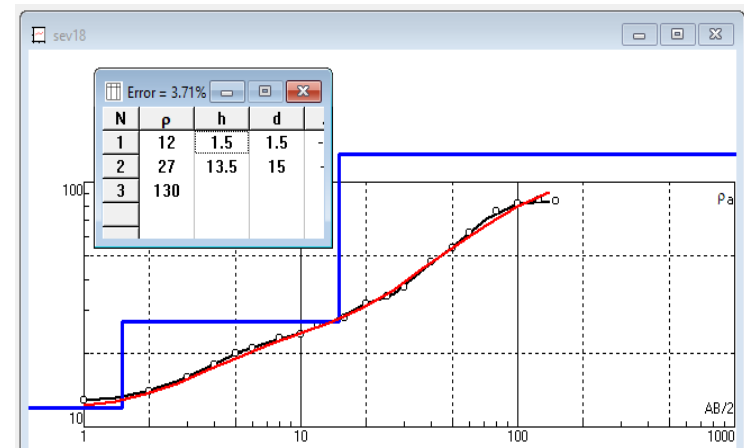
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 16			
Ubicación		256032 N	337784 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	18	2	Suelo residual
2	50	3	Aluvión
4	8	28	Aluvión fino arcilloso
5	492	-	Intrusivo



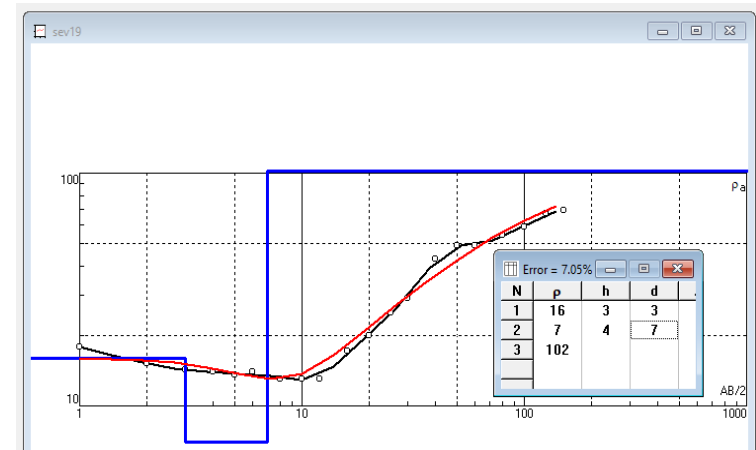
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 17			
Ubicación		256496 N	339053 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	40	3	Suelo residual
2	55	7	Aluvión grueso
3	180	20	Basalto
4	137	-	Basalto



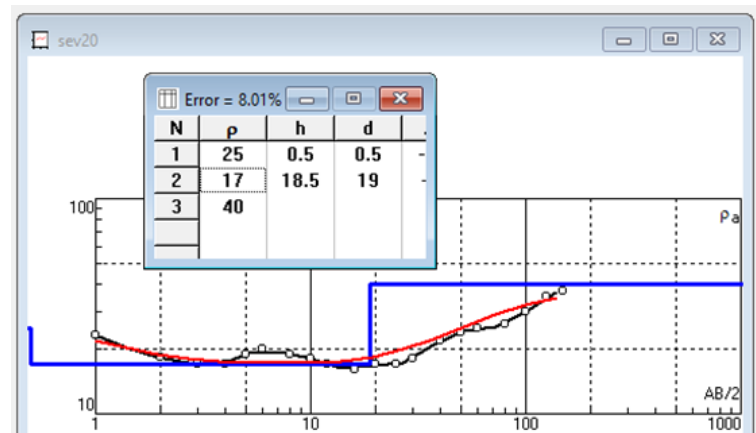
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 18			
Ubicación		259502 N	337694 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	12	1,5	Suelo residual arcilloso
2	27	15	Aluvión
3	130	-	Basalto



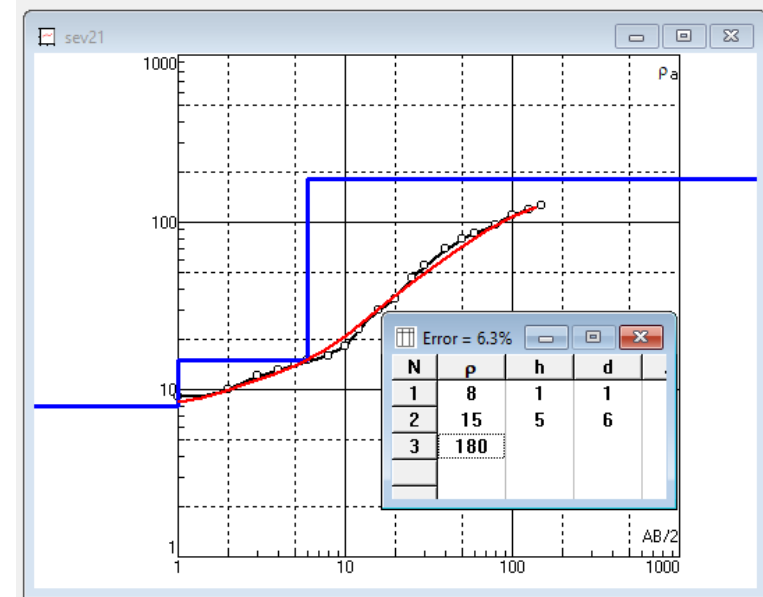
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 19			
Ubicación		258703 N	340007 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	16	3	Suelo residual
2	7	7	Aluvión fino arcilloso
3	102	-	Basaltos fracturados



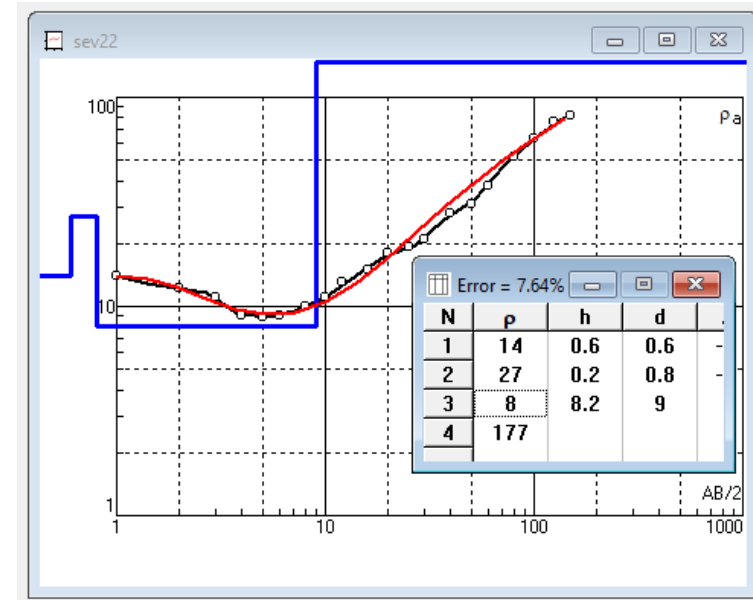
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 20			
Ubicación		261442 N	340809 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	25	0,5	Suelo residual
2	17	19	Aluvión fino
3	40	-	Radiolarita



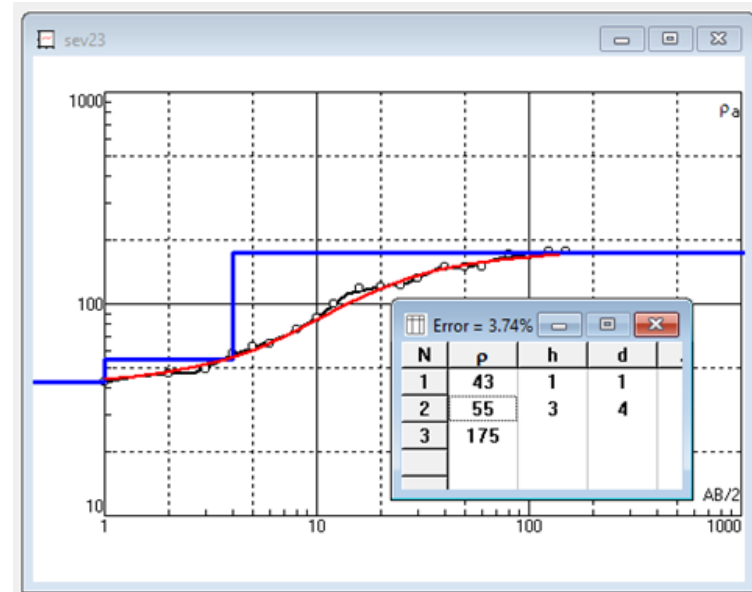
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 21			
Ubicación		257956 N	338544 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	8	1	Suelo residual arcilloso
3	15	6	Aluvión fino
4	180	-	Basalto



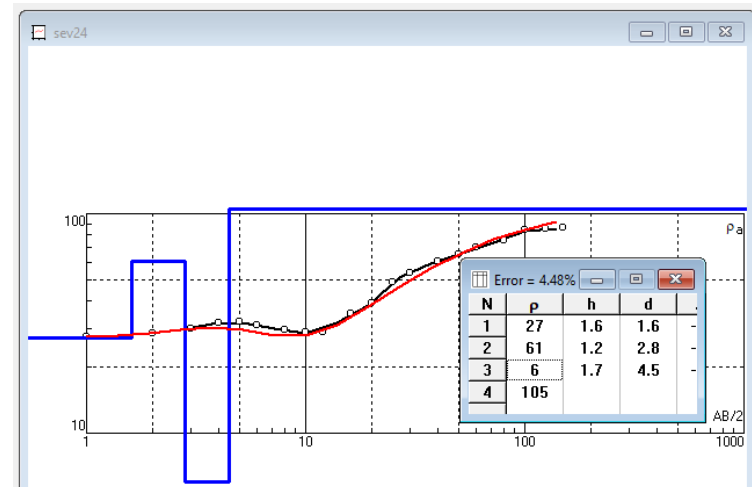
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 22			
Ubicación		257814 N	337879 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	14	0,6	Suelo residual
2	27	0,8	Aluvión fino
3	8	9	Aluvión fino arcilloso
4	177	-	Basalto



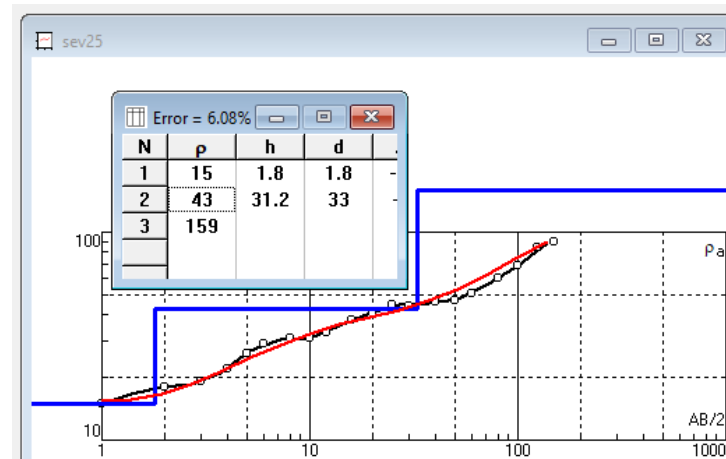
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 23			
Ubicación		254338 N	336431 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	43	1	Suelo residual
2	55	4	Basalto fracturado y meteorizado
3	175	-	Basaltos



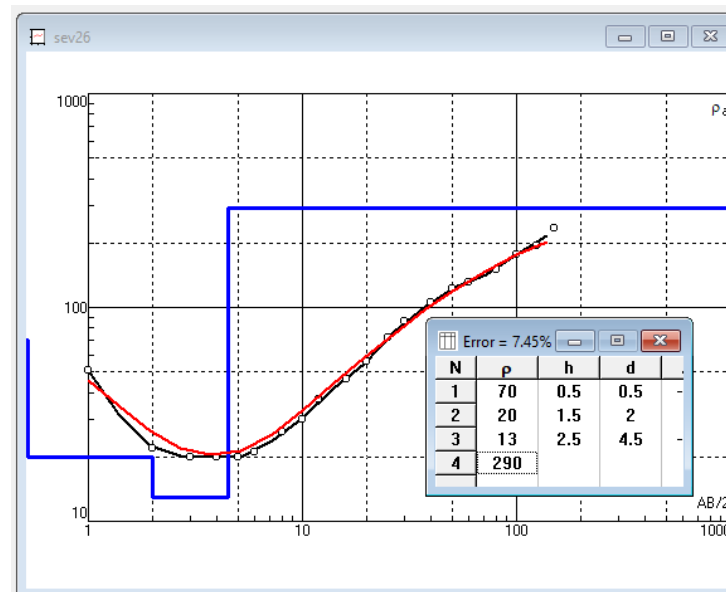
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 24			
Ubicación		254758 N	342463 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	27	1,6	Suelo residual
2	61	2,8	Aluvión grueso
3	6	4,5	Aluvión fino
4	105	-	Basalto



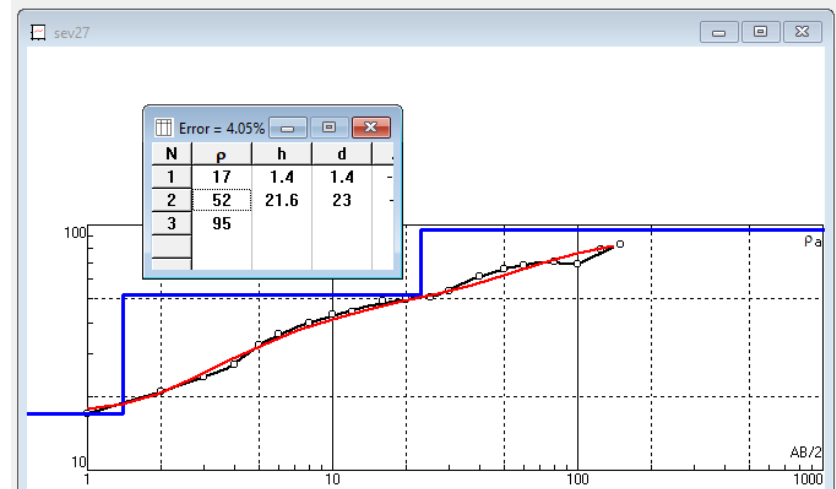
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 25			
Ubicación		258245 N	337372 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	15	1,8	Suelo residual
2	43	33	Radiolarita
3	159	-	Basalto



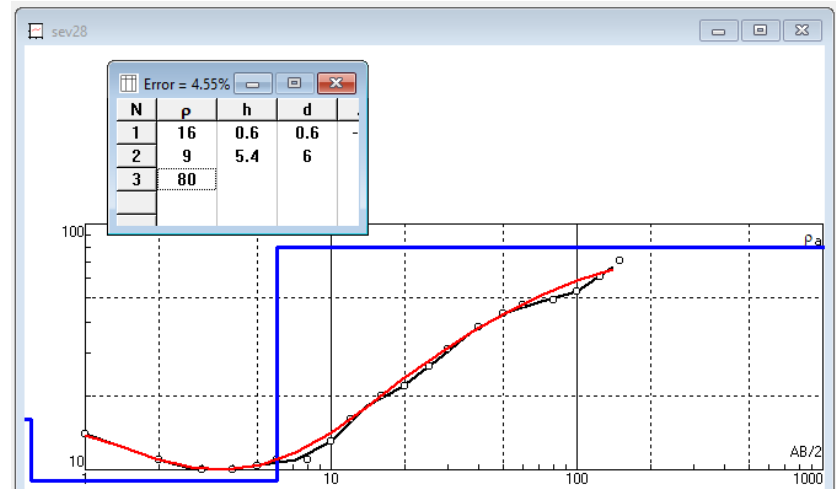
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 26			
Ubicación		259362 N	335870 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	70	0,5	Suelo residual grueso
2	20	2	Radiolarita fracturada y meteorizada
3	13	4,5	Radiolarita fracturada y meteorizada
4	290	-	Intrusivo



