

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

**Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del  
recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas  
y Agujas, Pacífico Central, Costa Rica**

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

**Estudiante:  
Christian Corrales Díaz  
Carné: A41693**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
Diciembre 2017**



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

## BOLETA DE AUTORIZACIÓN DEL AUTOR PARA PUBLICAR INFORMACIÓN

Yo, Christian Corrales Díaz

N° Cédula: 1-1235-0873

Dependencia Área Funcional de Hidrogeología – UEN Gestión Ambiental

Autorizo al Centro de Documentación e Información del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para incluir y publicar en el sitio Web del AyA y la Base de Datos del SICEDI la siguiente información:

Autor(es): Christian Corrales Díaz

Título: Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas y Aguías, Pacífico Central, Costa Rica.

E-mail: crcorrales@aya.go.cr

N° Teléfono: 8336-4779

Firma: \_\_\_\_\_

*Christian Corrales Díaz*

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

**Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del  
recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas  
y Agujas, Pacífico Central, Costa Rica**

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geología



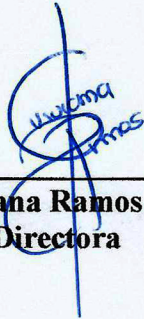
**Estudiante:**  
Christian Corrales Díaz  
Carné: A41693

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
Diciembre 2017**

*Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas y Agujas, Pacífico Central, Costa Rica*

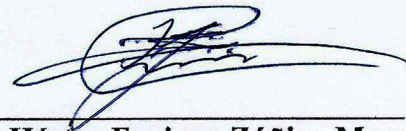
Tesis sometida y aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Licenciatura en Geología y el Comité Evaluador de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología

**Comité Evaluador**



---

**M.Sc. Viviana Ramos Sánchez**  
Directora



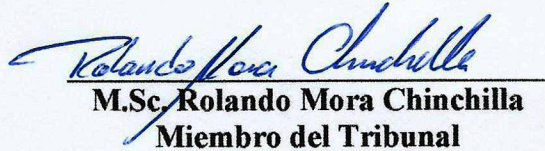
---

**M.Sc. Héctor Enrique Zúñiga Mora**  
Miembro del Comité Asesor



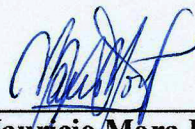
---

**Dr. Marco Barahona Palomo**  
Miembro del Comité Asesor



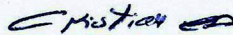
---

**M.Sc. Rolando Mora Chinchilla**  
Miembro del Tribunal



---

**Dr. Mauricio Mora Fernández**  
Director de la Escuela Centroamericana de Geología  
Presidente del Tribunal



---

**Christian Corrales Díaz**  
Candidato

## DEDICATORIA

*A Dios.*

*Y a mi familia: Papi, Mami, Carlitos y Verito.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Costa Rica y al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en especial a las Áreas de Hidrogeología, Cuencas Hidrográficas y Estudios Básicos.

Al equipo asesor M.Sc. Viviana Ramos, Dr. Marco Barahona y M.Sc. Héctor Zúñiga por dedicar su tiempo a este proyecto, por sus enseñanzas, y por brindarme la guía y la motivación constantemente para realizar esta investigación.

A los compañeros del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: Geól. Christian Delgado, Geól. J. Daniel Vargas, Geóg. Kenneth Masis, Marvin Gómez, Carlos Murillo, Francisco Segura, Denis Pessoa y Jonathan Acosta por toda su invaluable colaboración en la realización de las giras y aporte de información.

A los geólogos Mauricio Zúñiga y Mauro Fallas por su acompañamiento y apoyo durante las giras de campo.

Al Laboratorio Nacional de Aguas por su disposición para colaborar con el muestreo de pozos y por los respectivos análisis.

Al Instituto Meteorológico Nacional por los datos climatológicos brindados.

Al Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento por su colaboración con los datos de pozos.

A la Dirección de Agua-MINAE por su apoyo en los constantes monitoreos de pozos.

A los estudiantes de la Práctica Geológica 2015: Luis Pablo González, Ma. Fernanda Jiménez, José M. Jiménez y Cristian Picado por la colaboración en el cartografiado geológico.

A Tecnoambiente Centroamericano y a Ingeofica 2000 S.A.

Al personal de la ASADA Quebrada Ganado y del Hotel Punta Leona.

A la Escuela Centroamericana de Geología, al Laboratorio de Petrografía, y a la Bibliotecóloga Ana Clara Fernández “Clarita” por su colaboración en datos bibliográficos y consejos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Justificación del proyecto .....	1
1.2	Objetivo General.....	1
1.3	Objetivos específicos .....	1
1.4	Ubicación.....	2
2	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Modelos hidrogeológicos conceptuales.....	4
2.2	Evaluación de la infiltración en el suelo.....	4
2.3	Aforos diferenciales.....	4
2.4	Caracterización hidrogeoquímica de las aguas.....	5
2.5	Geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales .....	7
2.6	Intrusión Salina.....	8
2.7	Vulnerabilidad a la contaminación según Metodología GOD.....	10
2.8	Álgebra de mapas .....	11
2.9	Balance Hídrico de Suelos para el cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos .....	12
3	METODOLOGÍA .....	14
4	GEOLOGÍA .....	17
4.1	Antecedentes geológicos .....	17
4.2	Contexto Geológico Regional.....	17
4.2.1	Plateau Oceánico Caribe (P.O.C.) .....	17
4.2.2	Formación Tulín .....	18
4.2.3	Sedimentos pelágicos Campaniano-Maastrichtiano, asociados al Plateau Oceánico Caribe .....	19
4.2.4	Sedimentación epiclástica-calcárea Maastrichtiano-Paleógeno .....	19
4.2.5	Calizas neríticas del Eoceno Medio-Superior.....	19
4.2.6	Formación Punta Carballo .....	20
4.2.7	Contexto Estructural Regional.....	22
4.3	Geomorfología.....	24
4.3.1	Unidades de origen denudacional.....	24
4.3.2	Unidades de origen aluvial .....	27
4.3.3	Unidades de origen marino.....	27
4.3.4	Unidades de origen estructural .....	27
4.4	Geología Local.....	28
4.4.1	Unidad Basaltos Agujitas .....	28
4.4.2	Unidad Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado.....	33
4.4.3	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas .....	35
4.4.4	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.....	37
4.4.5	Unidad de Depósitos Cuaternarios .....	40
4.5	Estructuras Tectónicas Locales.....	43
4.5.1	Falla Chiquero .....	44
4.5.2	Falla Mantas.....	44
4.5.3	Falla Pita .....	45
4.5.4	Falla Agujitas.....	45
4.5.5	Falla Tárcoles.....	46

4.5.6	Falla Costanera .....	46
5	HIDROLOGÍA.....	49
5.1	Datos meteorológicos .....	49
5.1.1	Precipitación .....	49
5.1.2	Temperatura.....	50
5.1.3	Evapotranspiración potencial (ETP).....	52
5.2	Aforos diferenciales.....	54
5.3	Subunidades Geológicas de Recarga (SGR).....	59
5.4	Parámetros físicos del suelo.....	60
5.4.1	Infiltración de suelo .....	60
5.4.2	Pendiente del terreno .....	63
5.5	Cobertura vegetal.....	67
5.6	Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM).....	70
5.7	Coefficiente de infiltración .....	72
5.8	Balance hídrico de suelos para el cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos.....	74
5.8.1	Fracción de lluvia interceptada por el follaje .....	76
5.8.2	Cálculo de infiltración pluvial mensual.....	79
5.8.3	Escorrentía superficial .....	79
5.8.4	Recarga al acuífero .....	82
5.8.5	Cálculo de recarga potencial al acuífero.....	91
6	MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL & CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA .....	99
6.1	Red de monitoreo de niveles de agua .....	99
6.1.1	Unidad de Basaltos Agujitas.....	101
6.1.2	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas .....	102
6.1.3	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.....	102
6.1.4	Unidad de Depósitos Recientes .....	103
6.2	Prospección geofísica .....	106
6.3	Caracterización de los acuíferos .....	110
6.3.1	Unidad de Basaltos Agujitas.....	110
6.3.2	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas .....	114
6.3.3	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.....	119
6.3.4	Unidad de Depósitos Recientes .....	122
6.4	Resumen de parámetros hidráulicos de los acuíferos .....	126
6.5	Cálculo de la extracción y la disponibilidad hídrica de los acuíferos.....	127
7	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA .....	130
8	EVALUACIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA .....	137
9	VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN SEGÚN METODOLOGÍA GOD .....	142
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	148
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
12	ANEXOS .....	157
12.1	ANEXO 1 .....	157
12.2	ANEXO 2 .....	171
12.3	ANEXO 3 .....	173
12.4	ANEXO 4 .....	178
12.5	ANEXO 5 .....	189

12.6	ANEXO 6 .....	198
12.7	ANEXO 7 .....	202
12.8	ANEXO 8 .....	216
12.9	ANEXO 9 .....	220
12.10	ANEXO 10 .....	226
12.11	ANEXO 11 .....	250
12.12	ANEXO 12 .....	254
12.13	ANEXO 13 .....	258
12.14	ANEXO 14 .....	274