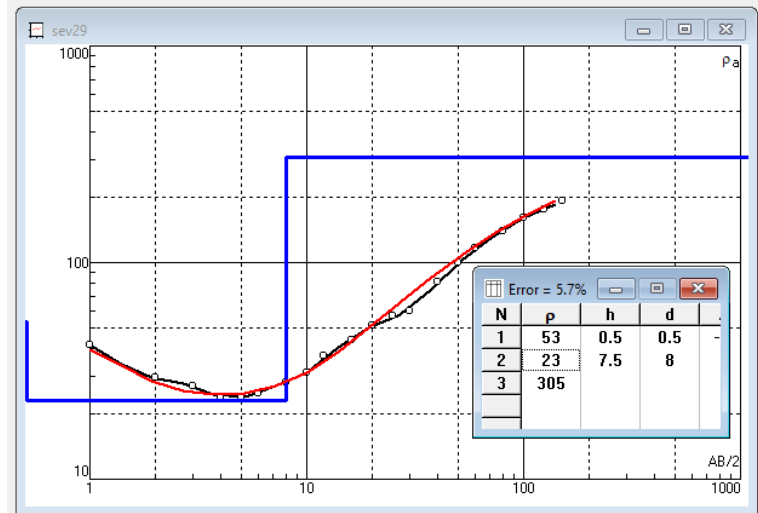
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 27			
Ubicación		259915 N	339603 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	17	1,4	Suelo residual
2	52	23	Intrusivo meteorizado y fracturado
3	95	-	Intrusivo fracturado



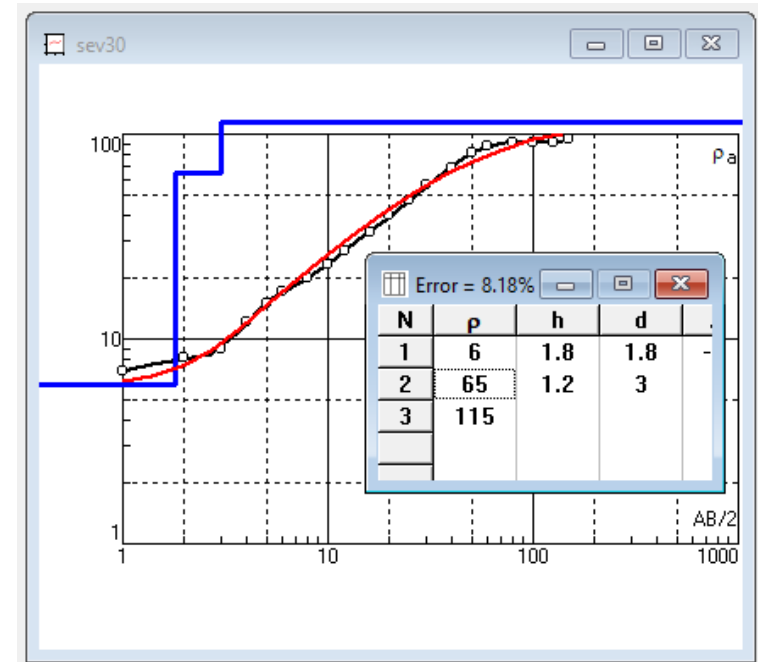
Sondeo eléctrico vertical (SEV) 28			
Ubicación		260247 N	341177 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	16	0,6	Suelo residual
2	9	6	Aluvión fino arcilloso
3	80	-	Radiolarita



Sondeo eléctrico vertical (SEV) 29			
Ubicación		258934 N	342060 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	53	0,5	Suelo residual grueso
2	23	8	Intrusivo meteorizado y fracturado
3	305	-	Intrusivo

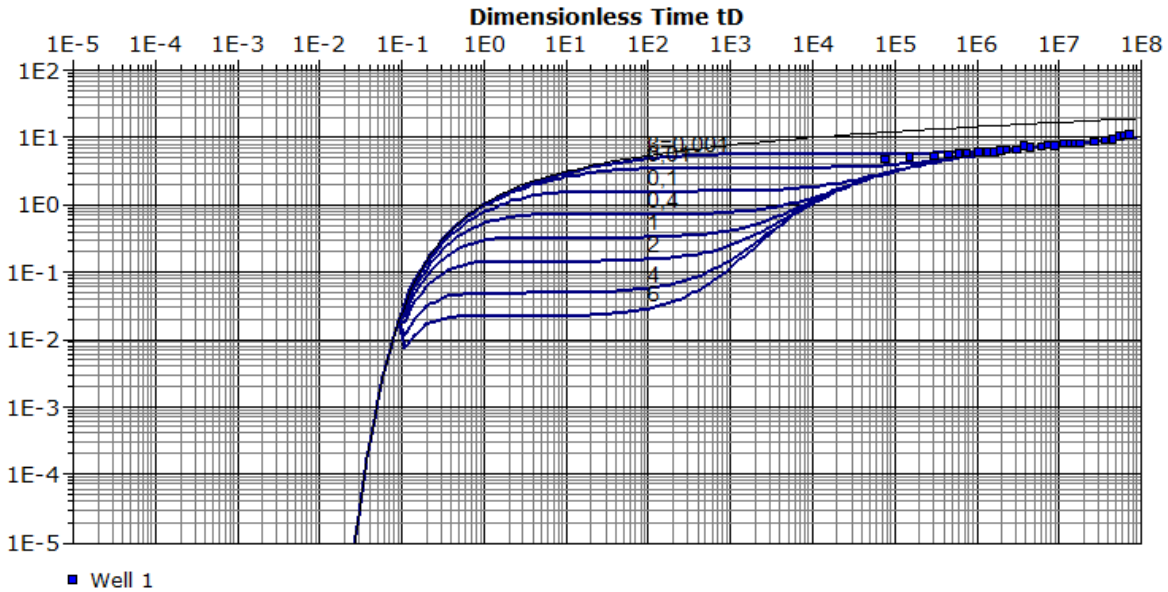


Sondeo eléctrico vertical (SEV) 30			
Ubicación		262375 N	338478 E
Capa	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{m}$ )	Profundidad (m)	Correlación geológica
1	6	1,8	Suelo residual arcilloso
2	65	3	Radiolarita
3	115	-	Basaltos



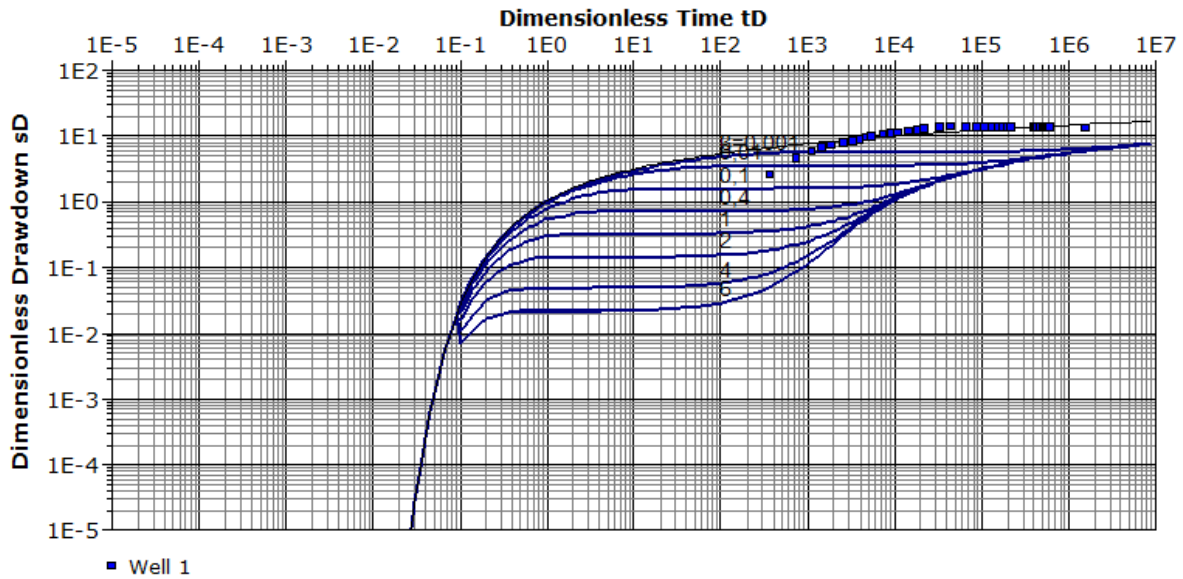
**13.4 ANEXO 4. Pruebas de bombeo procesadas.**

<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
		Project: MTP-16	
		Number:	
		Client:	
Location:	Pumping Test: MTP-16	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 29/11/2017	
Analysis Performed by:	MTP-16	Analysis Date: 29/11/2017	
Aquifer Thickness: 29,00 m	Discharge Rate: 2,78 [l/s]		



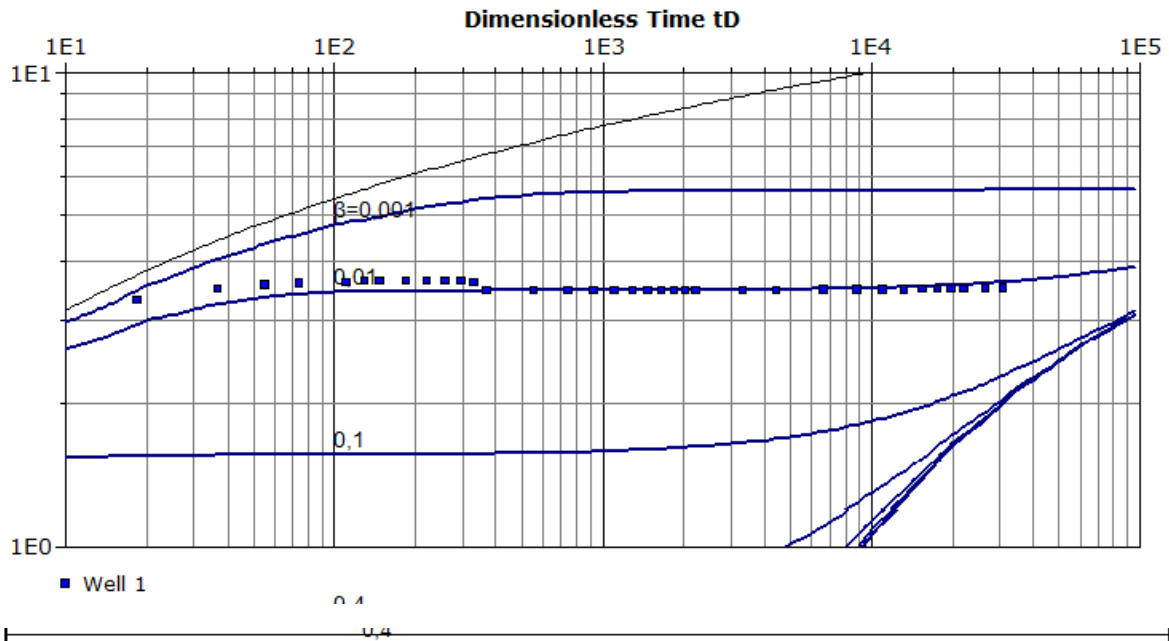
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$2,67 \times 10^2$	$9,21 \times 10^0$	$5,36 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,15

<b>Contact Info</b> <b>Address</b> <b>Company Name</b> <b>City, State/Province</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
		Project: MTP-112	
		Number:	
		Client:	
Location:	Pumping Test: MTP-112	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:			Test Date: 29/11/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 29/11/2017	
Aquifer Thickness: 23,00 m	Discharge Rate: 5 [l/s]		



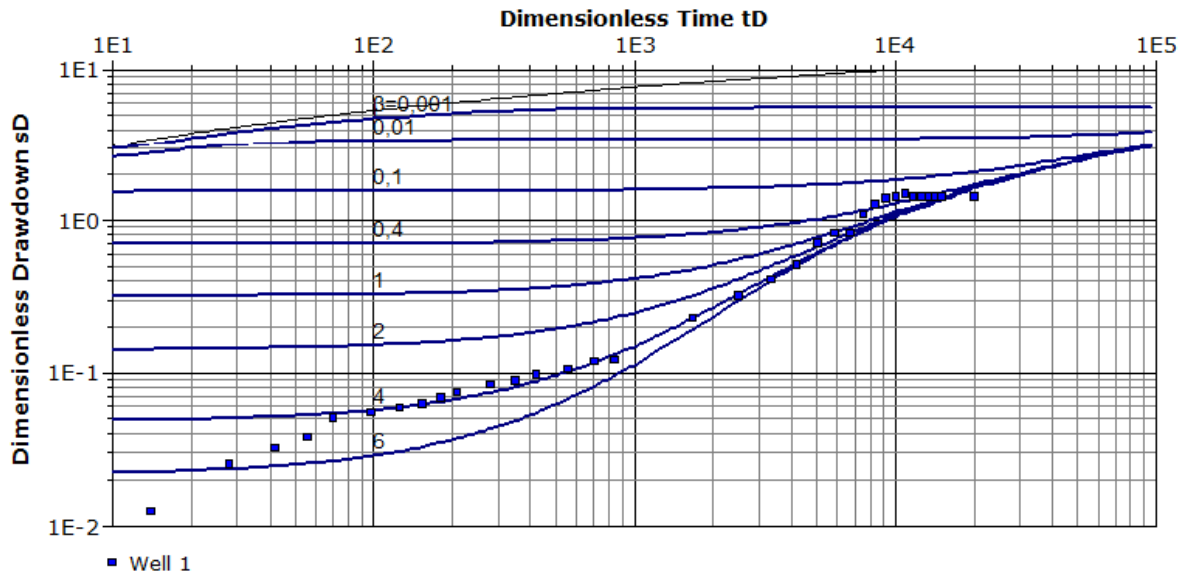
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$5,98 \times 10^{-1}$	$2,60 \times 10^0$	$5,00 \times 10^{-1}$	$3,16 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^2$	0,15

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project:	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 29/11/2017	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 29/11/2017	
Aquifer Thickness: 17,65 m	Discharge Rate: 10,4 [U.S. gal/min]		



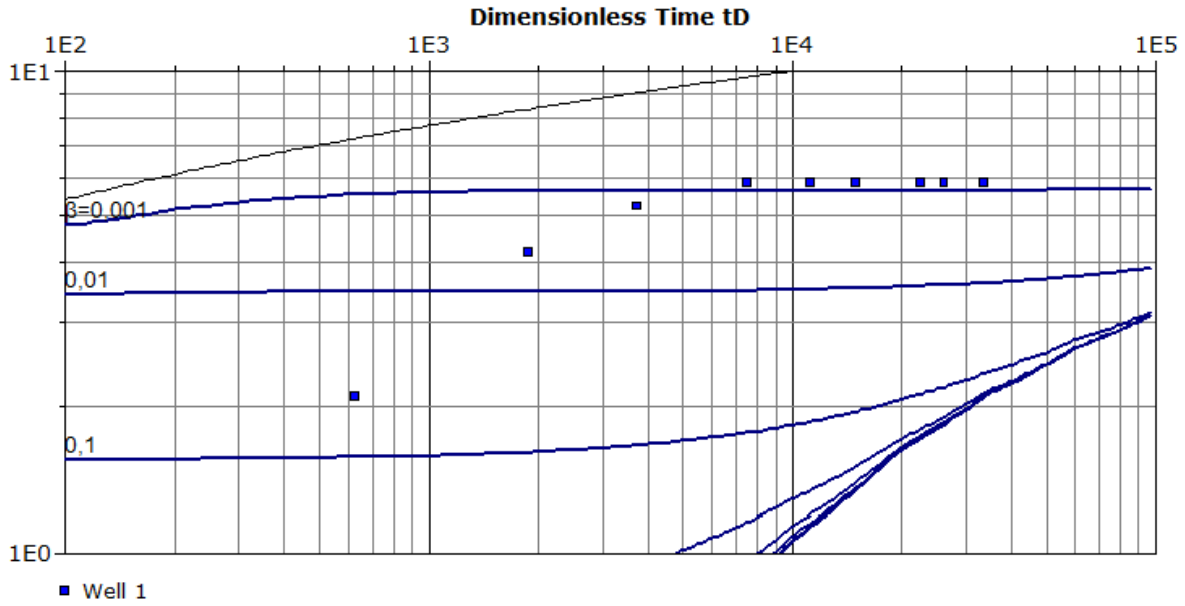
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [ft <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [ft/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$7,32 \times 10^1$	1	$3,40 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,25

<b>Contact Info</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
Address		Project: MTP-115	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: MTP-115	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 29/11/2017	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 29/11/2017	
Aquifer Thickness: 17,90 m	Discharge Rate: 7 [l/s]		



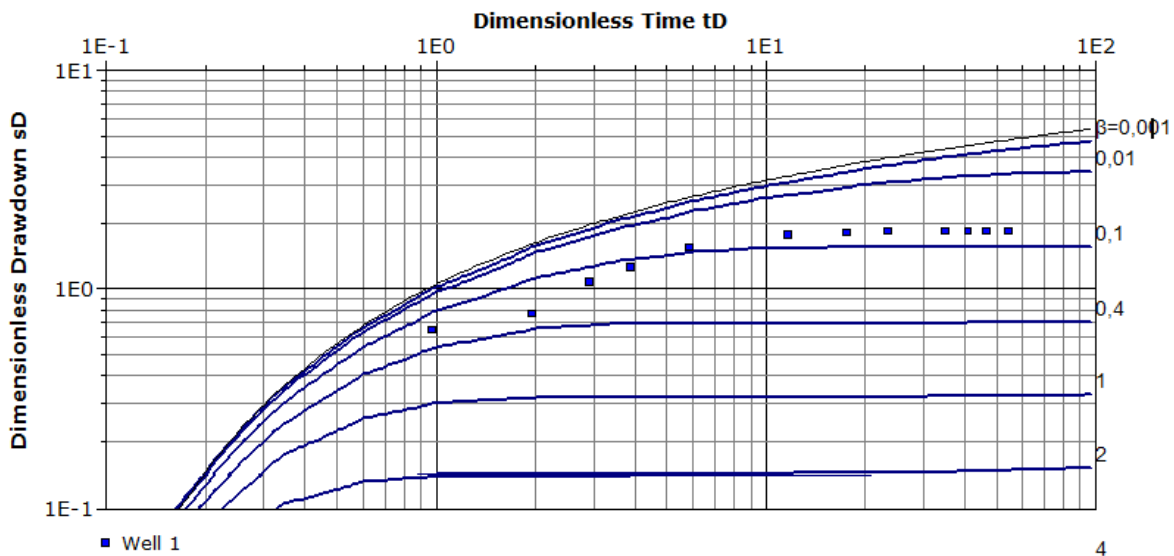
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$4,04 \times 10^0$	$2,26 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$5,62 \times 10^1$	0,15

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project: MTP-116	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 8/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 8/1/2018	
Aquifer Thickness: 21,00 m	Discharge Rate: 2,5 [l/s]		



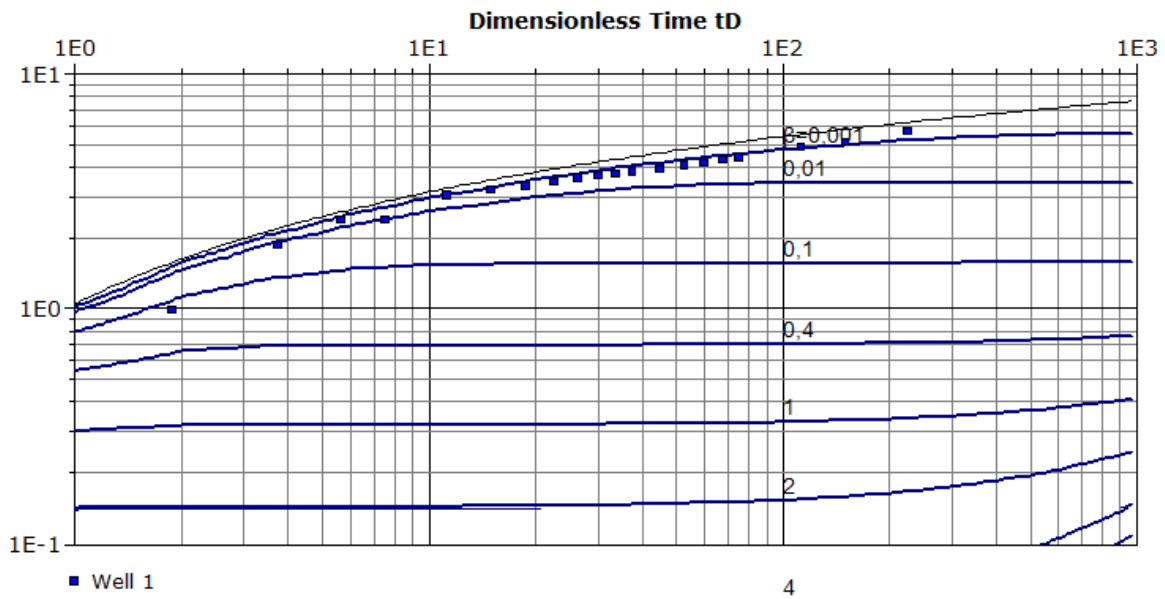
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1    1	$3,60 \times 10^2$	$1,72 \times 10^1$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project: MTP-118	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 8/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 8/1/2018	
Aquifer Thickness: 19,00 m	Discharge Rate: 0,5 [l/s]		



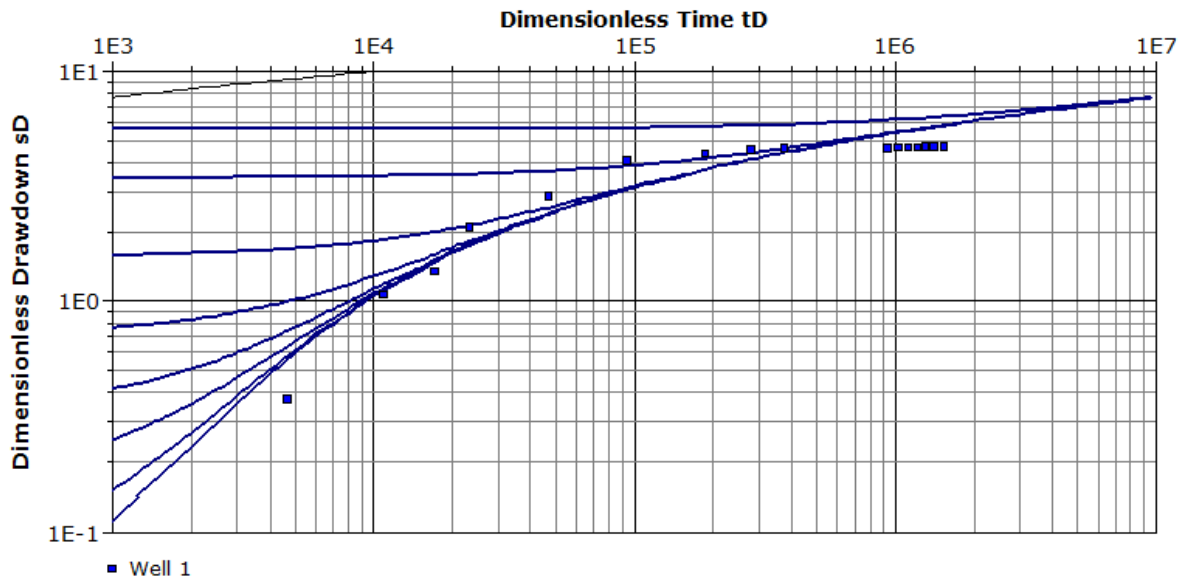
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$4,47 \times 10^{-1}$	$2,35 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^1$	0,2

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project: MTP-122	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: MTP-122	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 29/11/2017	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 29/11/2017	
Aquifer Thickness: 6,52 m	Discharge Rate: 0,15 [l/s]		



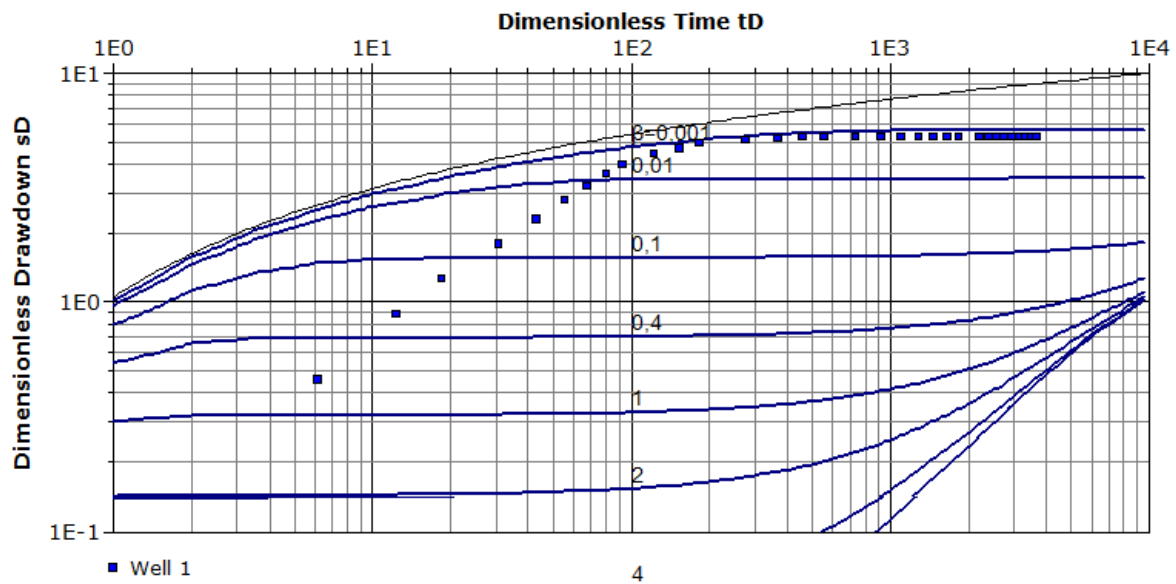
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio $K/(v\sqrt{K}(h))$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,22 \times 10^0$	$1,87 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^2$	0,15

<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
		Project: MTP-142	
		Number:	
		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 8/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 8/1/2018	
Aquifer Thickness: 24,50 m	Discharge Rate: 20 [l/s]		



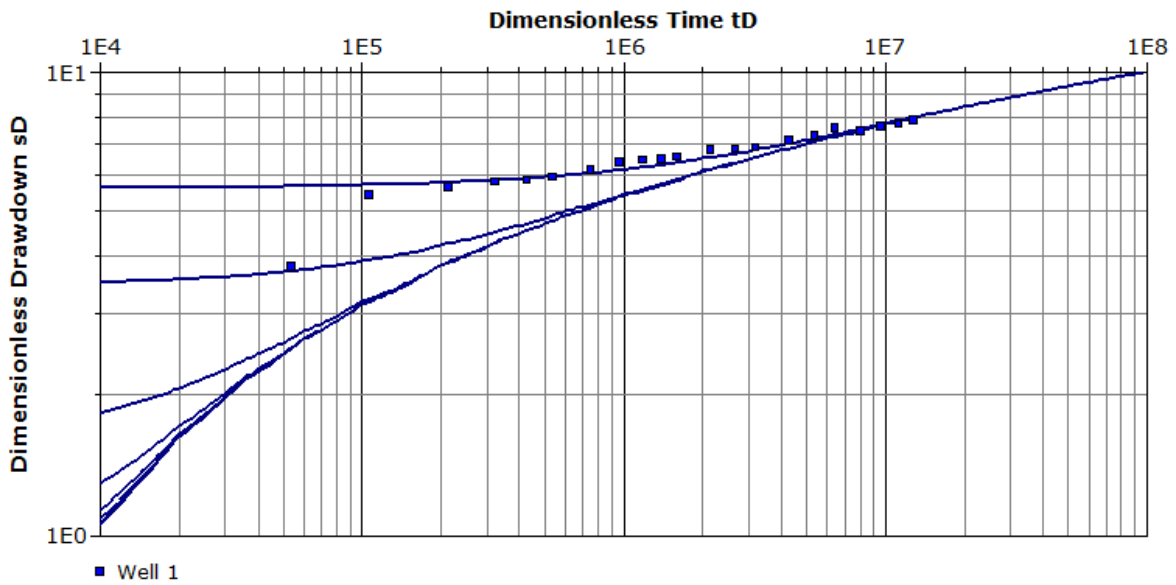
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio $K(v)/K(h)$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,27 \times 10^2$	$5,18 \times 10^0$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$2,00 \times 10^2$	0,15

<b>Contact Info</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
Address		Project: MTP-233	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: MTP-233	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 30/11/2017	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 30/11/2017	
Aquifer Thickness: 22,00 m	Discharge Rate: 2 [l/s]		



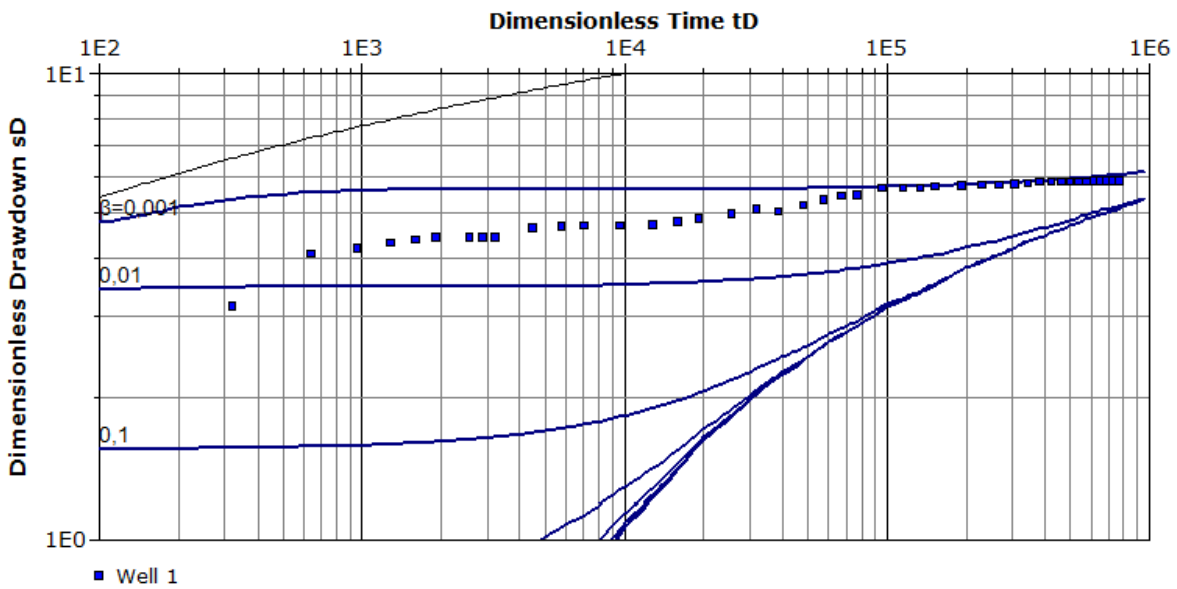
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$9,97 \times 10^0$	$4,53 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^1$	0,15

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project: VI-17	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 8/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 8/1/2018	
Aquifer Thickness: 18,28 m	Discharge Rate: 3,5 [l/s]		



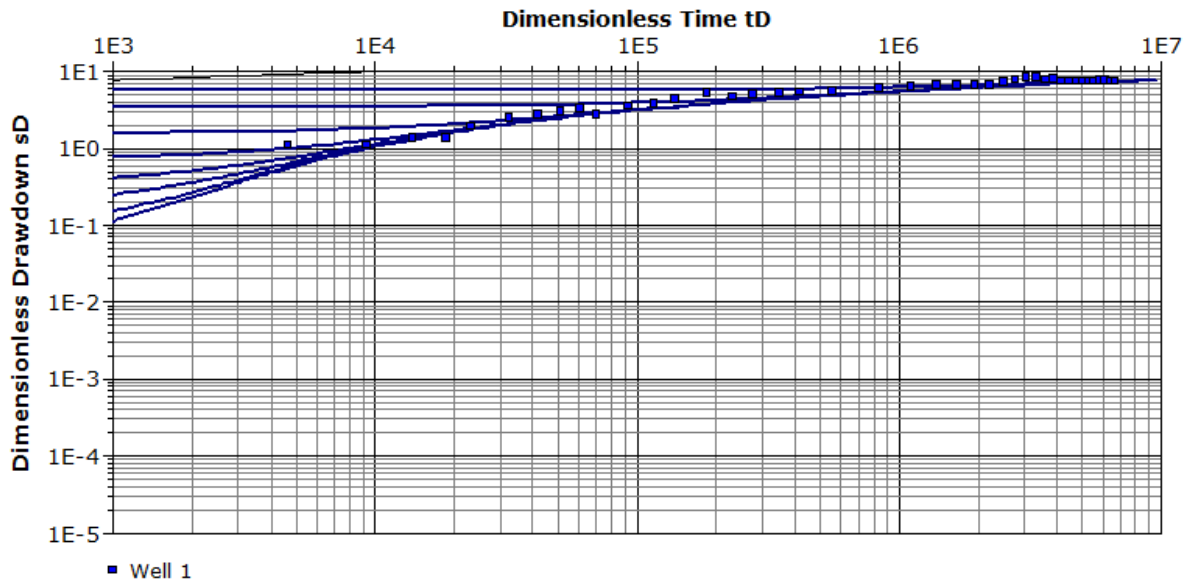
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,20 \times 10^2$	$6,56 \times 10^0$	$6,89 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$2,00 \times 10^{-3}$	0,15

<b>Contact Info</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
Address		Project: VI-18	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 8/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 8/1/2018	
Aquifer Thickness: 25,69 m	Discharge Rate: 10 [l/s]		