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de Ubicación.....	3
Figura 2:	Sección transversal de río para cálculo del caudal que lo atraviesa. (Elaboración propia).....	5
Figura 3:	Diagrama de Piper (Tomado de Fetter, 2001).....	6
Figura 4:	Diagrama de clasificación hidrogeoquímica (Tomado de Fetter, 2001).....	6
Figura 5:	Diagrama de dispositivo geoléctrico Schlumberger. Tomado de Arias (2007). ....	7
Figura 6:	Perfiles hidrogeológico y geoléctrico de un acuífero costero (Tomado de Auge, 2008). ....	8
Figura 7:	Red de flujo de agua dulce en un acuífero costero. (Custodio, E., Llamas, M.R. 1983). ....	9
Figura 8:	Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Tomado de Foster et al., 2002). ....	10
Figura 9:	Operaciones algebraicas con mapas ráster (Elaboración propia).....	11
Figura 10:	Diagrama de Cálculo de Balance Hídrico (Elaboración propia), basado en Schosinsky, 2006. ....	13
Figura 11:	Mapa de fallas transcurrentes y direcciones de deformación (Tomado de Arias, 2000) .....	24
Figura 12:	Mapa geomorfológico .....	26
Figura 13	Columna Cronoestratigráfica Local (Modificado de González <i>et al.</i> 2015) .....	28
Figura 14:	Mapa Geológico .....	31
Figura 15:	Variación mensual de la precipitación de 1990-2014 .....	49
Figura 16:	Mapa de estaciones meteorológicas (Tomado de mapa de temperatura promedio anual de 1980 I.M.N.).....	50
Figura 17:	Variación mensual de la Temperatura media y ETP de 1984-2014.....	53
Figura 18:	Mapa de aforos .....	58
Figura 19:	Mapa de Coeficiente de infiltración promedio por unidad de recarga .....	62
Figura 20:	Mapa de pendientes .....	64
Figura 21:	Mapa DEM.....	65
Figura 22:	Mapa de coeficiente de pendiente Kp .....	66
Figura 23:	Mapa de cobertura vegetal .....	68
Figura 24:	Mapa de Factor-Cobertura .....	69
Figura 25:	Mapa de coeficiente de infiltración del suelo final .....	73
Figura 26:	Histograma del Mapa Raster de Retención para el mes de Noviembre .....	75
Figura 27:	Mapa de Coeficiente de retención del follaje Cfo.....	77
Figura 28:	Mapa de Retención de lluvia para el mes de noviembre.....	78
Figura 29:	Mapa de Precipitación que infiltra para el mes de noviembre .....	80

Figura 30: Mapa de escorrentía superficial para el mes de noviembre .....	81
Figura 31: Mapa de coeficiente de humedad C1 Final para el mes de noviembre .....	83
Figura 32: Mapa de coeficiente de humedad C2 Final para el mes de noviembre .....	85
Figura 33: Mapa Humedad disponible (HD) para el mes de noviembre .....	87
Figura 34: Mapa de evapotranspiración real (ETR) para el mes de noviembre .....	88
Figura 35: Mapa de Humedad del suelo final (Hsf) para el mes de noviembre .....	90
Figura 36: Mapa de Recarga Potencial Rp para Noviembre .....	92
Figura 37: Mapa de Recarga Potencial Anual .....	93
Figura 38: Diagrama de multiplicación de mapas ráster .....	94
Figura 39: Subunidades Geológicas de Recarga vs Recarga Potencial y Volumen de recarga .....	95
Figura 40: Variación mensual de la Precipitación, Precipitación que infiltra, Recarga Potencial y Evapotranspiración real .....	98
Figura 41: Mapa de red de monitoreo de niveles.....	100
Figura 42: Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Castaña (N.D.).....	101
Figura 43: Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña (N.E.) .....	101
Figura 44: Pozo 21 Pta Leona Capilla (N.D.).....	102
Figura 45: Pozo 28 Pta Leona Rotonda (N.E.) .....	103
Figura 46: Pozo 8 Pta Leona Barlovento (N.E.) .....	103
Figura 47: Pozo 38 Pta Leona Boulevard (N.D.).....	104
Figura 48: Pozo 2 Pta Leona (N.E.).....	104
Figura 49: Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique (N.D.) .....	105
Figura 50: Pozo Resd. Santiago (N.E.).....	105
Figura 51: Mapa de ubicación de SEV's.....	107
Figura 52: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Basaltos Agujitas.....	111
Figura 53: Perfil Hidrogeológico A-A' .....	112
Figura 54: Perfil Hidrogeológico H-H' .....	113
Figura 55: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas ....	115
Figura 56: Perfil Hidrogeológico C-C .....	116
Figura 57: Perfil Hidrogeológico D-D' .....	116
Figura 58: Perfil Hidrogeológico E-E' .....	117
Figura 59: Perfil Hidrogeológico F-F' .....	118
Figura 60: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas .....	120
Figura 61: Perfil Hidrogeológico G-G' .....	121
Figura 62: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Depósitos Recientes .....	123
Figura 63: Perfil Hidrogeológico B-B' .....	124
Figura 64: Perfil Hidrogeológico I-I' .....	125
Figura 65: Mapa de líneas de costa.....	128
Figura 66: Mapa de la red de muestreo.....	131
Figura 67: Variación de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).....	133
Figura 68: Variación del pH .....	133
Figura 69: Diagrama de Piper-Red de Muestro .....	136
Figura 70: Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Tomado de Foster et al., 2002). .....	142
Figura 71: Mapa de Vulnerabilidad – Grado de Confinamiento .....	144
Figura 72: Mapa de Vulnerabilidad – Ocurrencia del Sustrato .....	145

Figura 73: Mapa de Vulnerabilidad – Distancia del Nivel del Agua Subterránea .....	146
Figura 74: Mapa de Vulnerabilidad (GOD).....	147

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Datos de fallas observadas.....	47
Cuadro 2: Datos de Temperatura y Evapotranspiración - Estación Damas.....	51
Cuadro 3: Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (mm/día) - Latitud 10°.....	52
Cuadro 4: Caudales por tramo para los basaltos (Río Agujas).....	55
Cuadro 5: Caudales por tramo para el aluvión (Río Agujas).....	56
Cuadro 6: Caudales por tramo para el aluvión (Quebrada Chiquero) .....	56
Cuadro 7: Caudales por tramo para las areniscas (Quebrada Chiquero) .....	57
Cuadro 8: Caudales por tramo para los depósitos aluviales (Quebrada Mantas) .....	57
Cuadro 9: Subunidades Geológicas de Recarga (SGR).....	59
Cuadro 10: Resumen de valores $K_{fc}$ y $f_c$ para cada unidad de recarga.....	61
Cuadro 11: Coeficiente $K_p$ para cada rangos de pendientes .....	63
Cuadro 12: Resumen de valores $K_v$ para cada cobertura vegetal.....	67
Cuadro 13: Datos de profundidad de raíz para los diferentes tipos de cobertura vegetal.....	70
Cuadro 14: Resumen de valores CC y PM para cada Subunidad Geológica de Recarga obtenidos con el ArcGIS.....	71
Cuadro 15: Balance hídrico de suelos (Tomado de Schosinsky, 2006).....	75
Cuadro 16: Datos de recarga potencial y volumen de recarga por Subunidad Geológica de Recarga .....	95
Cuadro 17: Valores de Recarga potencial promedio y Volumen de recarga por Subunidad Geológica de Recarga y por Unidad Geológica.....	96
Cuadro 18: Cuadro resumen de parámetros requeridos para el balance de suelos / SGR A1 .....	97
Cuadro 19: Red de monitoreo de niveles mensual .....	99
Cuadro 20: Ubicación de SEV's .....	106
Cuadro 21: SEV-1, SEV-2 y SEV-3 .....	108
Cuadro 22: SEV-4, SEV-5 y SEV-6.....	108
Cuadro 23: SEV-7, SEV-8 y SEV-9.....	109
Cuadro 24: SEV-10, SEV-11 y SEV-12.....	109
Cuadro 25: SEV-13.....	109
Cuadro 26: Resumen de parámetros hidráulicos de los acuíferos .....	126
Cuadro 27: Cuantificación de descarga al mar .....	127
Cuadro 28: Concesiones de la Dirección de Agua MINAE .....	129
Cuadro 29: Volumen de almacenamiento disponible en la zona de estudio .....	129
Cuadro 30: Valores de Conductividad Eléctrica de la red de muestro .....	132
Cuadro 31: Valores de pH de la red de muestro .....	132
Cuadro 32: Determinación % Error.....	135
Cuadro 33: Clasificación hidrogeoquímica .....	136
Cuadro 34: Parámetros hidrogeológicos-Evaluación según metodología de Glover .....	137
Cuadro 35: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Caletas.....	139
Cuadro 36: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Pita .....	139
Cuadro 37: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Blanca .....	140
Cuadro 38: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Agujas .....	140