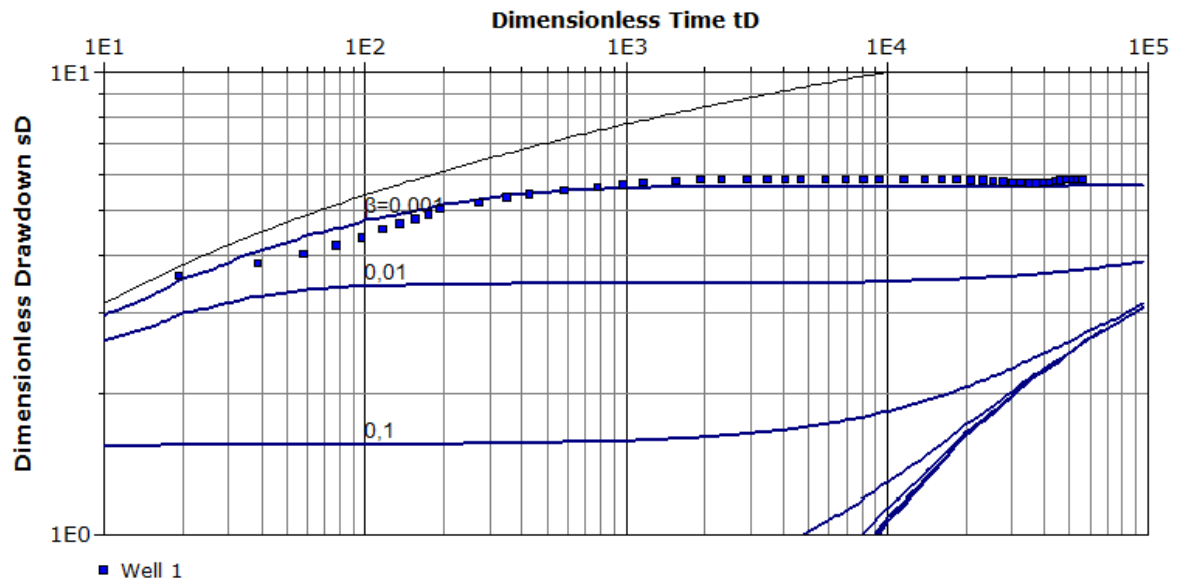
Calculation using Neuman							
Observation Well	Transmissivity	Hydraulic Conductivity	Specific Yield	Ratio $K(v)/K(h)$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW	
	[m <sup>2</sup> /d]	[m/d]				[m]	
Well 1 1	$8,27 \times 10^1$	$3,22 \times 10^0$	$5,00 \times 10^{-1}$	$2,24 \times 10^{-3}$	$1,26 \times 10^2$	0,15	

<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
		Project: VI-20	
		Number:	
		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 9/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 9/1/2018	
Aquifer Thickness: 26,36 m	Discharge Rate: 6,3 [l/s]		



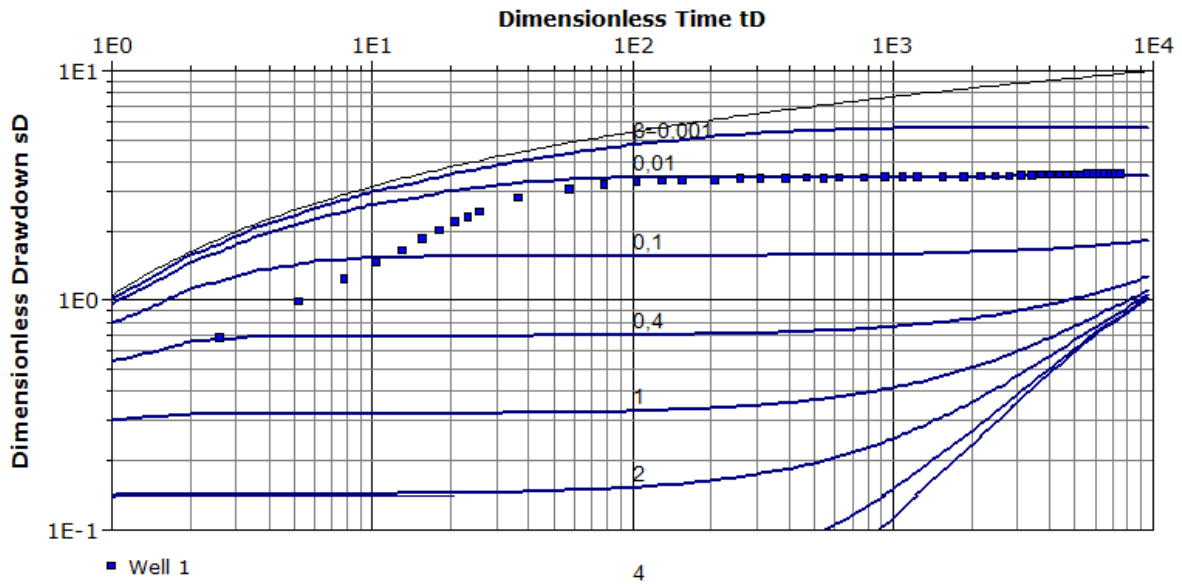
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,19 \times 10^3$	$4,52 \times 10^1$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$6,31 \times 10^1$	0,15

Contact Info		Pumping Test Analysis Report	
Address		Project: VI-218	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 9/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 9/1/2018	
Aquifer Thickness: 13,55 m	Discharge Rate: 6 [l/s]		



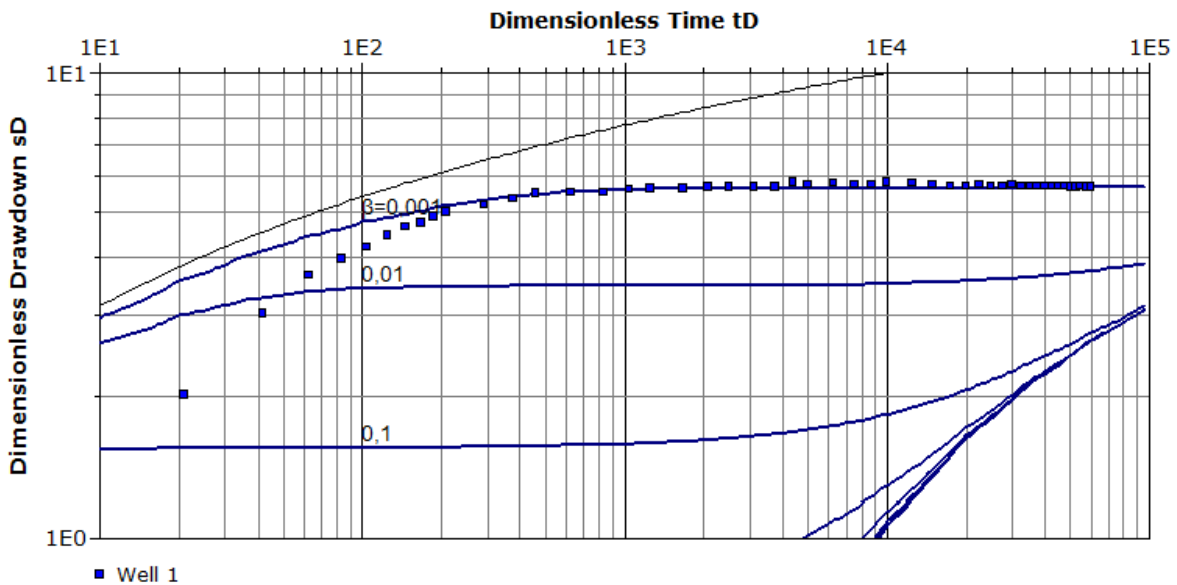
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$4,65 \times 10^1$	$3,43 \times 10^0$	$3,33 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$2,51 \times 10^1$	0,25

<b>Contact Info</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
Address		Project: VI-220	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 9/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 9/1/2018	
Aquifer Thickness: 13,00 m	Discharge Rate: 4,5 [l/s]		



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,50 \times 10^1$	$1,15 \times 10^0$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

<b>Contact Info</b>		<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
Address		Project: VI-221	
Company Name		Number:	
City, State/Province		Client:	
Location:	Pumping Test: Pumping Test 1	Pumping Well: Well 1	
Test Conducted by:		Test Date: 9/1/2018	
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 9/1/2018	
Aquifer Thickness: 18,01 m	Discharge Rate: 7 [l/s]		



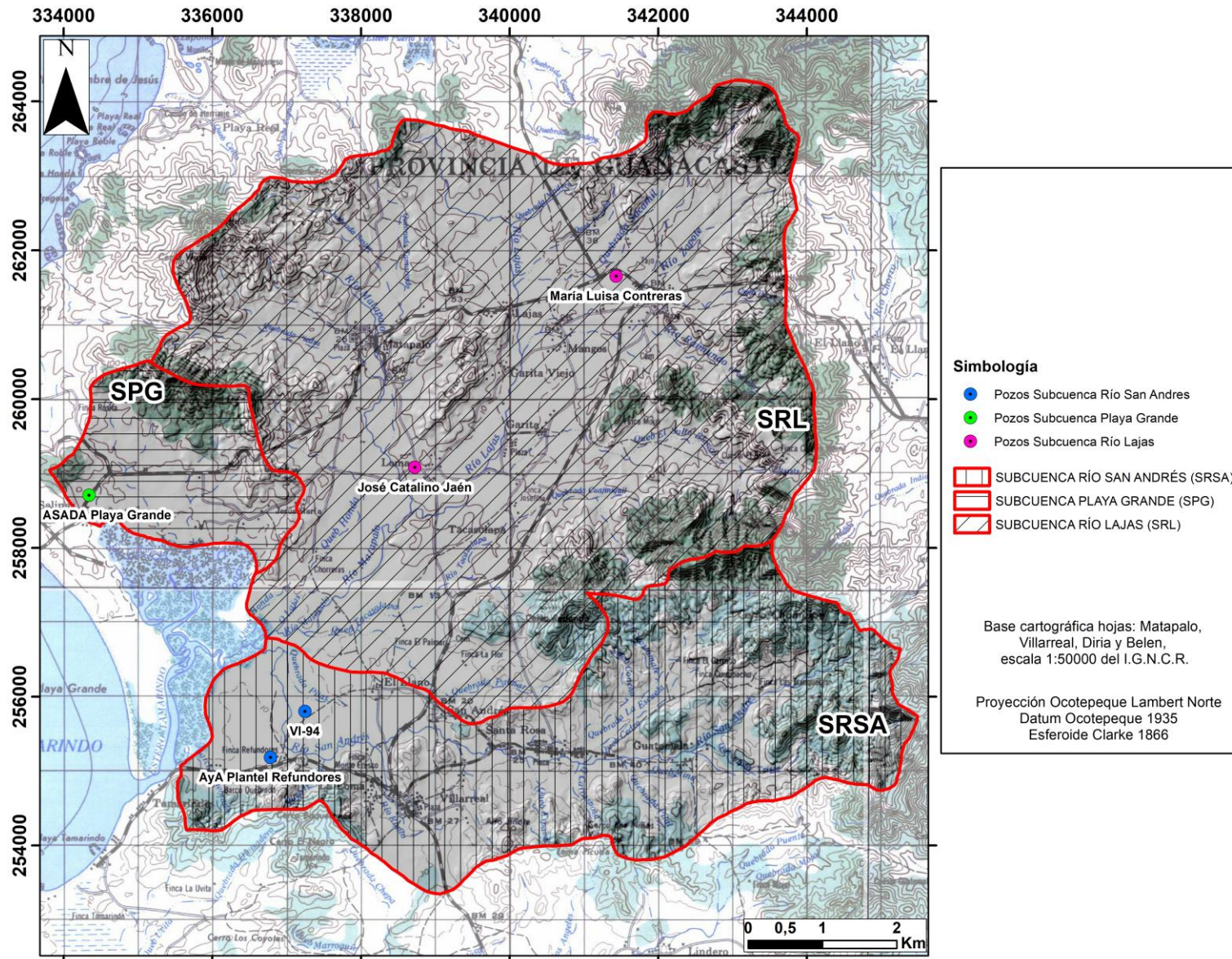
Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m <sup>2</sup> /d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio $K(v)/K(h)$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,20 \times 10^2$	$6,66 \times 10^0$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

**13.5 ANEXO 5. Monitoreo de niveles del agua subterránea en pozos. Estación lluviosa (Set-Dic) 2017.**

No. de pozo	Nombre del pozo	Tipo	Norte	Este	Elevación (msnm)	Brocal (m)	Prof. pozo (m)	Nivel E (m) Setiembre	Nivel E (m) Octubre	Nivel E (m) Noviembre	Nivel E (m) Diciembre	Nivel E (mbns)	Nivel E (msnm)
1	Aeropuerto Tamarindo Cancha de Golf	P	255134	337474	13	0,45	-	1,93	1,97	2,65	2,90	2,20	11,1
2	Aeropuerto Tamarindo cerca río San Andrés	P	255381	337593	16	0,33	-	SD	SD	3,44	3,07	3,11	13,4
3	Aeropuerto Tamarindo Abrevadero	P	255744	337763	13	0,50	9,25	SD	SD	1,72	2,23	1,22	11,4
4	Aeropuerto Tamarindo los Tornillos	P	255800	337245	9	0,50	-	SD	SD	2,18	2,63	1,68	7,4
5	Elvira Matarrita	E	256089	338238	12	0,84	11,85	6,7	6,17	6,44	7,22	5,60	6,6
6	ASADA Villarreal P2	P	255562	338189	16	0,50	18	1,77	ND	2,44	ND	1,94	14,0
7	Maritza Obando	E	255576	338998	19	0,73	6	3,3	2,74	3,53	3,67	2,80	15,9
8	ASADA Santa Rosa Redondel	P	255198	340143	25	0,80	44	4,62	SD	4,88	SD	4,08	20,4
9	Santa Rosa Seabees	P	255267	340939	30	0,20	-	3,60	3,40	SD	SD	3,20	26,8
10	Magdalena Obando	E	255293	340970	30	0,84	10,45	Sellado	Sellado	Sellado	Sellado	Sellado	Sellado
11	ASADA Lomas	P	258631	338988	19	1,18	26	1,74	SD	1,20	2,16	0,02	18,9
12	José Catalino Jaén	E	259080	338723	19	0,80	12	3,82	SD	4,04	4,88	3,24	15,8
13	Santos Arrieta	E	258896	337242	24	1,00	8	1,83	SD	1,97	2,76	0,97	23,0
14	María Luisa Contreras	E	261652	341432	38	0,78	4,5	1,35	0,74	1,55	1,95	0,77	37,1
15	Paula Celaya	E	260355	339957	21	0,80	8	4,39	SD	3,27	4,15	2,47	18,9
16	Juan Pablo Arrieta	E	259558	340347	23	0,80	5,1	1,53	SD	1,70	1,91	0,90	21,7
17	Damián Matarrita	E	260753	340739	27	0,90	14	3,65	SD	3,68	4,10	2,78	23,9
18	Cupertino López	E	258279	340076	24	1,15	8,5	1,92	1,58	1,98	2,67	0,83	23,5
19	AyA Tamarindo P6 Plantel	P	255183	336781	11	0,00	-	2,94	2,1	3,00	3,82	3,00	8,1
20	AyA Tamarindo P1 Guanacaste	P	256002	336544	7	0,28	-	1,17	SD	1,40	1,98	1,12	6,0
21	AyA Tamarindo P2 Virgilio	P	255974	336856	7	0,55	-	1,99	SD	3,62	2,77	3,07	4,4
22	AyA Tamarindo P4 Pochote	P	255461	336874	9	0,45	-	3,2	SD	SD	7,92	2,75	5,9
23	AyA Tamarindo P4b Pochote (nuevo)	P	255442	336873	9	0,50	-	3,34	SD	SD	ND	2,84	5,9
24	AyA Tamarindo P5 Albin	P	255477	337058	10	0,20	-	ND	SD	2,40	3,49	2,20	7,6
25	Gineth Lopez Rozales	E	260752	337937	25	0,68	7,85	3,64	2,90	SD	4,19	2,22	22,5
26	ASADA Matapalo P3	P	260776	338205	25	0,38		4,13	4,03	4,55	4,29	4,17	20,7
27	ASADA Matapalo P1	P	260777	338205	25	0,52		4,3	4,35	5,59	4,41	5,07	19,8
28	ASADA Matapalo P2	P	260086	338490	20	0,75		ND	ND	1,60	ND	0,85	19,4
29	ASADA Matapalo P4	P	262101	338544	38	0,67	24,00	ND	ND	2,10	ND	1,43	36,6
30	ASADA Tamarindo "Fertama" #3	P	254952	336152	11	0,60		ND	ND	4,04	5,09	3,44	7,9
31	ASADA "Tamarindo" #4	P	255121	336224	9	0,25		0,70	0,53	0,91	1,39	0,66	8,0
32	ASADA Tamarindo Curia 1	P	256929	337845	8	0,93		ND	SD	ND	ND	SD	SD
33	ASADA Playa Grande 5 oficina	P	258712	334340	7	0,24	9	2,27	0,72	1,70	2,24	1,46	5,5
34	ASADA Playa Grande 7	P	259034	335183	10	0,50	21	ND	1,58	1,20	2,08	0,70	9,3
35	Pozo don Kike	E	258393	334218	8	1,00		3,43	3,03	3,30	3,76	2,30	5,7
Nivel E = Nivel estático													
ND = Nivel dinámico													
SD = Sin dato													
	Dato seleccionado para la estación lluviosa												
	Dato utilizado para elaboración de líneas isofreáticas												

Nivel del agua subterránea de otros pozos excavados.

N. pozo	Norte	Este	Elevación (msnm)	Nivel E (mbns) Noviembre	Nivel E (msnm)
1	257187	337679	6	4,3	1,7
2	257963	337368	11,33	4,3	7,0
3	259632	336034	50,1	1,15	49,0
4	259171	341556	38,1	2,39	35,7
5	262159	341513	46	2,05	44,0
6	258238	339371	13,8	2,7	11,1
7	258591	334235	7,2	2,8	4,4
8	262154	341511	45,98	1,91	44,1
9	261782	342262	44,1	1,75	42,4
10	262414	342241	59,69	7,2	52,5
11	262203	342587	53,57	1,75	51,8
12	259511	341031	30,63	5,95	24,7
13	259372	341184	35,54	3,68	31,9
14	259444	342038	47,55	0,77	46,8



Mapa de la ubicación de los pozos comparados entre nivel freático y lluvia.

**13.6 ANEXO 6. Aforos diferenciales.**

No. de aforo	Sitio de aforo	Norte	Este	Elevacion (m.s.n.m.)	Estado	Fecha	Caudal (L/s)
1	Río Matapalo N°1	258850	338550	23	seco	13/03/17	-
2	Río Matapalo N°2	258600	338650	23	seco	13/03/17	-
3	Río Lajas N°1	258500	338800	23	seco	13/03/17	-
4	Río Matapalo N°3	258450	338850	22	seco	13/03/17	-
5	Río Matapalo N°4	257500	337800	22	seco	13/03/17	-
6	Quebrada Carasposa	256800	337200	22	seco	14/03/17	-
7	Río Matapalo N°5	256900	337250	22	seco	14/03/17	-
8	Río Matapalo N°6	258900	338650	21	seco	14/03/17	-
9	Río Matapalo N°7	258650	338650	21	seco	14/03/17	-
10	Río Lajas N°2	258600	338800	21	seco	14/03/17	-
11	Río Matapalo N°8	258450	338550	21	seco	14/03/17	-
12	Afluente río Matapalo N°1	259450	338250	20	seco	14/03/17	-
13	Afluente río Matapalo N° 2	259450	338250	19	seco	14/03/17	-
14	Afluente río Matapalo N°3	260350	338450	19	seco	15/03/17	-
15	Quebrada Piedra N°1	260300	338200	19	seco	15/03/17	-
16	Quebrada Tamarindo N°1	260850	338350	20	seco	15/03/17	-
17	Quebrada Tamarindo N°2	261200	338350	20	seco	15/03/17	-
18	Quebrada Tamarindo N°3	261400	338600	19	seco	15/03/17	-
19	Quebrada Sesteo N°1	261450	338450	18	seco	15/03/17	-
20	Quebrada Maderos N°1	262450	340050	10	seco	15/03/17	-
21	Quebrada sin nombre N°1	262450	339900	10	seco	15/03/17	-
22	Río Lajas R.L N°3	262450	340000	10	seco	15/03/17	-
23	Río Lajas R.L N°4	261550	340000	10	seco	16/03/17	-
24	Río Lajas N°5	261650	340050	10	seco	16/03/17	-
25	Quebrada Sacamil N°1	261600	340100	10	seco	16/03/17	-
26	Río Lajas N°6	261500	340100	10	seco	16/03/17	-
27	Río Lajas N°7	261200	340100	10	seco	16/03/17	-
28	Río Zapote N°9	260750	340200	10	seco	16/03/17	-
29	Río Lajas N°8	260750	340100	10	seco	16/03/17	-
30	Río Lajas N°9	260600	340150	10	seco	16/03/17	-
31	Río Lajas N°10	260200	339950	9	seco	17/03/17	-
32	Río Lajas N°12	259250	339700	9	seco	17/03/17	-
33	Quebrada Salto Blanco N°1	259100	339750	9	seco	17/03/17	-
34	Afluente Humedales N°1	258900	335650	20	seco	20/03/17	-
35	Afluente Humedales N°2	259100	335750	20	seco	20/03/17	-
36	Afluente Humedales N°3	258600	335400	18	seco	20/03/17	-
37	Afluente Humedal N°4	259100	335450	18	seco	20/03/17	-
38	Afluente Humedal N°5	258900	334700	17	seco	20/03/17	-
39	Afluente Humedal N°6	259100	334900	20	seco	20/03/17	-
40	Río Zapote N°1	262350	342750	65	seco	21/03/17	-
41	Río Zapote N°2	261850	342300	57	seco	21/03/17	-
42	Afluente del río Zapote- quebrada sin nombre N°1	261650	341800	45	seco	21/03/17	-
43	Río Zapote N°5	261200	341050	38	seco	21/03/17	-
44	Río Zapote N°6	261150	340650	10	seco	21/03/17	-
45	Río Zapote N°7	261050	340450	10	seco	21/03/17	-
46	Río Raymundo (Pantión) N°1	260950	340500	10	seco	21/03/17	-
47	Río Zapote N°8	260900	340350	10	seco	21/03/17	-
48	Río San Andrés N°1	256650	336850	10	seco	21/03/17	-
49	Quebrada Pilas N°1	256550	336950	10	seco	21/03/17	-
50	Río San Andrés N°2	256550	336850	10	seco	21/03/17	-

51	Río San Andrés N°3	255950	336950	10	seco	21/03/17	-
52	Río San Andrés N°4	255350	336950	10	seco	21/03/17	-
53	Quebrada Honda N°1	255100	337450	18	seco	22/03/17	-
54	Río San Andrés N°5	255200	337400	18	seco	22/03/17	-
55	Río San Andrés N°6	255200	337550	20	seco	22/03/17	-
56	Río San Andrés N°7	255350	338100	18	seco	22/03/17	-
57	Río Riyito N°1	255300	338100	18	seco	22/03/17	-
58	Río San Andrés N°8	255450	338250	20	seco	22/03/17	-
59	Río San Andrés N°9	255550	338550	20	seco	22/03/17	-
60	Río San Andrés N°10	255600	339000	20	seco	22/03/17	-
61	Río San Andrés N°11	255400	339200	20	seco	22/03/17	-
62	Afluente del río San Andrés ( sin nombre) N°1	255300	339300	20	seco	22/03/17	-
63	Río San Andrés N°13	255350	339800	25	seco	22/03/17	-
64	Quebrada Concho N°1	255400	340100	25	seco	22/03/17	-
65	Quebrada Espavel	255150	340200	26	seco	22/03/17	-
66	Quebrada Carrasposa N°1	255050	340900	30	seco	23/03/17	-
67	Quebrada Cerros N°1	255150	340950	30	seco	23/03/17	-
68	Quebrada Pital + Quebrada Mina	255250	341500	40	seco	23/03/17	-
69	Afluente Río San Andrés	255250	342500	60	seco	23/03/17	-
70	Quebrada Triste N°1	255350	342650	60	seco	23/03/17	-
71	Río Matapalo N°9	259250	338350	20	agua estancada	14/03/17	-
72	Río Matapalo N°10	259400	338200	20	agua estancada	14/03/17	-
73	Río Matapalo N°11	259250	338400	20	agua estancada	14/03/17	-
74	Río Matapalo N°12	260450	338250	20	agua estancada	15/03/17	-
75	Río Matapalo N°13	260700	338200	20	agua estancada	15/03/17	-
76	Río Matapalo N°14	260850	338200	20	agua estancada	15/03/17	-
77	Quebrada Jicarito N°1	261750	340150	10	agua estancada	16/03/17	-
78	Río Lajas N°11	259700	339900	9	agua estancada	17/03/17	-
79	Río Lajas N°13	259050	339550	9	agua estancada	17/03/17	-
80	Río Lajas N°14	258900	339400	9	agua estancada	17/03/17	-
81	Río Lajas N°15	258500	339050	15	agua estancada	17/03/17	-
82	Quebrada San Andrés N°14	255250	339950	25	agua estancada	22/03/17	-
83	Río San Andrés N°15	225550	340100	26	agua estancada	22/03/17	-
84	Río San Andrés N°16	255200	340260	26	agua estancada	23/03/17	-
85	Río San Andrés N°18	255150	341100	32	agua estancada	23/03/17	-
86	Río San Andrés N°19	255200	341400	40	agua estancada	23/03/17	-
87	Quebrada Tusero N°1	261450	341850	45	Caudal medido	21/03/17	0.2
88	Río Zapote N°3	261600	341900	45	Caudal medido	21/03/17	4,0
89	Río Zapote N°4	261450	341650	45	Caudal medido	21/03/17	5,0
90	Río San Andrés N°17	255200	340750	30	Caudal medido	23/03/17	1.5
91	Río San Andrés N°20	255250	341550	40	Caudal estimado	23/03/17	0.25
92	Río San Andrés N°21	255200	342100	60	Caudal estimado	23/03/17	0.25
93	Río San Andrés N°22	255300	342350	60	Caudal estimado	23/03/17	0.3
94	Río San Andrés N°23	255350	342450	60	Caudal estimado	23/03/17	0.35
95	Río San Andrés N°24	255500	342650	60	Caudal estimado	23/03/17	0.35

**13.7**      ***ANEXO 7. Parámetros climatológicos (Lluvia y  
Temperatura).***

Lluvia (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	SD	SD	SD	1,8	420,7	142,8	228,1	164,4	251,8	410,4	80,4	0,6
2005	0,4	0,0	28,0	12,7	240,8	375,0	162,9	197,7	332,2	634,1	SD	SD
2006	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2007	0,0	0,0	0,0	86,6	SD	SD	258,0	631,6	273,8	760,5	28,8	67,3
2008	0,0	5,5	2,4	8,5	394,4	208,7	185,5	723,2	253,8	SD	SD	5,6
2009	0,0	0,6	0,0	0,3	210,8	190,1	81,8	175,2	125,3	351,6	148,0	5,2
2010	0,4	1,4	0,3	89,7	133,8	SD	142,3	2,6	562,5	77,7	26,8	0,1
2011	0,0	0,0	0,4	3,6	69,9	45,3	306,4	164,7	312,0	438,2	16,8	SD
2012	SD	SD	SD	SD	84,8	55,2	91,1	32,0	240,0	SD	SD	0,0
2013	2,0	0,0	1,0	0,5	131,1	184,3	102,6	210,0	177,9	271,2	123,4	1,0
2014	1,0	0,0	1,8	3,3	52,6	43,2	16,8	152,8	341,3	413,7	130,3	0,0
2015	0,0	0,0	0,0	72,5	84,6	111,7	123,7	89,7	179,7	230,6	163,3	0,3
2016	0,0	0,0	0,0	0,5	102,1	175,5	144,2	357,8	318,0	259,7	203,6	85,2
2017	0,0	0,3	0,0	26,5	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
<b>Promedio</b>	0,3	0,7	3,1	25,5	175,1	153,2	153,6	241,8	280,7	384,8	102,4	16,5
<b>SD: Sin dato</b>												
<b>Promedio de precipitación anual: 1537,7</b>												

Temperatura Máxima Promedio (°C)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	SD	SD	SD	34,5	32,8	32,3	31,4	32,2	31	30,9	32,5	32,8
2005	33,1	33,7	33,8	34,8	32,8	30,3	32	32	31,4	29,1	31,8	SD
2006	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2007	33,4	34,5	35,3	34,4	32,8	SD	31,2	29,8	30,1	28,3	31	31,8
2008	32,5	33,2	34,1	34,4	31,7	31	30,9	30,2	29,7	SD	30,4	31
2009	32,6	33,3	33,9	34,6	32,4	31	32	32	32	30,6	30,8	32,8
2010	33,3	34,6	34,9	35	31,9	30	29,9	28,7	29,3	30,2	29,6	30,1
2011	32,3	33,4	33,9	33,7	32,7	30,6	30,7	30,9	30,3	29,1	30	SD
2012	SD	SD	SD	SD	32	31,9	32,6	31,7	31,8	SD	31,4	32,9
2013	34	34,5	34,1	34,9	32,7	30,9	31,2	31,1	30,2	30,4	30,6	32,4
2014	33,5	34,5	34,4	35,1	33,6	33,3	34,9	32,5	30,8	30,2	31,3	32,6
2015	33,6	34,4	35,6	36,1	35	33,7	34	34,2	32,4	31,8	31,6	33,6
2016	33,9	34,4	35,8	34,7	33,6	31,4	32	31,6	31	30,5	30,5	30,9
2017	32,2	33	34,5	34,2	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

SD: Sin dato

Temperatura Mínima Promedio (°C)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	SD	SD	SD	25,5	24,8	23,9	23,1	23,5	23,1	23,4	22,9	23
2005	24	24,3	24,6	25,4	24,7	23,8	23,8	23,4	23,5	23,5	23,1	SD
2006	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2007	24,9	24,2	25,2	24,7	23,8	SD	23,1	22,9	23,2	23,3	22,6	22,1
2008	23,2	23,4	24,2	24,5	23,7	23,2	23	22,9	23,4	SD	23	22,6
2009	23,3	24,3	24,4	25,4	23,9	23,5	23,7	23,4	23,3	23,2	23,1	23,2
2010	23,5	24,8	24,9	25,4	24,7	23,7	23,2	23,6	23,3	23,1	22	21,8
2011	22	23,5	24,1	24,1	24,4	23,4	23	22,9	23,1	22,9	22,3	SD
2012	SD	SD	SD	SD	23,7	23,5	23,6	23,1	23	SD	22,7	22,9
2013	24,2	24,2	24,8	25	23,9	23,3	22,8	23,1	23,1	22,9	22,4	22,4
2014	23,1	24,2	24,5	25,5	24,3	24,3	25,1	23,4	23	23	22,9	23
2015	24,2	23,8	24,8	25,4	25	25	24,6	24,3	23,3	23,6	23,4	24,2
2016	24	25,1	26,1	25,8	24,7	23,6	23,3	23,4	23	23,1	22,7	22,5
2017	22,5	23,5	24,8	25	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

SD: Sin dato

Temperatura Promedio (°C)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	SD	SD	SD	29	27,7	27,2	26,4	26,7	26,1	26,4	26,6	27,2
2005	27,7	28	28,2	29,2	27,8	26,4	27	26,6	26,3	25,7	26,3	SD
2006	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2007	28,3	28,3	29,1	28,3	27,2	SD	26,1	25,6	25,8	25,3	26,1	26,1
2008	27	27,4	28,2	28,4	26,7	26,3	25,8	25,7	26,1	SD	25,6	26,3
2009	27,2	27,8	27,9	28,8	27,2	26,6	27	26,7	26,7	25,9	26,4	27,2
2010	27,4	28,6	28,9	28,8	27,6	26,1	25,6	26,1	25,5	25,9	25	25,3
2011	26,4	27,7	27,8	28	27,6	26,1	25,9	26	25,8	25,2	25,6	SD
2012	SD	SD	SD	SD	27	27	27,3	26,4	26,4	SD	26,3	27
2013	28,1	28	28,4	28,6	27,3	26,3	26,2	26,1	25,8	25,6	25,6	26,5
2014	27,3	28,1	28,6	29	27,9	27,8	28,9	26,8	25,8	25,7	26,2	26,9
2015	27,9	28	28,8	29,4	29	28,4	28,3	28,2	27	26,9	26,5	28,2
2016	28	28,7	29,5	29,5	28,3	26,6	26,9	26,7	26,1	25,8	25,6	25,9
2017	26,5	27,4	28,7	28,8	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
<b>Promedio</b>	27,44	28,00	28,55	28,82	27,66	26,78	26,74	26,47	26,09	25,84	25,95	26,62