Cuadro 39: Índices de vulnerabilidad GOD .....	143
--	-----

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Basaltos masivos en Río Agujitas. Coord.: 188477N/469708E.....	30
Foto 2: Fracturamiento con relleno de detrito en los basaltos. Coord.: 188045N/470066E.....	30
Foto 3: Afloramiento de basaltos, muy alterado. Se observa el color rojizo típico de un alto grado de meteorización. Coord.: 185995N/471858NE. ....	30
Foto 4: Afloramiento de basaltos doleríticos. Se aprecia el material de alteración color verde entre las fracturas de los bloques. Coord.: 185978N/472302E.....	30
Foto 5: Afloramiento de 4m de alto donde se presentan los sedimentos epiclásticos. Coord.: 188838N/468895E.....	33
Foto 6: Sedimentos epiclásticos fuertemente tectonizados. Coord.:188742N/ 468976E. ....	33
Foto 7: Afloramiento de bloques de caliza fosilífera en entrada a Quebrada Ganado. Coord.: 189848N/467533E. ....	34
Foto 8: Bloques de calizas en cerro al SW de Playa Pita. Coord.: 190844N/466236E. ....	34
Foto 9: Acantilado de lutitas calcáreas, vista hacia el SE. Coord.: 186689N/462339E. ....	35
Foto 10: Acantilado de lutitas calcáreas, vista hacia el NW. Coord.: 186689N/462339E. ...	35
Foto 11 Afloramiento de areniscas finas silíceas de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 185839N/464924E.....	36
Foto 12 Afloramiento de areniscas finas silíceas de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 185839N/464924E.....	36
Foto 13: Estratificación métrica. Coord.: 187048N/462745E. ....	37
Foto 14: Gastrópodos (Turritellas) al SW de Playa Mantas. Coord.: 187756N/463417E.....	37
Foto 15 Acantilado de lutitas. Coord.: 191111N/466109E. ....	38
Foto 16 Lutitas gris azuladas fracturadas. Coord.: 191516N/466708E.....	38
Foto 17 Estratos de Thalassinoides en el acantilado, Playa Limoncito. Coord.: 188354N/463993E.....	39
Foto 18: Estratos de Thalassinoides en el acantilado, Playa Limoncito. Coord.: 188354N/463993E.....	39
Foto 19: Restos de fósiles en la margen derecha del Río Agujas. Coord.: 189122N/466123E.....	39
Foto 20: Depósitos coluviales en acantilado. Coord.: 190899N/465877E.....	41
Foto 21: Estuario en la desembocadura del Río Agujas. Coord.: 189595N/464676E.....	41
Foto 22: Depósitos arenosos, Playa Aguja. Coord.: 189595N/464676E.....	41
Foto 23: Intercalación de diferentes granulometrías en Quebrada Chiquero. Coord.: 187145N/465737E.....	42
Foto 24: Depósitos aluviales finos en la Quebrada Chiquero. Coord.: 187145N/465737E. ....	42
Foto 25 Afloramiento de travertinos en Quebrada Mantas. Coord.: 186588N/463814E. ....	43
Foto 26 Par conjugado de la Falla Chiquero. Coord.: 186284N/465841E.....	44
Foto 27: Traza de fallas Mantas y Pita. Coord.: 186286N/465880E.....	45
Foto 28 Zona de falla en el acantilado, sector playa Limoncito. Coord.: 188498N/464054E.....	46
Foto 29 Traza de falla sobre plataforma de abrasión, sector Punta Leona. Coord.: 187815N/463278E.....	48
Foto 30: Lutitas con diaclasamiento en Playa Blanca. Coord.: 187316N/462998E.....	48

Foto 31: Afloramiento de agua en diaclasas dentro de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 187761N/463261E. ....	48
Foto 32: Afloramiento de agua en plano de buzamiento, Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, se observa además la capa de depósito de travertino que actualmente se está generando. Coord.: 186937N/462684E. ....	48
Foto 33: PI-19. Coord.: 188400N/464479E.....	60
Foto 34: PI-15. Coord.: 89598N/464875E.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 A: Área  
 DA-MINAE: Dirección de Agua-Ministerio de Ambiente y Energía  
 E: Este  
 Fm: Formación  
 IGN: Instituto Geográfico Nacional  
 IMN: Instituto Meteorológico Nacional  
 km: Kilómetro  
 l/s: Litros por segundo  
 m: Metro  
 Ma: Millones de años  
 m.b.n.s.: Metros bajo el nivel del suelo  
 mm: Milímetros  
 m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar  
 N: Norte  
 NE: Noreste  
 NO: Noroeste  
 Ohm: Ohmio  
 Q: Caudal  
 S: Sur  
 SE: Sureste  
 SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento  
 SEV: Sondeo eléctrico vertical  
 SW: Suroeste  
 V: Velocidad  
 W: Oeste

## **Estudio hidrogeológico para el cálculo de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en las cuencas de las playas Mantas y Agujas, Pacífico Central, Costa Rica**

### **RESUMEN**

La zona de estudio comprende los poblados de Quebrada Ganado, y las playas Pita, Agujas, Mantas y Caletas, con un área de 38,18 km<sup>2</sup>. Geológicamente conformada por un basamento basáltico correspondientes con la Unidad de Basaltos Agujitas, sobreyacido por rocas sedimentarias de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, sobreyaciendo a estas se encuentra la Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado, y por último sobreyaciendo a todas estas se encuentra la Unidad de Depósito Recientes.

La precipitación promedio anual en la zona es de 2479,57 mm/año, con un período seco entre Diciembre y Marzo con promedios mensuales entre 63,22 y 13,77 mm respectivamente, y con un período lluvioso entre Abril y Noviembre con promedios mensuales entre 91,57 mm y 220,85 mm. A partir del balance de suelos se calculó un volumen de recarga de 184,91 L/s para las Areniscas Fosilíferas, 73,69 L/s para los Depósitos Cuaternarios, 115,42 L/s para las Lutitas Calcáreas Caletas, y 291,02 L/s para los Basaltos Agujitas. En cuanto a parámetros hidráulicos se determinó para la Unidad de Basaltos Agujitas una transmisividad de 123 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 12,2 y 1 L/s. Para la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, una transmisividad entre 0,159 y 25,0 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 0,5 y 3 L/s. Para la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, una transmisividad entre 0,42 y 6,81 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 0,32 y 3 L/s. Y para la Unidad de Depósitos Recientes, una transmisividad de 277 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 1,5 y 8 L/s.

La descarga por extracción de pozos y nacientes, según las concesiones del MINAE, fue de 87,84 L/s; mientras que la descarga hacia el mar fue de 149 L/s, y tomando en cuenta el volumen de recarga el cual fue de 665,04 L/s, se determina que el caudal disponible del acuífero es de 428,21 L/s.

A partir del diagrama de Piper se determinó que solo las muestras de los pozos TS-21 y TS-28 del Hotel Punta Leona se caracterizaron como Bicarbonatadas cálcico-sódicas, mientras que las muestras de los restantes pozos del muestro se caracterizaron como Bicarbonatadas cálcico-magnésicas. En cuanto a la evaluación de la intrusión salina se indica que tanto en las playas Mantas como Agujas no hay presencia de intrusión salina, de igual manera esto se demostró con los análisis físico-químicos de los pozos cercanos a la costa, tanto los pozos TS-21, TS-28 y TS-8 (Playa Mantas), como el Pozo Residencial Santiago (Playa Agujas), pues todos presentaron valores de conductividad eléctrica dentro del rango permitido según el reglamento de calidad N° 38924-S.

En cuanto al cálculo de la vulnerabilidad se determinó una vulnerabilidad alta para las subunidades B3, C3, D4, E1 y F1 (Areniscas Fosilíferas Agujas), las subunidades C2 y D2 (Basaltos Agujitas) y para las subunidades A2 y D1 (Depósitos Recientes). Y se determinó una vulnerabilidad media para las subunidades A1, B1 y C1 (Lutitas Calcáreas Caletas), y para las subunidades D3, C4, E2, F2 y B2 (Depósitos Recientes).

Palabras claves: Hidrogeología, acuífero, modelo hidrogeológico conceptual, caracterización hidrogeoquímica, sondeos eléctricos verticales, intrusión salina, recarga potencial, balance de suelos, vulnerabilidad intrínseca a la contaminación.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Justificación del proyecto

El área de estudio de este trabajo de investigación se ubica en la parte NO del Promontorio de Herradura, en el cantón de Garabito, donde se encuentran los acuíferos albergados en las playas Caletas, Pita, Mantas y Agujas, cuya agua proviene de las microcuencas del río Agujas y las quebradas Pita, Caletas, Mantas y Chiquero.

Esta investigación surge a partir de la ausencia de estudios hidrogeológicos en esta área, que permitan conocer las características y las condiciones actuales del o los acuíferos existentes, de los cuales se ha estado extrayendo agua por varios años para consumo humano y para actividades relacionadas al desarrollo turístico costero. Esta extracción se ha venido dando sin ningún control específico, y sin una caracterización hidrogeológica que permita determinar el escenario hidrogeológico existente, así como las características hidráulicas, el grado de vulnerabilidad a la contaminación, tanto por intrusión salina como por otras fuentes potenciales de contaminación.

Es por ello importante realizar un estudio hidrogeológico que permita determinar el potencial del acuífero, las extensiones y geometría de las unidades hidrogeológicas, la composición hidrogeoquímica del agua, en aras de un manejo sostenible para la extracción y abastecimiento del líquido.

## 1.2 Objetivo General

Determinar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo por medio de un estudio hidrogeológico detallado en la zona de Playa Mantas y Playa Agujas, que sirva como insumo en la gestión del recurso hídrico.

## 1.3 Objetivos específicos

- Definir el modelo conceptual hidrogeológico para los diferentes sistemas de acuíferos que se encuentren en la zona a partir de la distribución de las unidades geológicas existentes, el control estructural dominante, y las características hidráulicas presentes en cada unidad hidrogeológica.
- Caracterizar el agua subterránea, según los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, con el fin de evaluar si cumple con las normas establecidas para consumo humano.
- Evaluar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos existentes en la zona de estudio.
- Evaluar el grado de intrusión salina en la zona costera para verificar el estado actual del acuífero.

- Determinar la recarga potencial de los acuíferos con el fin de establecer la disponibilidad hídrica presente.

#### **1.4 Ubicación**

La zona de estudio se ubica entre las coordenadas 462000 E / 192000 N y 473000 E / 183355 N Lambert Norte. Comprende los poblados de Agujitas, Quebrada Ganado, Pita, Playa Agujas, Playa Mantas, Playa Blanca, y Playa Caletas principalmente, con un área de 38,18 km<sup>2</sup> (Figura 1). La zona se extiende en los distritos de Jacó y Tárcoles, del cantón de Garabito, y a nivel de cuenca comprende las microcuencas del río Agujas y las quebradas Caletas, Pita, Mantas y Chiquero.