SD: Sin dato

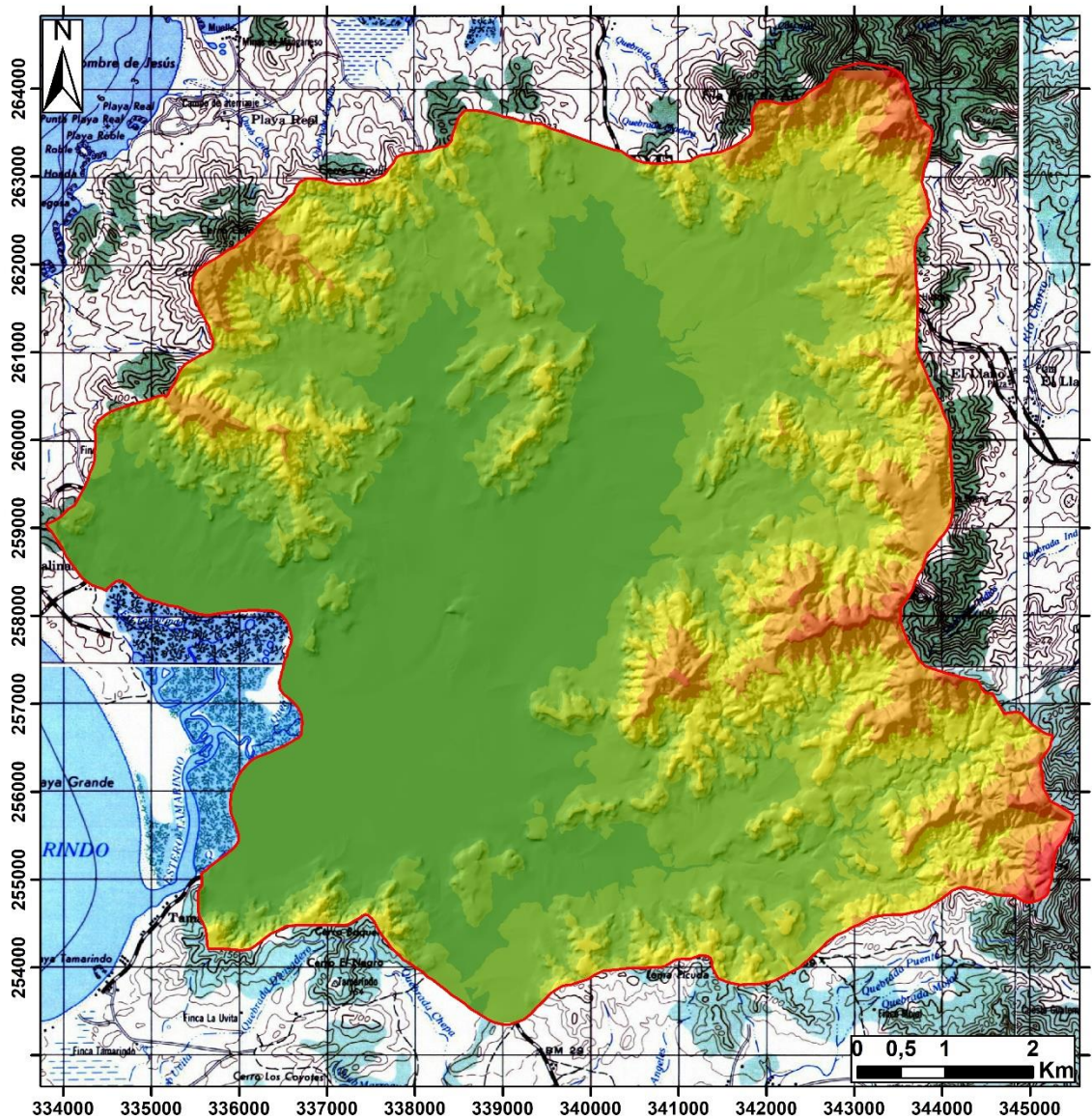
**13.8**

***ANEXO 8. Pruebas de infiltración.***

No. de prueba	Norte	Este	K cm/min	K cm/s	K m/d	Tipo de Permeabilidad	Tipo de suelo	Unidad geológica
1	259323	334313	0,0643	1,07E-03	0,9259	Moderada	arena	Radiolarita
2	258969	335501	0,0054	9,00E-05	0,0778	Baja	limo	Aluvial
3	260936	336022	0,0996	1,66E-03	1,4342	Moderada	arena	Coluvio
4	259509	336177	0,0512	8,53E-04	0,7373	Moderada	limo	Radiolarita
5	258421	336612	0,0066	1,10E-04	0,0950	Moderada	limo	Coluvio
6	255262	336304	0,0012	2,00E-05	0,0173	Baja	limo	Aluvial
7	254362	336314	0,3272	5,45E-03	4,7117	Moderada	arena	Basalto
8	262940	337682	0,0383	6,38E-04	0,5515	Moderada	limo	Radiolarita
9	260977	337764	0,0538	8,97E-04	0,7747	Moderada	limo	Aluvial
10	257829	337326	0,0069	1,15E-04	0,0994	Moderada	limo	Aluvial
11	255628	337512	0,0025	4,17E-05	0,0360	Baja	limo	Aluvial
12	254340	337993	0,0209	3,48E-04	0,3010	Moderada	limo	Basalto
13	263432	338020	0,0302	5,03E-04	0,4349	Moderada	limo	Radiolarita
14	262378	338401	0,0132	2,20E-04	0,1901	Moderada	limo	Aluvial
15	259046	338741	0,0023	3,83E-05	0,0331	Baja	limo	Aluvial
16	258201	338928	0,0289	4,82E-04	0,4162	Moderada	limo	Radiolarita
17	256131	338562	0,0028	4,67E-05	0,0403	Baja	limo	Aluvial
18	255358	338413	0,0040	6,67E-05	0,0576	Baja	limo	Basalto
19	260402	339713	0,0120	2,00E-04	0,1728	Moderada	limo	Intrusivo
20	257002	339996	0,0038	6,33E-05	0,0547	Baja	limo	Basalto
21	254365	339686	0,2095	3,49E-03	3,0168	Moderada	arena	Radiolarita
22	254273	339278	0,1338	2,23E-03	1,9267	Moderada	arena	Aluvial
23	261311	340334	0,0018	3,00E-05	0,0259	Baja	limo	Aluvial
24	258444	340822	0,3770	6,28E-03	5,4288	Moderada	arena	Intrusivo
25	255806	340407	0,0616	1,03E-03	0,8870	Moderada	arena	Basalto
26	262818	340894	0,0722	1,20E-03	1,0397	Moderada	arena	Intrusivo
27	262168	341569	0,0396	6,60E-04	0,5702	Moderada	limo	Aluvial
28	260409	341860	0,0552	9,20E-04	0,7949	Moderada	limo	Intrusivo
29	259264	341120	0,2752	4,59E-03	3,9629	Moderada	arena	Aluvial
30	256571	343346	0,0454	7,57E-04	0,6538	Moderada	limo	Basalto
31	255947	342101	0,0008	1,33E-05	0,0115	Baja	limo	Basalto
32	254323	342834	0,0146	2,43E-04	0,2102	Moderada	limo	Intrusivo
33	261517	343197	0,0189	3,15E-04	0,2722	Moderada	limo	Radiolarita
34	254446	343637	0,0230	3,83E-04	0,3312	Moderada	limo	Intrusivo

**13.9**

***ANEXO 9. Modelo de elevación del terreno  
para la zona de estudio.***



**Simbología**

Elevaciones (m.s.n.m.)

- 3 - 30
- 30 - 60
- 60 - 90
- 90 - 150
- 150 - 250
- 250 - 350
- 416
- Zona de estudio

Base cartográfica hojas: Matapalo,  
Villarreal, Diria y Belen,  
escala 1:50000 del I.G.N.C.R.

Proyección Ocotepeque Lambert Norte  
Datum Ocotepeque 1935  
Esferoide Clarke 1866

**13.10**

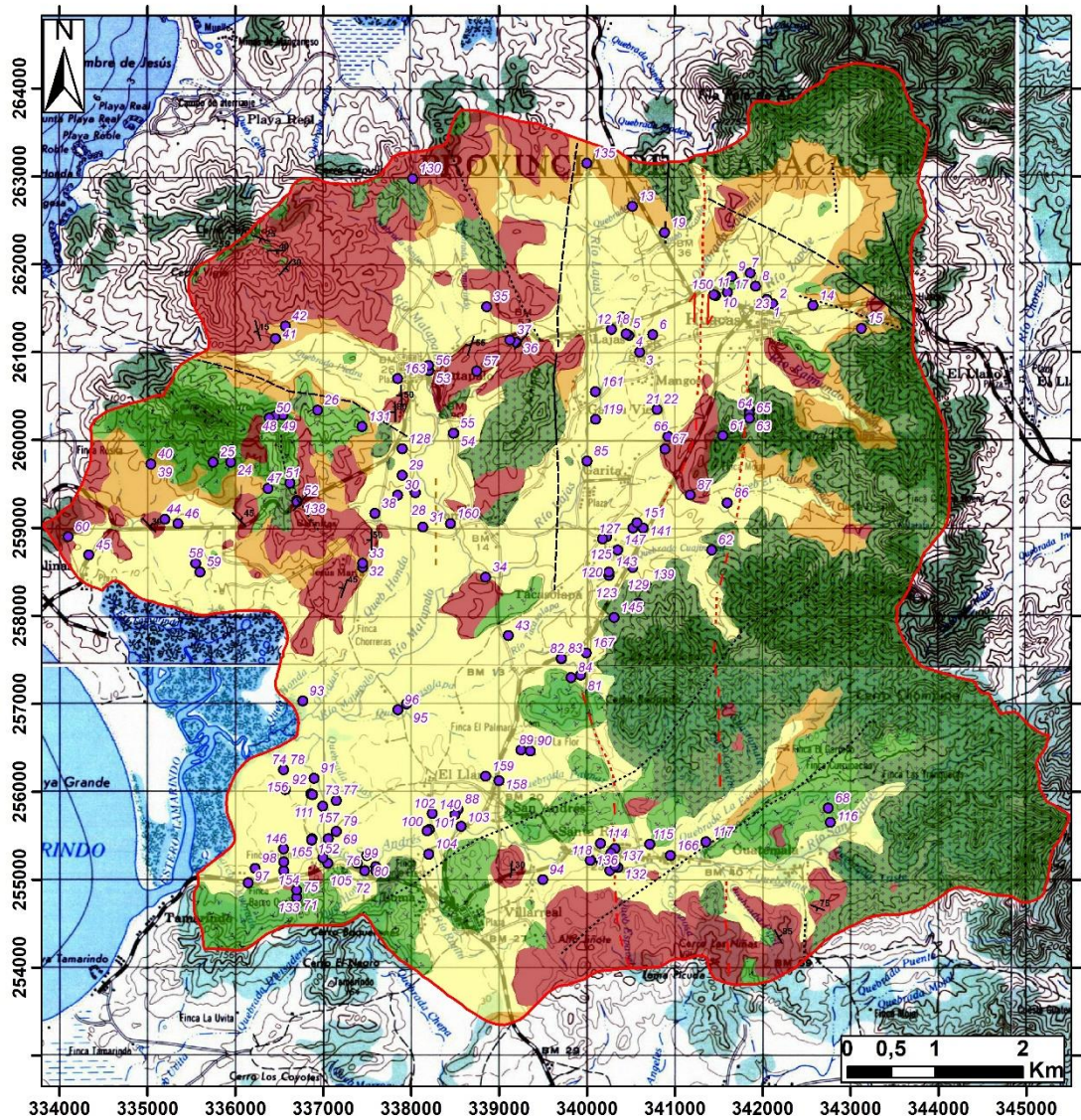
***ANEXO 10. Cuadro de concesiones del  
MINAE.***

Concesión	Expediente	Estado	Nombre	Fuente	Norte	Este	Agropecuaria	Riego	Consumo humano	Turismo	Pozo	Observaciones
1	664 R	Inscrito	AyA	Acuífero	261441	341723					Sin código	
2	664 R	Inscrito	AyA	Acuífero	261559	342045					Sin código	
3	664 R	Inscrito	AyA	Acuífero	261551	342117					Sin código	
4	6932 P	Otorgado	Condominio Horizontal Residencial Turístico Comercial	Acuífero	261000	340600		7,75	10,82	1,43	MTP-135	
5	7251 P	Otorgado	Condominio Horizontal Residencial Turístico Comercial	Acuífero	261190	340480		12,02		2,98	MTP-99	
6	7251 P	Otorgado	Condominio Horizontal Residencial Turístico Comercial	Acuífero	261210	340450		22,02		2,98	MTP-113	
7	7252 P	Otorgado	Desarrollos Hoteleros Guanacaste S.A.	Acuífero	261200	340750		10,07		4,93	MTP-98	
8	5887 P	Cancelado por vencimiento	Karl heinz Platzer	Acuífero	261900	341860				1,85	MTP-135	
9	5887 P	Cancelado por vencimiento	Karl heinz Platzer	Acuífero	261750	341920				1,85	MTP-138	
10	5887 P	Cancelado por vencimiento	Karl heinz Platzer	Acuífero	261860	341650				1,85	MTP-137	
11	17436 P	Solicitud nueva	Gladys Pastrana Arroyo	Acuífero	261646	341466						
12	5887 P	Cancelado por vencimiento	Karl heinz Platzer	Acuífero	261680	341600				1,85	MTP-136	
13	5887 P	Cancelado por vencimiento	Karl heinz Platzer	Acuífero	261260	340280				1,85	MTP-142	
14	14677 P	Solicitud nueva	Luigi Sadella	Acuífero	262660	340519				0,18	MTP-331	
15	15291 P	Inscrito-artesanal	Ecoeventos del Norte S.A.	Acuífero	261532	342574			0,02		Sin código	
16	12448 P	Otorgado	Vista Linda de Huacas y Atardeceres S.A.	Acuífero	261270	343125			0,1		MTP-194	
17	12503 P	Otorgado	Compañía Pueblo Turístico Conchal Brasilito S.A.	Acuífero	261900	341860		0,42	0,15	0,63	MTP-135	
18	12503 P	Otorgado	Compañía Pueblo Turístico Conchal Brasilito S.A.	Acuífero	261680	341600		0,42	0,15	0,63	MTP-136	
19	12503 P	Otorgado	Compañía Pueblo Turístico Conchal Brasilito S.A.	Acuífero	261260	340280			0,15	0,63	MTP-142	
20	10323 P	Otorgado	Casa Nuestra de Brasilito LTDA.	Acuífero	262360	340885			0,15		Sin código	
21	10612 P	Solicitud nueva	Marcos Ledezma Vargas	Acuífero	261600	342050					Sin código	
22	10806 P	Solicitud nueva	Marcial López López	Acuífero	260350	340800					ILG-81	
23	10865 P	Archivar sin más trámite	Hermenegildo Obando López	Acuífero	260350	340800					Sin código	
24	12503 P	Otorgado	Compañía Pueblo Turístico Conchal Brasilito S.A.	Acuífero	261750	341920			0,15	0,63	MTP-138	
25	12590 P	Cancelado por morosidad	Cambella de los Sueños S.A.	Acuífero	259750	335950			0,03		MTP-224	
26	12590 P	Cancelado por morosidad	Cambella de los Sueños S.A.	Acuífero	259750	335750			0,03		MTP-225	
27	12991 P	Otorgado	Global Trust Firm S.A.	Acuífero	260341	336938			0,06		MTP-329	
28	13005 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	259450	338025		0,5			MTP-118	
29	13005 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	259400	338050		2,5			MTP-116	
30	13005 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	259600	337900		2,5			MTP-111	
31	13005 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	259375	337850		2			MTP-117	
32	13005 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	259010	338135		2,64			MTP-144	
33	13007 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	258555	337450		0,41	0,09		MTP-112	
34	13007 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	258600	337450		1,03	0,1		MTP-115	
35	13171 P	Otorgado	Costa Rica Utopian Investments S.A.	Acuífero	258440	338850	0,08	1,82	0,02		MTP-159	
36	13407 P	Otorgado	María Isabel Martínez Camacho	MTP-233	261518	338860			0,05		MTP-233	
37	13506 P	Solicitud nueva	Finca Agrícola Papaya Limitada S.A.	Acuífero	261110	339200					MTP-232	
38	13506 P	Solicitud nueva	Finca Agrícola Papaya Limitada S.A.	Acuífero	261138	339127					Sin código	
39	13888 P	Cancelado	Bryan And Carl Investments S.A.	Acuífero	259166	337589					Sin código	
40	14511 P	Otorgado	El Llano de Cabo Velas S.A.	Acuífero	259728	335043	0,05			0,95	MTP-335	
41	14512 P	Archivar sin más trámite	Cabo Velas Developments Group LTDA.	Acuífero	259728	335043					MTP-336	
42	14513 P	Cancelado	Las Nubes de Matapalo LTDA.	Acuífero	261153	336458					MTP-337	
43	14514 P	Archivar sin más trámite	Cabo Velas Equestrian Estate LTDA.	Acuífero	261297	336572					MTP-338	
44	16592 P	Inscrito-artesanal	Tierras Verdes de la Pampa SRL.	Acuífero	257776	339107			0,02		Sin código	Artesanal
45	416 R	Inscrito	Asada Playa Grande, Cabo Velas de Santa Cruz	Acuífero	259100	335200			5,48		MTP-249	
46	416 R	Inscrito	Asada Playa Grande, Cabo Velas de Santa Cruz	MTP-342	258694	334336			1,73		MTP-245	
47	418 R	Inscrito	Asada Escondido de Salinas	Acuífero	259050	335350			1		Sin código	Salinas 1
48	418 R	Inscrito	Asada Escondido de Salinas	Acuífero	259450	336375					MTP-318	

49	478 R	Solicitud nueva	Asada de Corona de Cabo Velas	Acuífero	260286	336543			1		Sin código	Pozo 2
50	478 R	Solicitud nueva	Asada de Corona de Cabo Velas	Acuífero	260271	336450			1		Sin código	Pozo 3
51	478 R	Solicitud nueva	Asada de Corona de Cabo Velas	Acuífero	260252	336389			1		MTP-215	Pozo 4
52	478 R	Solicitud nueva	Asada de Corona de Cabo Velas	Acuífero	259511	336625			1		MTP-302	
53	478 R	Solicitud nueva	Asada de Corona de Cabo Velas	Acuífero	259312	336701					MTP-214	
54	543 R	Inscrito	Asada de Lomas de Matapalo	Acuífero	260791	338207			1		MTP-76	
55	543 R	Inscrito	Asada de Lomas de Matapalo	Acuífero	260079	338488			1,04		Sin código	Pozo 2
56	688 R	Inscrito	Matapalo, Cabo Velas	Acuífero	260077	338483			3,7		Sin código	
57	688 R	Inscrito	Matapalo, Cabo Velas	Acuífero	260793	338203			1,8		MTP-76	
58	688 R	Inscrito	Matapalo, Cabo Velas	Acuífero	260785	338749			3,01		MTP-76	
59	7780 P	Cancelado por vencimiento	Lawrence T.	Acuífero	258600	335550				0,1	MTP-122	
60	7780 P	Cancelado por vencimiento	Lawrence T.	Acuífero	258500	335600					Sin código	
61	8619 P	Cancelado	S.U.A. Las Terrazas de Cabo Vela	Acuífero	258900	334100					MTP-168	
62	11952 P	Solicitud nueva	Casa Comanc S.A.	Acuífero	260050	341550					MTP-221	
63	12176 P	Cancelado por vencimiento	Sunlight Plata S.A.	Acuífero	258750	341420			1	2,3	MTP-301	
64	12772 P	Inscrito	Acacia Lluvia y Sol S.A.	Acuífero	260350	341850			0,02		Sin código	Artesanal
65	12773 P	Inscrito	Acacia Lluvia y Sol S.A.	Acuífero	260300	341850			0,03		Sin código	Artesanal
66	12774 P	Inscrito	Acacia Lluvia y Sol S.A.	Acuífero	260250	341850			0,02		Sin código	Artesanal
67	12887 P	Otorgado	Hotelera Playa Flamingo S.A.	Acuífero	260040	340925			0,2	0,25	MTP-62	
68	13269 P	Solicitud nueva	Fermin Benages Y Marie Laure Sariac	Acuífero	259899	340890					Sin código	Artesanal
69	13664 P	Inscrito-artesanal	Kyoto Tierras Centroamericanas S.A.	Acuífero	255813	342748			0,03		Sin código	Artesanal
70	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	255550	337150			0,12	0,06	VI-67	
71	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	255275	337500			1,74	1,67	VI-93	
72	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	254800	336700			0,12	0,06	0,12	VI-102
73	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	255100	337475			0,32	0,1	VI-113	
74	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	255900	337150			0,21	0,08	VI-94	
75	13705 P	Otorgado	Desarrollo Bahía Tamarindo S.A.	Acuífero	256250	336550			2,71	1,19	VI-92	
76	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	254800	336700			0,02	0,05	0,03	VI-102
77	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	255100	337475			0,1	0,26	0,14	VI-113
78	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	255900	337150				0,16	VI-94	
79	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	256250	336550			0,19	0,52	0,29	VI-92
80	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	255550	337150			0,02	0,05	0,03	VI-67
81	13706 P	Otorgado	Consultoría y Constructora Turística STP S.A.	Acuífero	255275	337500			0,28	0,79	0,43	VI-93
82	13852 P	Solicitud nueva	El Tun Tun de Tamarindo de Santa Cruz S.A.	Acuífero	257329	339932					-	Artesanal
83	14405 P	Solicitud nueva	El Tun Tun de Tamarindo de Santa Cruz S.A.	Acuífero	257513	339712					-	Artesanal 1
84	14405 P	Solicitud nueva	El Tun Tun de Tamarindo de Santa Cruz S.A.	Acuífero	257518	339711					-	Artesanal 2
85	14405 P	Solicitud nueva	El Tun Tun de Tamarindo de Santa Cruz S.A.	Acuífero	257299	339822					-	Artesanal 3
86	14786 P	Inscrito-artesanal	Orma Verda OV Limitada	Acuífero	259760	340003			0,1		Sin código	Artesanal
87	15059 P	Denegado	Sociedad de Usuarios de Agua de El Mojal	Acuífero	259286	341599					-	Artesanal
88	15421 P	Inscrito-artesanal	Swan Waters Limitada	Acuífero	259377	341179			0,02		Sin código	Artesanal
89	15458 P	Solicitud nueva	Asada Playa Tamarindo de Santa Cruz de Guanacaste	Acuífero	255800	338534					Sin código	
90	15908 P	Solicitud nueva	Asada Santa Rosa	Acuífero	256475	339250					Sin código	
91	15908 P	Solicitud nueva	Asada Santa Rosa	Acuífero	256464	339359					Sin código	
92	17026 P	Solicitud nueva	Dirección de Agua-MINAE	Acuífero	256153	336897						
93	17026 P	Solicitud nueva	Dirección de Agua-MINAE	Acuífero	256023	336571						
94	17026 P	Solicitud nueva	Dirección de Agua-MINAE	Acuífero	257033	336770						
95	2945 P	Otorgado	Victor Manuel Chaves Molina	Acuífero	255000	339500			0,17	0,03	0,35	Sin código
96	437 R	Inscrito	Asada Playa Tamarindo de Santa Cruz de Guanacaste	Acuífero	257000	337950			10		VI-145	
97	437 R	Inscrito	Asada Playa Tamarindo de Santa Cruz de Guanacaste	Acuífero	256931	337851			7,31		Sin código	Pozo 2
98	437 R	Inscrito	Asada Playa Tamarindo de Santa Cruz de Guanacaste	Acuífero	254962	336147			1,3		VI-20	
99	437 R	Inscrito	Asada Playa Tamarindo de Santa Cruz de Guanacaste	Acuífero	255129	336228			3,11		Sin código	Pozo 4

100	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255186	337389					Sin código	Pozo Leopard
101	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255570	338208					VI-115	Pozo 2 viejo
102	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255554	338184					Sin código	Pozo 3
103	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255752	338243					Sin código	Pozo 4 Daniel
104	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255606	338570					Sin código	Pozo Tamy
105	542 R	Solicitud nueva	Asada de Villarreal de Santa Cruz	Acuifero	255290	338203					VI-17	Pozo Virgilio
106	602 R	Otorgado	AyA	Albin 2	255185	337055			2,98		VI-226	Albin 2
107	602 R	Otorgado	AyA	2 Virgilio	255974	336860			1,99		VI-218	2 Virgilio
108	602 R	Otorgado	AyA	3 Papaturre	255836	336997			3,3		VI-219	3 Papaturre
109	602 R	Otorgado	AyA	4 Pochote	255465	336874			1,99		VI-220	4 Pochote
110	602 R	Otorgado	AyA	5 Albin	255467	337061			2,65		VI-221	5 Albin
111	602 R	Otorgado	AyA	Pochote 4B	255451	336872			2,65		VI-224	Pochote 4B
112	602 R	Otorgado	AyA	Virgilio 2B	255966	336879			2,65		VI-225	Virgilio 2B
113	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	VI-230	255354	340321			1,44		VI-230	Colacho
114	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	VI-231	255303	340274			3,41		VI-231	Black Stallion
115	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	VI-232	255410	340156			3,45		VI-232	Viejo redondel
116	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	VI-233	255402	340718			1,51		VI-233	La Tebita
117	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	Acuifero	255652	342773			1,8		Sin código	Pozo 7
118	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	Acuifero	255430	341358					Sin código	Pozo 1
119	699 R	Inscrito	Asada Santa Rosa	Acuifero	255218	340041					Sin código	Pozo 2
120	727 R	Inscrito	AyA	Acuifero	260236	340102			4,5		MTP-21	La Garita
121	730 R	Inscrito	Lomas La Josefina Los Robles	MTP-349	258459	340253			3,06		MTP-349	
122	730 R	Inscrito	Lomas La Josefina Los Robles	MTP-350	258137	340599			2,11		MTP-350	
123	730 R	Inscrito	Lomas La Josefina Los Robles	MTP-351	258143	340583			1,34		MTP-351	
124	730 R	Inscrito	Lomas La Josefina Los Robles	MTP-352	258459	340253			2,01		MTP-352	
125	8056 P	Otorgado	Pavan y EL Sol del Pacifico S.A.	Acuifero	259000	340525			0,05		MTP-147	
126	8797 P	Otorgado	Inversiones Trecientos Cincuenta S.A.	Acuifero	258900	340225	0,54	0,2	1,91		MTP-170	
127	12503	Otorgado	PUEBLO TURISTICO CONCHAL BRASILITO S.A.	Acuifero	261860	341650			0,15	0,63	MTP-137	
128	730	Inscrito	LOMAS LA JOSEFINA LOS ROBLES	Acuifero	258876	340181			2,39		MTP-170	
129	10801	Solicitud nueva	FINCA LOS HORCONES DE CARTAGENA S.A.	Acuifero	259900	337900					MTP-196	
130	730	Inscrito	LOMAS LA JOSEFINA LOS ROBLES	Acuifero	258552	340522			1,80		MTP-203	
131	12580	Otorgado	S.U.A. CONDOR VIEWS	Acuifero	262975	338021	0,08	1,02	0,40		MTP-234	
132	14407	Solicitud nueva	ERCK EDUARDO BRENES JENKINS	Acuifero	260153	337444					MTP-285	
133	699	Inscrito	ASADA DE SANTA ROSA, SANTA CRUZ	Acuifero	255137	340355			2,74		VI-18	
134	13701	Solicitud nueva	DESARROLLO BAHIA TAMARINDO S.A	Acuifero	254880	336700	0,02	0,05	0,03		VI-102	
135	699	Inscrito	ASADA DE SANTA ROSA, SANTA CRUZ	Acuifero	255217	340160					VI-142	Pozo redondel
136	6332	Solicitud nueva	CONDOMINIO HORIZONTAL RESIDENCIAL TURISTICO COMERCIAL	Acuifero	263150	340000						Pozo 1
137	699	Inscrito	ASADA DE SANTA ROSA, SANTA CRUZ	Acuifero	255104	340264			3,56		Sin código	Pozo 3/Black Stallion
138	699	Inscrito	ASADA DE SANTA ROSA, SANTA CRUZ	Acuifero	255156	340320						Pozo 4
139	478	Solicitud nueva	ASADA DE CORONA DE CABO VELAS	Acuifero	259297	336704			0,56		Sin código	Pozo 1
140	730	Inscrito	LOMAS LA JOSEFINA LOS ROBLES	Acuifero	258359	340674			0,90		Sin código	
141	15458	Solicitud nueva	ASADA PLAYA TAMARINDO DE SANTA CRUZ DE GUANACASTE	Acuifero	255740	338500					Sin código	
142	7867	Cancelado	INVERSIONES PORDENONESE, S.A.	Acuifero	259000	340640			1,1		MTP-123	
143	6616	CANCELADO	EL GABUZO S.A.	Acuifero	255250	337000					VI-3	
144	8077	CANCELADO POR VENCIMIENTO	ISABELE DE TAMARINDO S.A.	Acuifero	258500	340250			0,5		MTP-149	
145	6921	CANCELADO POR VENCIMIENTO	SERVICIOS BEKO S.A	Acuifero	255100	336555			10		ILG-777	
146	11950	ARCHIVAR SIN MAS TRAMITE	DUENDES DE ARENAS S.A.	Acuifero	257981	340313					MTP-223	
147	6921	CANCELADO POR VENCIMIENTO	SERVICIOS BEKO S.A	Acuifero	255350	336550			6		VI-116	
148	8057	CANCELADO POR VENCIMIENTO	CREATIVOS DE TAMARINDO, S.A.	Acuifero	258750	340350			5		MTP-148	
149	10865	ARCHIVAR SIN MAS TRAMITE	HERMENEGILDO OBANDO LOPEZ	Acuifero	261400	340400					MTP-198	
150	8026	OTORGADO	LEOPARD SHARK LIMITADA	Acuifero	255150	337600			0,5		VI-56	

151	17026	SOLICITUD NUEVA	DIRECCION DE AGUA - MINAE	Acuífero	261654	341447						MTP-355
152	8006	CANCELADO POR MOROSIDAD	NEW HORIZONS S.A.	Acuífero	259060	340570			0,5			MTP-146
153	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	255550	337150		0,02	0,05	0,03		VI-67
154	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	255275	337500		1,29	0,19	0,02		VI-93
155	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	254880	336700		0,02	0,05	0,03		VI-102
156	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	255100	337475		0,43	0,06	0,01		VI-113
157	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	256250	336550		0,86	0,13	0,01		VI-92
158	13703	CANCELADO POR MOROSIDAD	COORDINADORA DEL CENTRO S.A.	Acuífero	255900	337150			0,16			VI-94
159	12209	SOLICITUD NUEVA	PROPIEDADES TRES MONTAÑAS S.A.	Acuífero	256125	339000						VI-117
160	12209	SOLICITUD NUEVA	PROPIEDADES TRES MONTAÑAS S.A.	Acuífero	256175	338850						VI-118
161	602	OTORGADO	AYA	Acuífero	259050	338450			2,92			MTP-72
162	602	OTORGADO	AYA	Acuífero	260550	340100			2,79			MTP-70
163	602	OTORGADO	AYA	Acuífero	260850	338200			4,6			MTP-76
164	602	OTORGADO	AYA	Acuífero	260700	337850						MTP-73
165	6597	CANCELADO	LA FILACTERIA S.A. C/RUSSELL E. WENRICH	Acuífero	255100	337600						VI-3
166	6921	CANCELADO POR VENCIMIENTO	SERVICIOS BEKO S.A	Acuífero	255200	336555			3			ILG-776
167	17026	SOLICITUD NUEVA	DIRECCION DE AGUA - MINAE	Acuífero	255273	340952						VI-236
168	17026	SOLICITUD NUEVA	DIRECCION DE AGUA - MINAE	Acuífero	257579	339995						MTP-353



**Leyenda**

- Depósito Aluvial
- Depósito Coluvial
- Radiolaritas
- Intrusivos
- Basaltos

**Simbología**

- Concesiones
- Buzamientos
- Alineamiento geológico
- Falla sugerida cubierta
- Falla paleotectónica
- Falla neotectónica cubierta
- Falla neotectónica sugerida
- Falla paleotectónica cubierta
- Zona de estudio

Modificado de  
Denyer et al. (2014).

Base cartográfica hojas: Matapalo,  
Villarreal, Diria y Belen,  
escala 1:50000 del I.G.N.C.R.