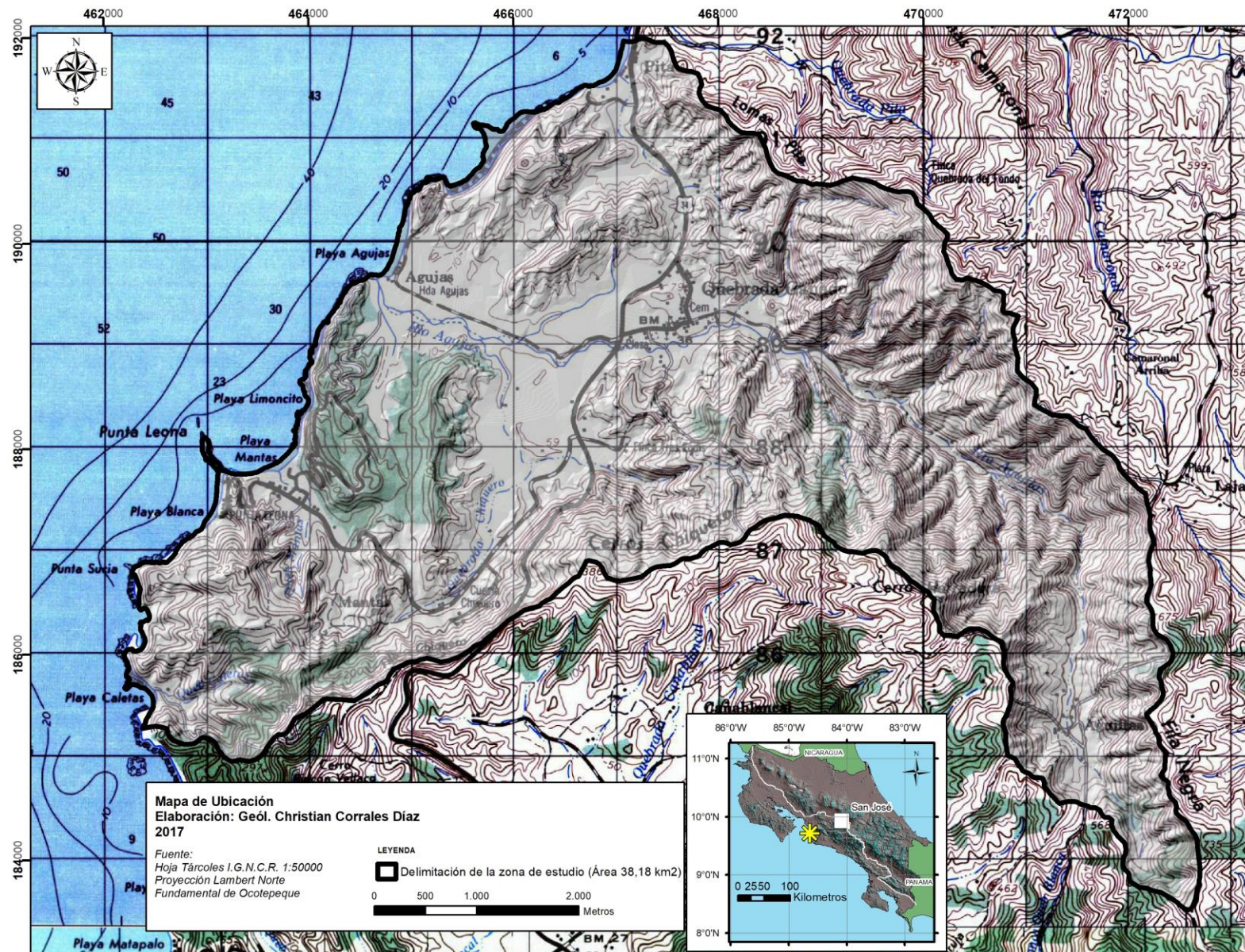


Figura 1 Mapa de Ubicación.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Modelos hidrogeológicos conceptuales

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Esta representación incluye la delimitación de las diferentes unidades hidrogeológicas la cual dependerá de la geopotencialidad (almacenaje y distribución) de cada unidad litológica, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, distribución de las redes de flujo de las aguas subterráneas, así como las características hidrogeoquímicas que imperan en cada unidad acuífera (Custodio & Llamas, 1983).

La dinámica de las aguas subterráneas en las distintas unidades litológicas se verá influenciada por la ubicación y distribución de los cuerpos de agua superficial, posición estratigráfica de cada unidad geológica, patrón estructural tanto regional como local, cantidad de precipitación anual, así como la cuantificación y el tipo de extracción del agua por medio de pozos que se esté dando en la zona. Por eso es importante analizar con base en datos de campo de niveles de agua y datos de armado y litología de pozos, elevación de manantiales, tramos de influencia y efluencia en ríos y quebradas, para así definir uno o varios modelos conceptuales de acuífero, cálculo de intrusión salina, caracterización hidrogeoquímica del agua, y por lo tanto, poder concluir sobre la calidad del agua subterránea, la disponibilidad hídrica del o los acuíferos definidos y el grado de vulnerabilidad a la contaminación.

### 2.2 Evaluación de la infiltración en el suelo

En cuanto a las metodologías para la evaluación de la infiltración en el suelo para estudios hidrogeológicos de zona de recarga y de balance de suelos, se empleará la metodología del doble anillo de Kostikov en la cual se calcula la velocidad de infiltración llevando un registro del abatimiento del agua por intervalos ya definidos durante un período de tiempo de 2 horas, esta técnica consiste en clavar en el suelo dos pares de anillos, uno dentro del otro, el externo se debe mantener relleno con agua durante la prueba, mientras que en el interno se hacen las medidas de los descensos, este tipo de prueba es muy frecuentada ya que simula de mejor manera el proceso de infiltración a la hora de evaluar el proceso de recarga en una cuenca.

### 2.3 Aforos diferenciales

Para determinar la relación existente entre el agua que fluye a nivel superficial en un río o quebrada y la que fluye a nivel subterráneo en un acuífero, se realizan aforos diferenciales a lo largo de un río o quebrada, por medio de un molinete, colocado a ciertas profundidades en una sección transversal de un río (Figura 2), y por medio de la siguiente ecuación:

$$Q \text{ (m}^3\text{/seg)} = V \text{ (m/seg)} * A \text{ (m}^2\text{)}$$

Q = Caudal

V = Velocidad, y

A = Área de la sección medida en el río.

Para cada sección se mide un caudal parcial, y finalmente se realiza la sumatoria de todos los caudales obtenidos en toda la sección transversal del río. Una vez realizado esto, se deben interpretar las relaciones de ganancia y pérdida de caudal entre cada aforo realizado a lo largo del río

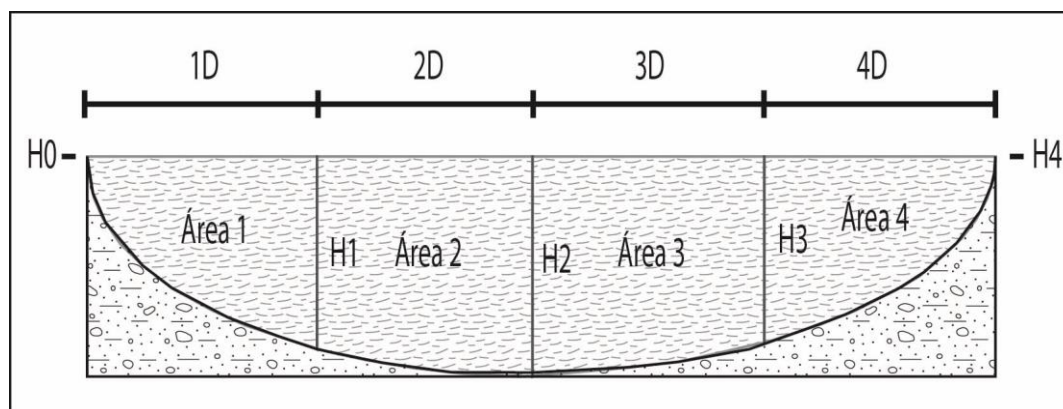


Figura 2: Sección transversal de río para cálculo del caudal que lo atraviesa. (Elaboración propia).

## 2.4 Caracterización hidrogeoquímica de las aguas

Para clasificar el agua según sus características químicas se debe de realizar un balance iónico entre los aniones y cationes, y pasar la concentración de todos los iones a equivalentes por litro, la suma de los aniones y los cationes por separado debe ser la misma, si no lo es así debe haber algún error. Para presentar estos datos de forma esquemática existen diferentes diagramas, uno de ellos es el Diagrama de Piper.

Se representan los aniones:  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ , así como los cationes  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . A cada uno se le calculará el miliequivalente total (meq), y posteriormente el porcentaje. Los aniones y los cationes son representados en los dos triángulos equiláteros, y existe además un campo central (rombo) (Figura 3) en donde se proyecta la intersección de los valores de aniones y cationes, para dar un nombre al tipo de agua (Figura 4) como por ejemplo:

1. Aguas sulfatadas y/o cloruradas, cálcicas y/o magnésicas.
2. Aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.
3. Aguas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.
4. Aguas bicarbonatadas sódicas.
5. Aguas magnésicas.
6. Aguas cálcicas.
7. Aguas sódicas.

8. Aguas magnésicas, cálcicas y sódicas.
9. Aguas sulfatadas.
10. Aguas bicarbonatadas.
11. Aguas cloruradas.
12. Aguas sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

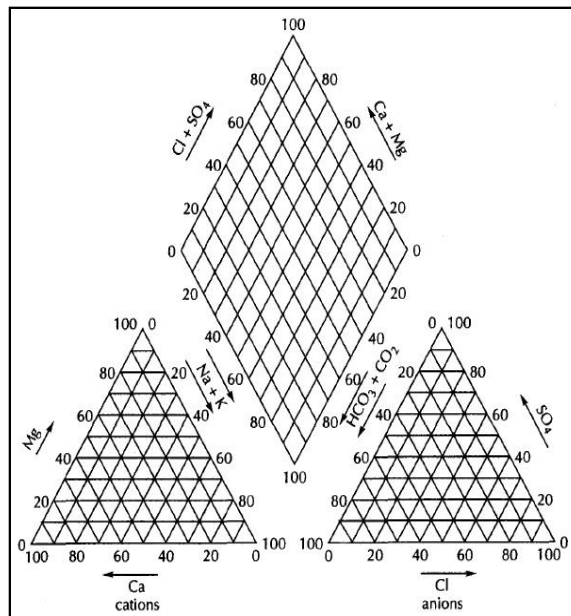


Figura 3: Diagrama de Piper (Tomado de Fetter, 2001).