Proyección Ocotepeque Lambert Norte  
Datum Ocotepeque 1935  
Esferoide Clarke 1866

**13.11**

***ANEXO 11. Cálculo de la extracción del agua  
subterránea por pozo.***

No. de pozo	Uso	Caudales (L/s)					Subcuenca	Volumen (m3/año)	Volumen (L/s)
		Norte	Este	Concesionario	Reporte perforación	Considerado			
INV-41	Doméstico	259286	341599	SD	3	3,00	Río Lajas	31104	1,00
INV-90	Abastecimiento público	260042	340315	4,5	2,53	4,50	Río Lajas	139968	4,50
INV-91	Abastecimiento público	259050	335575	SD	1	1,00	Playa Grande	31104	1,00
MTP-16	Doméstico	260400	338200	SD	2,78	2,78	Río Lajas	28823	0,93
MTP-19	Abastecimiento público	261100	341050	SD	SD	9,50	Río Lajas	295488	9,50
MTP-20	Doméstico	261540	342100	SD	3,3	3,30	Río Lajas	34214	1,10
MTP-21	Doméstico	259900	340050	4,5	6,3	4,50	Río Lajas	46656	1,50
MTP-62	Turístico y consumo humano	260040	340925	0,45	1,89	0,45	Río Lajas	6998	0,23
MTP-70	Abastecimiento público	260550	340100	2,79	6,42	2,79	Río Lajas	86780	2,79
MTP-76	Abastecimiento público	260776	338200	3,1	7	3,10	Río Lajas	96422	3,10
MTP-94	Turístico, riego y consumo humano	261050	340600	20	11	20,00	Río Lajas	622080	20,00
MTP-98	Turístico y riego	261300	340800	15	11	15,00	Río Lajas	233280	7,50
MTP-99	Turístico y riego	261100	340550	15	10	15,00	Río Lajas	233280	7,50
MTP-105	Doméstico	262200	341120	SD	1,89	1,89	Río Lajas	19596	0,63
MTP-111	Riego	259150	338250	2,5	2,7	2,50	Río Lajas	30240	0,97
MTP-112	Consumo humano y riego	258555	337450	0,5	5	0,50	Río Lajas	15552	0,50
MTP-113	Turístico y riego	261200	340550	25	10	25,00	Río Lajas	388800	12,50
MTP-115	Consumo humano y riego	258600	337450	1,13	7	1,13	Río Lajas	35148	1,13
MTP-116	Riego	258500	338500	2,5	5	2,50	Río Lajas	30240	0,97
MTP-117	Riego	258375	338150	2	5	2,00	Río Lajas	24192	0,78
MTP-118	Riego	257950	338225	0,5	2,5	0,50	Río Lajas	6048	0,19
MTP-122	Turístico	258500	335600	0,1	0,15	0,10	Playa Grande	3110	0,10
MTP-123	Turístico	259000	340640	1,1	SD	1,10	Río Lajas	34214	1,10
MTP-133	Turístico	258460	336870	SD	SD	2,00	Playa Grande	62208	2,00
MTP-134	Doméstico y riego	259119	336002	SD	0,5	0,50	Playa Grande	15552	0,50
MTP-135	Turístico, consumo humano, riego	261900	341860	3,05	10	3,05	Río Lajas	94867	3,05
MTP-136	Turístico, riego y consumo humano	261680	341600	3,05	10,6	3,05	Río Lajas	94867	3,05
MTP-137	Turístico y consumo humano	261860	341650	2,63	10	2,63	Río Lajas	40902	1,32
MTP-138	Turístico y consumo humano	261750	341920	2,63	10	2,63	Río Lajas	40902	1,32
MTP-139	Doméstico y riego	259184	335917	SD	0,5	0,50	Playa Grande	15552	0,50
MTP-140	Doméstico y riego	259052	335896	SD	1	1,00	Playa Grande	31104	1,00
MTP-142	Turístico	261260	340280	2,63	20	2,63	Río Lajas	81804	2,63
MTP-144	Riego	259010	338135	2,64	7	2,64	Río Lajas	31933	1,03
MTP-145	Doméstico	261320	339700	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-146	Doméstico	259050	340550	0,5	1,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-147	Doméstico	258950	340550	0,05	3	0,05	Río Lajas	518	0,02
MTP-148	Doméstico y riego	258800	340450	5	5	5,00	Río Lajas	155520	5,00
MTP-149	Doméstico	258525	340250	0,5	5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-159	Doméstico, riego, agropecuario	258440	338850	1,92	3	1,92	Río Lajas	29860	0,96
MTP-168	Proyecto urbanístico	258900	334100	SD	3,5	3,50	Playa Grande	108864	3,50
MTP-170	Doméstico, turismo y riego	258900	340200	5,04	5	5,04	Río Lajas	156764	5,04
MTP-176	Doméstico	262800	338075	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-177	Doméstico	261475	342150	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-181	Doméstico	259800	340925	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-182	Doméstico	258750	340500	SD	SD	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-183	Doméstico	260000	341050	SD	SD	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-184	Doméstico	258540	340390	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-185	Doméstico	258650	340350	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
MTP-186	Turístico	258750	337240	SD	5	5,00	Río Lajas	60480	1,94
MTP-187	Doméstico	259220	340540	SD	SD	0,95	Río Lajas	9850	0,32
MTP-188	Riego	259450	338025	0,5	0,5	0,50	Río Lajas	6048	0,19
MTP-191	Doméstico	259300	340600	SD	1	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-193	Doméstico	261450	340950	SD	4	4,00	Río Lajas	41472	1,33
MTP-194	Doméstico	261270	343125	0,1	1	0,10	Río Lajas	1037	0,03
MTP-196	Varios	259500	337000	SD	4	4,00	Río Lajas	62208	2,00
MTP-198	Varios	261400	340400	SD	2	2,00	Río Lajas	31104	1,00
MTP-202	Doméstico y riego	258804	336856	SD	1	1,00	Playa Grande	31104	1,00
MTP-203	Abastecimiento público	258478	340668	1,8	3	1,80	Río Lajas	55987	1,80
MTP-214	Doméstico y riego	259325	336700	SD	0,5	0,50	Río Lajas	15552	0,50
MTP-215	Doméstico y riego	260282	336335	1	0,5	1,00	Río Lajas	31104	1,00
MTP-220	Doméstico	261502	343361	SD	0,4	0,40	Río Lajas	4147	0,13
MTP-221	Doméstico	260050	341550	SD	1,5	1,50	Río Lajas	15552	0,50
MTP-223	Doméstico	257981	340313	SD	2,5	2,50	Río Lajas	25920	0,83
MTP-224	Doméstico	259750	335950	0,03	1,5	0,03	Playa Grande	311	0,01
MTP-225	Doméstico	259750	335750	0,03	1,5	0,03	Playa Grande	311	0,01
MTP-232	Doméstico	261110	339200	SD	0,6	0,60	Río Lajas	6221	0,20
MTP-233	Doméstico	261518	338860	0,05	2	0,05	Río Lajas	518	0,02

MTP-234	Consumo humano, riego y agropecuario	262975	338021	1,5	1,5	1,50	Río Lajas	23328	0,75
MTP-245	Abastecimiento público	258400	334300	1,73	9	1,73	Playa Grande	53810	1,73
MTP-248	Doméstico	259946	341287	SD	SD	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-249	Abastecimiento público	259000	335750	5,48	9	5,48	Playa Grande	170450	5,48
MTP-273	Doméstico y riego	262221	338737	SD	1	1,00	Río Lajas	31104	1,00
MTP-285	Doméstico	260153	337444	SD	0,4	0,40	Río Lajas	4147	0,13
MTP-301	Consumo humano y turismo	258750	341420	3,3	14	3,30	Río Lajas	51322	1,65
MTP-302	Doméstico	259511	336625	1	SD	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-309	Doméstico	259638	337167	SD	0,6	0,60	Río Lajas	6221	0,20
MTP-311	Doméstico	258125	340550	SD	1	1,00	Río Lajas	10368	0,33
MTP-315	Doméstico	258842	337089	SD	1	1,00	Playa Grande	10368	0,33
MTP-316	Doméstico	258558	336706	SD	1	1,00	Playa Grande	10368	0,33
MTP-318	Doméstico y riego	259450	336375	SD	1	1,00	Playa Grande	10368	0,33
MTP-319	Doméstico	262360	340885	SD	2	2,00	Río Lajas	20736	0,67
MTP-324	Doméstico y riego	262793	340879	SD	0,8	0,80	Río Lajas	24883	0,80
MTP-329	Doméstico	260341	336938	0,06	4	0,06	Río Lajas	622	0,02
MTP-331	Turístico	262660	340519	0,18	3,14	0,18	Río Lajas	5599	0,18
MTP-335	Turismo y agropecuario	259728	335043	1	SD	1,00	Playa Grande	15552	0,50
MTP-349	Abastecimiento público	258459	340253	4,65	SD	4,65	Río Lajas	144634	4,65
MTP-350	Abastecimiento público	258137	340599	3,12	SD	3,12	Río Lajas	97044	3,12
MTP-351	Abastecimiento público	258143	340583	1,9	SD	1,90	Río Lajas	59098	1,90
MTP-352	Abastecimiento público	258459	340253	2,01	SD	2,01	Río Lajas	62519	2,01
VI-3	Abrevadero	255382	337600	SD	6,3	6,30	Río San Andrés	48989	1,58
VI-11	Abrevadero	255800	339600	SD	2,36	2,36	Río Lajas	18351	0,59
VI-12	Abrevadero	256500	338800	SD	2,36	2,36	Río Lajas	18351	0,59
VI-17	Abastecimiento público	255588	338250	SD	18	18,00	Río San Andrés	559872	18,00
VI-20	Abastecimiento público	255100	336222	1,3	6,3	1,30	Río San Andrés	40435	1,30
VI-53	Riego	255060	339280	SD	3,15	3,15	Río San Andrés	38102	1,23
VI-56	Turístico	255150	337600	0,5	0,75	0,50	Río San Andrés	15552	0,50
VI-62	Doméstico	255450	336550	SD	8	8,00	Río San Andrés	82944	2,67
VI-63	Abastecimiento público	255300	336600	SD	SD	1,50	Río San Andrés	15552	0,50
VI-64	Abastecimiento público	255450	336700	SD	SD	1,50	Río San Andrés	15552	0,50
VI-67	Riego, consumo humano y turismo	255550	337150	0,38	2	0,38	Río San Andrés	11820	0,38
VI-93	Riego, doméstico y turístico	255275	337500	6,41	8	6,41	Río San Andrés	199377	6,41
VI-101	Doméstico	256760	338250	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
VI-102	Riego, consumo humano y turismo	254880	336700	0,6	3,5	0,60	Río San Andrés	18662	0,60
VI-113	Riego, consumo humano y turismo	255133	337475	1,42	6,3	1,42	Río San Andrés	44168	1,42
VI-115	Abastecimiento público	255562	338189	SD	20	20,00	Río Lajas	622080	20,00
VI-117	Doméstico	256125	339000	SD	8	8,00	Río Lajas	82944	2,67
VI-118	Doméstico	259175	338850	SD	8	8,00	Río Lajas	82944	2,67
VI-142	Abastecimiento público	255200	340141	SD	5,5	5,50	Río San Andrés	171072	5,50
VI-145	Abastecimiento público	256928	337844	10	12	10,00	Río Lajas	311040	10,00
VI-149	Doméstico y riego	256570	339000	SD	2	2,00	Río Lajas	62208	2,00
VI-171	Doméstico y riego	254910	342700	SD	1	1,00	Río San Andrés	31104	1,00
VI-175	Doméstico y riego	254910	343595	SD	1	1,00	Río San Andrés	31104	1,00
VI-183	Varios	254244	340479	SD	2	2,00	Río San Andrés	31104	1,00
VI-214	Abastecimiento público	255800	338534	SD	7,8	7,80	Río San Andrés	242611	7,80
VI-218	Abastecimiento público	255974	336860	1,99	1,5	2,20	Río San Andrés	68429	2,20
VI-219	Abastecimiento público	255836	336997	3,3	2,85	3,20	Río San Andrés	99533	3,20
VI-220	Abastecimiento público	255465	336874	1,99	1,6	1,60	Río San Andrés	49766	1,60
VI-221	Abastecimiento público	255467	337061	2,65	1,5	2,40	Río San Andrés	74650	2,40
VI-224	Abastecimiento público	255442	336872	2,65	0,5	3,00	Río San Andrés	93312	3,00
VI-225	Abastecimiento público	255966	336879	2,65	3,78	2,30	Río San Andrés	71539	2,30
VI-226	Abastecimiento público	255485	337055	2,98	3,6	3,40	Río San Andrés	105754	3,40
VI-231	Abastecimiento público	255096	340255	3,41	SD	3,41	Río San Andrés	106065	3,41
VI-233	Abastecimiento público	255188	340718	6,33	SD	6,33	Río San Andrés	196888	6,33
DI-205	Doméstico	256112	344988	SD	0,4	0,40	Río San Andrés	4147	0,13
ILG-46	Doméstico	261600	342050	SD	0,5	0,50	Río Lajas	5184	0,17
ILG-81	Varios	260350	340800	SD	4	4,00	Río Lajas	62208	2,00
ILG-698	Riego y turismo	263150	340000	SD	5	5,00	Río Lajas	77760	2,50
ILG-776	Abastecimiento público	255200	336555	3	6	6,00	Río San Andrés	186624	6,00
ILG-777	Abastecimiento público	255100	336555	10	10	10,00	Río San Andrés	311040	10,00
ILG-778	Abastecimiento público	255350	336350	SD	4	4,00	Río San Andrés	124416	4,00
ILG-779	Abastecimiento público	255150	336650	SD	3	3,00	Río San Andrés	93312	3,00
ILG-836	Turístico	259000	340640	SD	1,1	1,10	Río Lajas	34214	1,10
ILG-842	Turístico	255150	337600	0,5	0,75	0,50	Río San Andrés	5184	0,17

SD	Abastecimiento público	261559	342045	SD	11,3	11,30	Río Lajas	351475	11,30
SD	Abastecimiento público	261551	342117	SD	10	10,00	Río Lajas	311040	10,00
SD	Abastecimiento público	258631	338988	SD	5	5,00	Río Lajas	155520	5,00
SD	Abastecimiento público	260071	339946	SD	10,84	10,84	Río San Andrés	337167	10,84
SD	Abastecimiento público	260233	340108	SD	4,87	4,87	Río San Andrés	151476	4,87
SD	Abastecimiento público	260235	340108	SD	5,58	5,58	Río San Andrés	173560	5,58
SD	Abastecimiento público	255605	338552	SD	14	14,00	Río San Andrés	435456	14,00
SD	Abastecimiento público	254400	338535	SD	3,5	3,50	Río Lajas	108864	3,50
SD	Abastecimiento público	255358	340536	SD	6,3	6,30	Río Lajas	195955	6,30
SD	Abastecimiento público	260777	338205	SD	1,8	1,80	Río Lajas	55987	1,80
SD	Abastecimiento público	260686	338490	SD	3,7	3,70	Río Lajas	115085	3,70
SD	Abastecimiento público	262101	338544	SD	3,5	3,50	Río Lajas	108864	3,50
SD	Abastecimiento público	259034	335183	SD	4	4,00	Playa Grande	124416	4,00
SD	Abastecimiento público	254952	336152	SD	3,96	3,96	Río San Andrés	123172	3,96
SD	Abastecimiento público	255121	336224	SD	3,11	3,11	Río San Andrés	96733	3,11
SD	Consumo humano	261532	342574	SD	0,02	0,02	Río Lajas	207	0,01
SD	Consumo humano	262360	340885	SD	0,15	0,15	Río Lajas	1555	0,05
SD	Consumo humano y turismo	261750	341920	SD	0,78	0,78	Río Lajas	12131	0,39
SD	Consumo humano	257776	339107	SD	0,02	0,02	Río Lajas	207	0,01
SD	Abastecimiento público	259050	335350	SD	1	1,00	Playa Grande	10368	0,33
SD	Abastecimiento público	260286	336543	SD	1	1,00	Río Lajas	10368	0,33
SD	Abastecimiento público	260271	336450	SD	1	1,00	Río Lajas	10368	0,33
SD	Consumo humano	260350	341850	SD	0,02	0,02	Río Lajas	207	0,01
SD	Consumo humano	260300	341850	SD	0,03	0,03	Río Lajas	311	0,01
SD	Consumo humano	260250	341850	SD	0,02	0,02	Río Lajas	207	0,01
SD	Consumo humano	255813	342748	SD	0,03	0,03	Río San Andrés	311	0,01
SD	Consumo humano	259760	340003	SD	0,1	0,10	Río Lajas	1037	0,03
SD	Consumo humano	259377	341179	SD	0,02	0,02	Río San Andrés	207	0,01
SD	Riego, consumo humano y turismo	255000	339500	SD	0,55	0,55	Río Lajas	17107	0,55
SD	Abastecimiento público	256931	337851	SD	7,31	7,31	Río Lajas	227370	7,31
SD	Abastecimiento público	255652	342773	SD	1,8	1,80	Río San Andrés	55987	1,80
SD	Abastecimiento público	259297	336704	SD	0,56	0,56	Río Lajas	17418	0,56
SD	Abastecimiento público	258359	340674	SD	0,90	0,90	Río Lajas	9331	0,30

SD = Sin dato