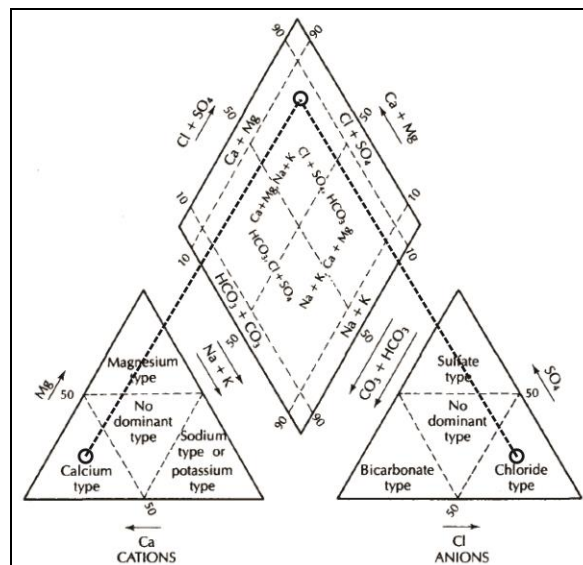


Figura 4: Diagrama de clasificación hidrogeoquímica (Tomado de Fetter, 2001).

## 2.5 Geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales

Los métodos geoelectrónicos han sido y son utilizados como práctica habitual en la investigación hidrogeológica para obtener información de las propiedades del subsuelo. Estas técnicas de resistividad del subsuelo se han realizado habitualmente mediante métodos que operan por corriente continua utilizando un dispositivo de diversos electrodos que se sitúan sobre el terreno en contacto eléctrico con el medio rocoso a estudiar (Arias, 2002a). En nuestro país, se ha enfocado al uso de los métodos eléctricos en una dimensión (1D), con dispositivos tipo Schlumberger y Wenner (Arias, 2002a).

El objetivo de los SEV es investigar los cambios de la resistividad a profundidad, los cuales son asociados a los cambios en las propiedades de las unidades rocosas. Para tal efecto, se requiere de un arreglo eléctrico, con el fin de medir las diferencias de potencial (mV), cuando se ha inyectado corriente (mA) a diferentes distancias. El método consiste en inyectar corriente en dos electrodos hincados en la superficie del suelo denominados como A y B, a la vez son necesarios dos electrodos más (M y N) para medir la diferencia de potencial generada. La interpretación de las mediciones está en la suposición de que la superficie consiste de una secuencia de distintas capas, con espesor variable, homogénea e isotrópica (Arias, 2002b).

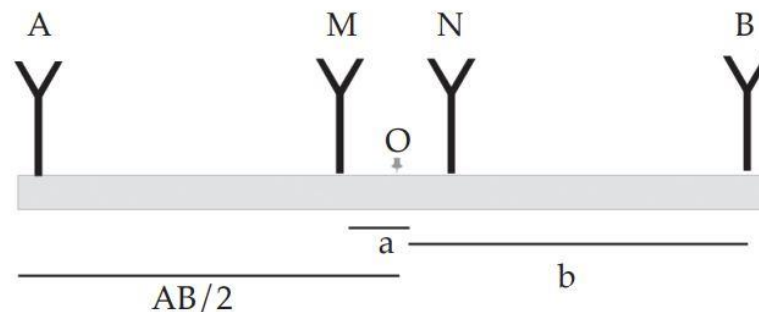


Figura 5: Diagrama de dispositivo geoelectrónico Schlumberger. Tomado de Arias (2007).

Para esta investigación será de gran importancia la elaboración de sondeos eléctricos cercanos a la línea de costa ya que estos pueden correlacionarse con los perfiles hidrogeológicos y así poder delimitar con mayor exactitud las dimensiones de las diferentes capas litológicas que comprenden el acuífero, así como poder identificar la zona de interfase entre el agua dulce y salada (Figura 6).

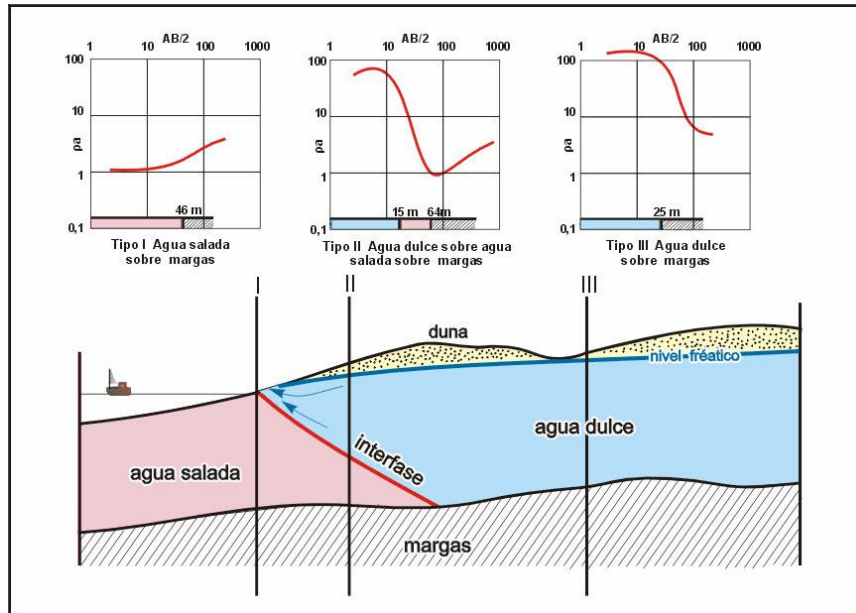


Figura 6: Perfiles hidrogeológico y geoelectrico de un acuífero costero (Tomado de Auge, 2008).

## 2.6 Intrusión Salina

Para el cálculo de la intrusión salina existen varias metodología para determinar la posición de la interfase entre agua dulce y salada, una de ellas es la metodología de Glover (1959), la cual se utiliza cuando no hay mezcla en la interfase (Figura 7). Para este estudio se utilizará esta metodología ya que los supuestos se asemejan bastante al modelo hidrogeológico planteado en esta zona. En este caso los supuestos son:

- No hay zona de mezcla.
- El acuífero es cautivo y el techo coincide con el nivel del mar.
- El agua dulce sale al mar por una superficie horizontal de longitud  $X_0$ .
- El mar no sufre fluctuaciones de nivel y el agua salada en el acuífero es estática.
- El acuífero es de gran espesor, de modo que en la zona de estudio la cuña de agua salada no toca a la base del mismo.

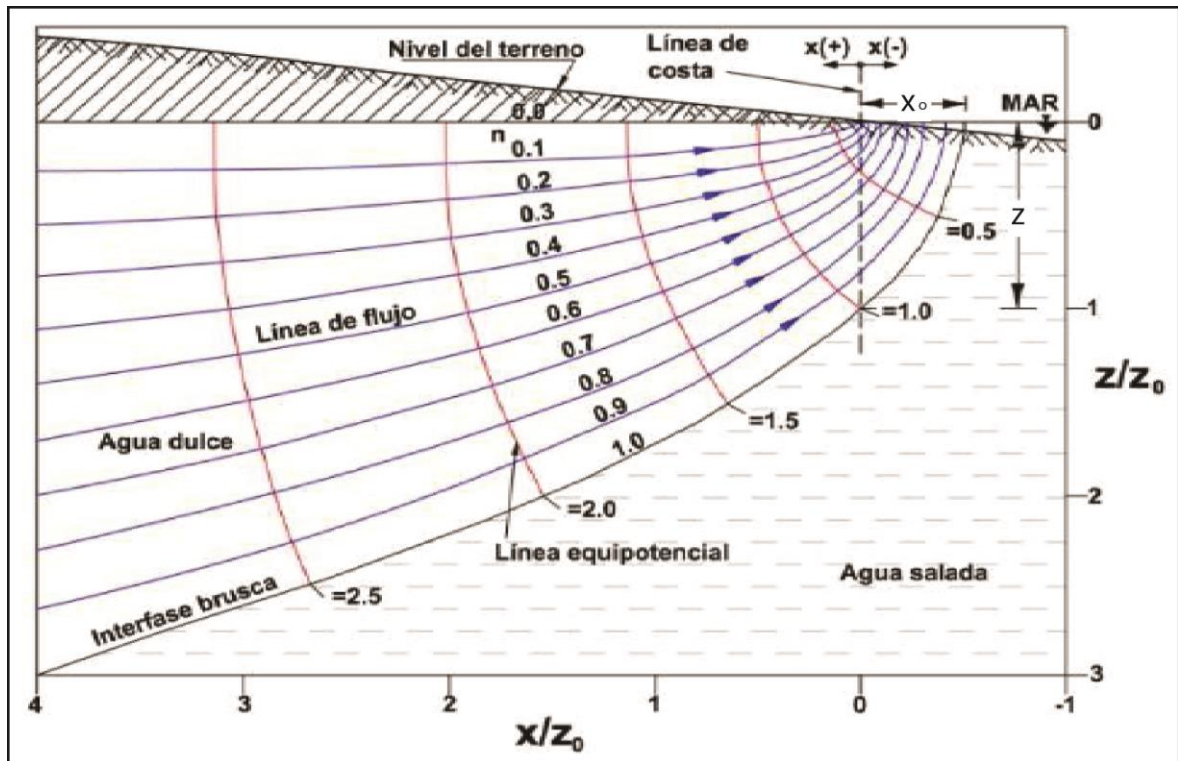


Figura 7: Red de flujo de agua dulce en un acuífero costero. (Custodio, E., Llamas, M.R. 1983).

Para esta metodología se calcula la profundidad de la interfase entre el agua salada y el agua dulce, así como la superficie de salida al mar, a diferentes distancias de la costa, utilizando las siguientes fórmulas:

$$z = (Gq_0/k + [(2Gq_0x/k)]^{1/2}$$

$$x_0 = -Gq_0/2k$$

$$h = [(2q_0x/Gk)]^{1/2}$$

Donde:

$z$  = Profundidad de la interfase bajo el nivel del mar (m).

$x_0$  = Superficie de salida del mar (m).

$h$  = Altura del nivel freático sobre el nivel del mar (m).

$q_0$  = Caudal de agua dulce por unidad de longitud de costa ( $m^3/d/m$ ).

$k$  = Permeabilidad del acuífero (m/d).

$G$  = Relación agua dulce-agua salada.

$x$  = Distancia medida de la costa, a evaluar la profundidad de la interfase (m).

Para estos cálculos se requieren parámetros hidráulicos tales como la transmisividad, la permeabilidad del acuífero, el gradiente hidráulico, la longitud de la costa, y el caudal de descarga del acuífero hacia el mar, todos estos parámetros se obtendrán en el cálculo de los parámetros hidrogeológicos, así como en la cuantificación del caudal de descarga hacia el mar.

## 2.7 Vulnerabilidad a la contaminación según Metodología GOD

La metodología GOD propuesta por Foster et al. (2002), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables denominadas según su acrónimo en inglés en:

- G: Ground water occurrence, es decir el tipo de acuífero existente.
- O: Overall aquifer class; el tipo de litología existente por encima del acuífero.
- D: Depth: Profundidad del nivel del agua.

En la Figura 8 se observa el diagrama para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, según las características presentes en el acuífero en estudio, se van tomando distintos niveles cada uno con un valor, y según el valor obtenido después de la multiplicación entre los tres índices, se compara con la escala horizontal correspondiente al grado de vulnerabilidad a la contaminación, la cual puede determinar valores que van desde 0 (Vulnerabilidad despreciable), hasta 1 (Vulnerabilidad extrema).

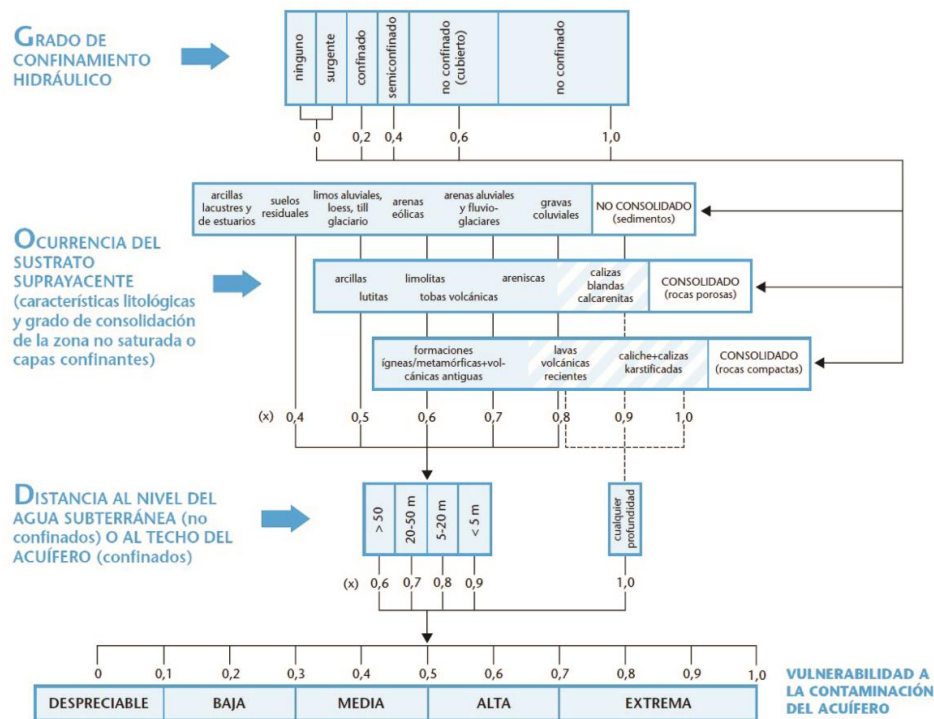


Figura 8: Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Tomado de Foster et al., 2002).

## 2.8 Álgebra de mapas

Mediante el álgebra de mapas es posible realizar la mayor parte de operaciones algebraicas utilizando mapas en formato ráster, con las mismas dimensiones de píxeles, y empleando fórmulas con ciertas condicionales tales como mayor que, o, menor a que. Una vez generados los mapas, los datos se extraen por medio de un histograma, el cual mostrará valores promedio, máximos, mínimos, o bien la sumatoria de datos relacionados a cada pixel del mapa. En la Figura 9 se observan operaciones algebraicas que se realizaron con mapas ráster, así como la obtención de los valores promedio y valor sumatoria de cada respectivo parámetro.

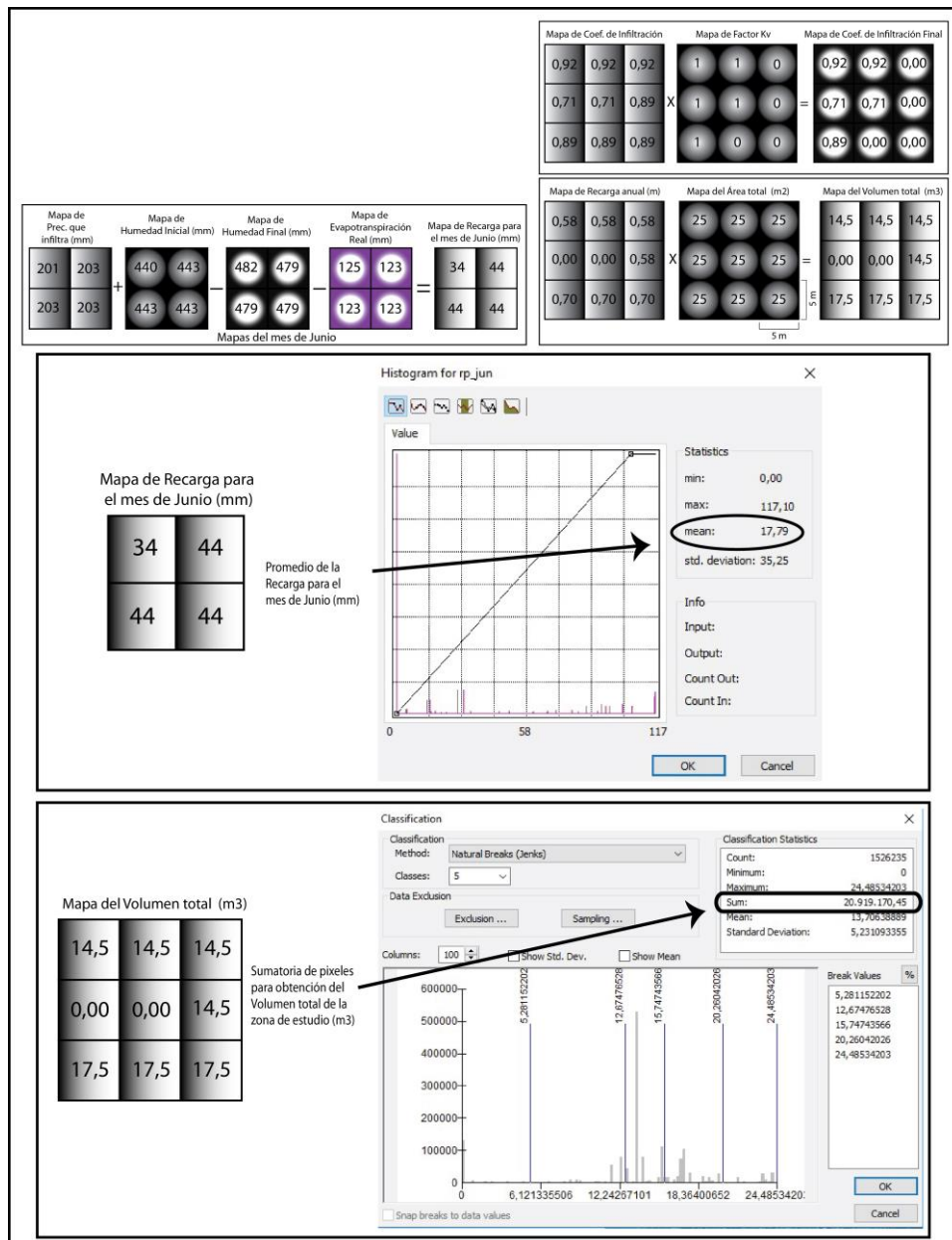


Figura 9: Operaciones algebraicas con mapas ráster (Elaboración propia)

## 2.9 Balance Hídrico de Suelos para el cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos

Para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan:

- La precipitación mensual de la zona.
- Los diferentes valores de infiltración básica de los suelos.
- La cobertura vegetal del suelo
- La pendiente del mismo.

Determinados los valores anteriormente mencionados, se puede evaluar la infiltración mediante la metodología presentada por Schosinsky & Losilla (2000). Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para poder estimar el agua que queda disponible, para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado. Para poder realizar el balance, se determinan:

- La fracción 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 finalmente
- La humedad del suelo al inicio del análisis (Schosinsky, 2006).

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo lo siguiente:

- La fracción de lluvia que es interceptada por el follaje.
- La infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie.
- El balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero.

En la Figura 10 se observan los parámetros anteriormente mencionados y la interacción que conllevan unos con otros con el objetivo de calcular el valor de Recarga Potencial para una zona en específico, por último para conocer la cantidad de volumen presente en el acuífero, se multiplica el valor de la Rp (Recarga Potencial) por el área de cada unidad de recarga definida por la red de drenaje de las diferentes subcuencas. Una vez realizado esto, se hace una sumatoria de todos los volúmenes correspondientes a los balances realizados para cada unidad, dicha sumatoria es finalmente el volumen de recarga del acuífero. Posteriormente a este valor se le resta el total de los volúmenes de extracción al acuífero, que corresponden con la extracción de agua actual de los pozos o nacientes que se estén captando en la zona. Tal resultado vendría a reflejar si existe un equilibrio entre las entradas y las salidas del acuífero.

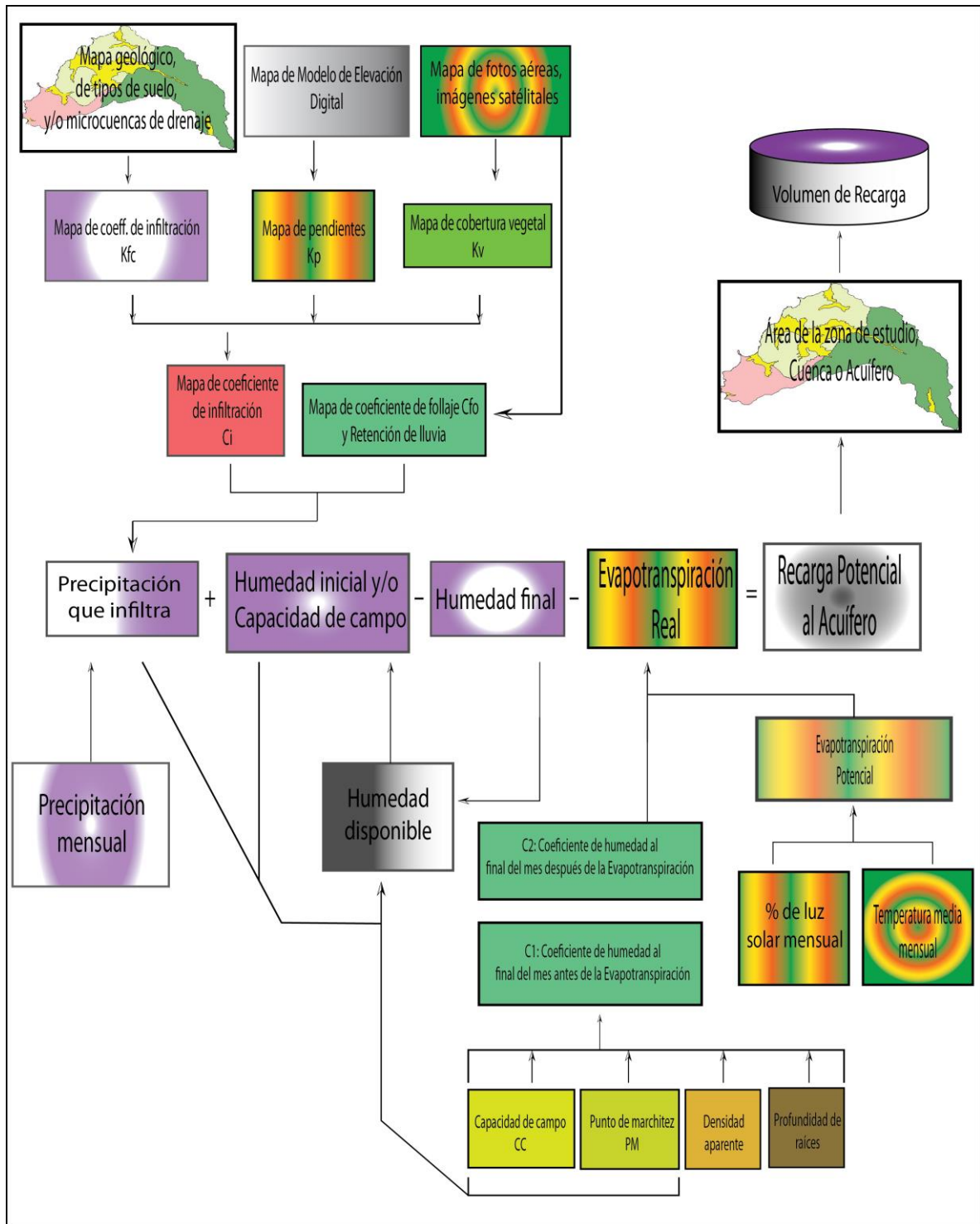


Figura 10: Diagrama de Cálculo de Balance Hídrico (Elaboración propia), basado en Schosinsky, 2006.

### 3 METODOLOGÍA

En este capítulo se describen la metodología empleada en este estudio.

- Búsqueda y consulta de información bibliográfica concerniente a estudios geológicos y/o hidrogeológicos en la zona y en los alrededores de esta, entre ellas artículos de revista, Tesis, Campañas Geológicas, Prácticas Geológicas, Informes internos, etc.
- Cartografiado geológico y estructural a una escala de trabajo 1: 25000, empleando mapas topográficos en la proyección Lambert Norte por medio del software ArcGIS 10.1, utilizando la base cartográfica escala 1: 5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007. El levantamiento de los diferentes afloramientos litológicos presentes en la zona se realizará mediante un GPS marca Garmin modelo Montana, así como distanciómetros láser marca Bushnell para cálculo de distancias, pendientes y espesores de cortes. Con el fin de delimitar espacialmente la distribución de las unidades litológicas presentes, además de las zonas de fracturas y/o fallamiento.
- Muestreo de roca para análisis petrográfico en sección delgada. Se recolectaron un total de 6 muestras representativas de varios afloramientos para la caracterización tanto macro como microscópicamente de las diferentes unidades litológicas presentes.
- 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, y corroboradas en campo, esto para la obtención del mapa de unidades geomorfológicas y a su vez para la reclasificación de las pendientes, las cuales servirán para la evaluación del factor pendiente en el balance hídrico.
- Fotointerpretación mediante el uso de ortofotos proyectadas en el sistema Lambert Norte por medio del software ArcGIS 10.1, a partir de la base cartográfica a escala 1: 5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, para la delimitación de la cobertura vegetal y usos del suelo presentes en la zona, con corroboración de campo.
- Elaboración de 53 pruebas de infiltración con una duración de 2 horas, a partir del método del doble anillo de Kostiaikov, para el análisis de la conductividad hidráulica del suelo y posteriormente la obtención del coeficiente de infiltración. Se determinó utilizar esta metodología ya que este juego de anillos simula de mejor manera el proceso de infiltración a la hora de evaluar el proceso de recarga en una cuenca.

- Muestreo de suelos en 40 puntos en toda el área de estudio, distribuidos estratégicamente en cada unidad litológica, 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 “Shelby” 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.
- Levantamiento de nacientes, pozos tanto excavados como perforados, así como otros cuerpos de agua en el campo a través de varias giras de campo, para realizar la delimitación de los curvas isofreáticas de los acuíferos existentes en la zona.
- Giras de campo para monitoreo mensual del nivel del agua de 9 pozos, para posteriormente valorar los ascensos máximos y mínimos de los diferentes niveles de agua subterránea existentes, así como parte de la delimitación de las curvas isopotenciales.
- Muestreo de agua en 9 puntos de control para análisis bacteriológico y físico-químico, por medio de una campaña de toma de muestras coordinada con el Laboratorio Nacional de Aguas del Haya, para la obtención de los parámetros indicados en los niveles primero (N1), segundo (N2) y tercero (N3) del reglamento para calidad del agua potable 38924-S.
- Realización de 59 puntos de aforo en las diferentes quebradas y ríos, para establecer zonas de efluencia e influencia de estas con respecto al manto acuífero. Se realizaron mediciones en varios puntos de la quebrada Chiquero, Río Agujas y la quebrada Mantas, a partir del método del molinete, el cual es un equipo de fácil transporte y empleo, lo cual facilita el ingreso a sitios de difícil acceso por pendiente alta y vegetación amplia.
- Elaboración de 13 sondeos eléctricos verticales, 7 de ellos colocados en dirección de Este a Oeste en línea perpendicular a playa Mantas y los otros 6 colocados de la misma forma pero en playa Agujas. Se definió utilizar el arreglo Schlumberger, en el cual se mide colocando 4 electrodos colineales en superficie; los dos exteriores, conectados en serie a una batería o fuente de poder a los cuales se les llama electrodos de corriente, mientras que los otros dos electrodos internos se les denomina de potencial. Se empleó este arreglo de dispositivo ya que es de rápida ejecución, y lo que se requiere para esta investigación es determinar las capas geoelectricas, corroborar si existe anomalías en la resistividad del subsuelo en la zona cercana a la línea de costa, y así verificar si existe o no alguna cuña de intrusión salina.
- Determinar si existe algún grado intrusión salina según la fórmula de Glover (1959), método en el cual se asume que no hay mezcla en la interfase. Para este estudio se utilizará esta metodología ya que los supuestos se asemejan bastante al modelo

hidrogeológico planteado en esta zona. Dentro de los supuestos se asume que: no hay zona de mezcla, el acuífero es cautivo y el techo coincide con el nivel del mar, el agua dulce sale al mar por una superficie horizontal de longitud  $X_0$ , el mar no sufre fluctuaciones de nivel y el agua salada en el acuífero es estática, y además el acuífero es de gran espesor, de modo que en la zona de estudio la cuña de agua salada no toca la base del mismo.

- Definir y calcular las diferentes características físicas de las unidades hidrogeológicas tales como dimensiones (espesor y extensión), así como profundidad, gradiente hidráulico, red de flujo y posición estratigráfica de cada unidad hidrogeológica con el fin de caracterizar las diferentes unidades hidrogeológicas, y a la vez, evaluar la comunicación hidráulica tanto entre cada unidad a nivel subterráneo, como a nivel superficial, por medio de un modelo hidrogeológico conceptual.
- Cálculo de mapas ráster empleando la herramienta llamada “Álgebra de Mapas” utilizando el ArcGIS 10.1 mediante el módulo “Raster Calculator”, para la obtención de parámetros geoespaciales, los cuales serán extraídos por medio de un histograma que mostrará ya sea el promedio, el máximo y/o mínimo, o bien la sumatoria de los datos relacionados a cada pixel del mapa.
- Cálculo de la recarga potencial a través del balance de suelos según la metodología de Schosinsky (2006), la cual se basa en el principio de la conservación de la materia, es decir, que el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el mismo, más el agua que sale de él. Se decide emplear esta metodología ya que contempla parámetros importantes que limitan el ingreso del agua al acuífero, como lo son la intercepción del agua de lluvia por parte de la vegetación, la escorrentía superficial, además de las salidas del agua del acuífero como lo son la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos. Se contempla también aquella cantidad de agua que sí logra ingresar al acuífero una vez superadas las rutas anteriormente mencionadas; tal es el caso de la recarga potencial, que representa la fracción de la precipitación que ingresa al acuífero.
- Cálculo del grado de vulnerabilidad a la contaminación según la metodología GOD; propuesta por Foster et al. (2002), y se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a 3 variables denominadas según su acrónimo en inglés en: G (Ground water occurrence), es decir el tipo de acuífero existente; O (Overlaying strata), el tipo de litología existente por encima del acuífero y D (Depth), profundidad del nivel del agua.

## 4 GEOLOGÍA

### 4.1 Antecedentes geológicos

En la Campaña Geológica del año 1985 (Ávila, 1985; Cervantes, 1985; Herrera, 1985; Leandro, 1985 & Soto, 1985) definen y describen una serie de unidades litoestratigráficas existentes a nivel local, así como estructuras tectónicas tanto a nivel regional como local, a partir de las cuales se diferencian los respectivos eventos tectónicos que ocurrieron y la influencia que tuvieron estos eventos en el orden cronoestratigráfico y la distribución de unidades litológicas en la zona. Herrera (1985) menciona algunos trabajos en esta zona tales como Dengo (1960) donde hace un reconocimiento rápido complementado con fotos aéreas, así como otros reconocimientos a nivel regional como el de Baumgartner et al (1984) y Fischer (1980) con implicaciones tecto-sedimentarias y neotectónicas respectivamente. Ávila (1985) menciona además un estudio de Seyfried & Sprechmann (1985).

Además Arias (2000) describe la “Geología y petrología magmática del Bloque Herradura (Cretácico Superior-Eoceno, Costa Rica)”; posterior a esto Arias (2003) redefine la Formación Tulín, la cual aflora en el área de estudio.

Recientemente se cuenta con un informe interno del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (AyA), como parte del curso Práctica Geológica 2015 del Plan de Estudios de la carrera Bach. en Geología, de la Universidad de Costa Rica, en el cual se describe la cartografía geológica de las microcuencas del río Agujas y las quebradas Caletas, Mantas y Chiquero.

### 4.2 Contexto Geológico Regional

Con respecto a la estratigrafía y a la geología estructural definida por los anteriores autores mencionados, se describen a manera de resumen las formaciones geológicas de las más antiguas a las más recientes:

#### 4.2.1 *Plateau Oceánico Caribe (P.O.C.)*

El basamento de rocas básicas fue descrito por primera vez por Dengo (1960), todas las rocas en él incluidas son de origen oceánico (Dengo, 1962b; Henningsen & Weyl, 1967; Kuijpers 1979 a; Baumgartner et al, 1984) tales como basaltos, intrusiones, radiolaritas y rocas ultramáficas. Estas se formaron en una dorsal oceánica (Kuijpers 1979 a), mientras que otros autores opinan que también hay rocas de arcos de islas primitivos (Baumgartner et al, 1984).

Con respecto a la edad del Complejo hay ciertas diferencias, Kuijpers (1979 a) sugiere el límite Santoniano Superior-Campaniano Inferior como límite mínimo de edad del Complejo de Nicoya, paralelo al emplazamiento de este como mantos tectónicos por compresión; mientras que Schmidt-Effing (1980) incluye los complejos Básicos más jóvenes hasta el Eoceno; aunque Baumgartner et al (1984) deduce según la fauna de los radiolarios presentes, que el lapso de tiempo se ubica entre Batoniano-Calloviano hasta el Santoniano.

Schmidt-Effing (1980) hizo una división estratigráfica en seis subcomplejos:

- Brasilito (Jurásico Tardío – Cretácico Temprano)
- Junquillal (Post Cenomaniano – Pre Campaniano)
- Murciélago (Santoniano Tardío – Campaniano Temprano Bajo)
- Garza (Maastrichtiano Tardío)
- Quepos (límite Paleoceno Eoceno)

Kuijpers (1979 a) propuso dos unidades principales:

- Unidad Matapalo, compuesta por más de 150 m de basaltos toleíticos sobreyacidos por una serie radiolarítica de por lo menos 40 m de espesor, “sills” de diabasas ofíticas, donde dominan los basaltos e intrusiones máficas.
- Unidad Esperanza, en la cual predominan basaltos toleíticos, diabasas, rocas gabroicas, “Stocks” de plagiogranitos, e intercalaciones casuales de radiolaritas.

Gursky & Schmidt-Effing (1982), subdividieron al Complejo en tres subunidades:

- Complejo de Nicoya Inferior (Jurásico)
- Formación Punta Conchal (Tithoniano-Barremiano)
- Complejo de Nicoya Superior (Cretácico Inferior Tardío-Eoceno Inferior).

Hauff (1998) realiza análisis químicos e isotópicos en las cercanías de Jacó y concluye que se trata de una continuación del terreno Nicoya; tectónicamente separado y originado en el punto caliente de Galápagos hace aproximadamente unos 90 Ma y un mínimo de 75 Ma.

#### **4.2.2 Formación Tulín**

Dengo (1960) agrupa las rocas del Bloque Herradura dentro del Complejo de Nicoya) y le asigna una edad de Cretácico Inferior. Las describe como basaltos elipsoidales, con olivinos, inclusiones de jaspe, fuertemente fracturados y cloritizados, asociados a gabros y doleritas, además menciona la presencia de calizas silíceas sin fósiles sobreyaciendo a los basaltos. Madrigal (1970) cartografió esta unidad geológica en los alrededores del poblado de Tárcoles. Del mismo modo la relaciona con el Complejo de Nicoya, pero con edad pre-eocénica, basado en los sedimentos que la sobreyace. Malavassi & Madrigal (1965); Malavassi (1967); utilizan el nombre “Unidad Volcánica preeocénica Tulín” en mapas al norte y noreste del cerro Turrubares.

Ávila, G. (1985), Cervantes (1985), Herrera, D. (1985), Soto (1985) cartografiaron la ofiolita al oeste del Bloque Herradura, y la denominaron “Unidad de Basalto”, constituida por radiolaritas, doleritas, basaltos en almohadilla, basaltos masivos y brechas.

Denyer & Arias (1991) y Arias (1992) describen el basamento del Bloque Herradura como basaltos en almohadilla con sedimentos pelágicos y hemipelágicos sub-horizontales y pobremente fracturados, asociados a doleritas y a brechas de la Formación Puerto Carrillo.

Barrantes (1991) describe al sur del cerro Turrubares y NE del Bloque Herradura a los basaltos de la Formación Tulín, como basaltos toleíticos con fenocristales, principalmente de augita, plagioclasa y en menor cantidad minerales opacos, los cuales se encuentran en una mesostasa hipocristalina constituida por los mismos minerales.

Tournon y Alvarado (1997) hablan de un gran espesor de basaltos; que se encuentran desde el nivel del mar hasta el cerro Turrubares (1500 m) y que están constituidos por coladas masivas, en almohadillas, brechas e intercalaciones piroclásticas y sedimentarias. Arias (2000) propone según la asociación faunística presente en los sedimentos intercalados con los basaltos, una edad Maastrichtiano Medio-Superior hasta Eoceno Inferior.

#### ***4.2.3 Sedimentos pelágicos Campaniano-Maastrichtiano, asociados al Plateau Oceánico Caribe***

##### ***1 Sedimentos Silíceos***

Los sedimentos pelágicos silíceos del Campaniano son los más antiguos del Bloque Herradura. Se caracterizan por encontrarse fuertemente tectonizados o incluidos dentro de los basaltos, limitadas por fallas, se restringen a pequeños afloramientos, principalmente al oeste del Bloque Herradura (Arias, 2000).

##### ***2 Sedimentos calcáreos pelágicos/hemipelágicos***

A finales del Campaniano y/o inicios del Maastrichtiano continúa la sedimentación pelágica, pero carbonatada, que fue interrumpida abruptamente por una sedimentación volcanoclástica. Estas calizas pelágicas se asocian a la Formación Golfito, y se presentan como grandes bloques o como xenolitos dentro de los basaltos (Arias, 2000).

#### ***4.2.4 Sedimentación epiclástica-calcárea Maastrichtiano-Paleógeno***

La sedimentación maastrichtiana-paleógena se caracteriza por ser una sedimentación volcano-sedimentaria (tufitas y brechas), con poca deformación tectónica y que se encuentra regularmente en contacto estratigráfico con los basaltos de la Formación Tulín. Se presentan a manera de pequeños lentes entre las coladas basálticas de la Formación Tulín. Estos sedimentos, además de caracterizarse por poseer un contenido de especies oportunistas con poca diversidad, también están mal preservadas por su relación con sedimentos volcanoclásticos, los cuales han tenido transporte y no han favorecido la preservación de los fósiles (Arias, 2000).

#### ***4.2.5 Calizas neríticas del Eoceno Medio-Superior***

En los alrededores del Bloque Herradura se hallan unas calizas, ricas en macroforaminíferos del Eoceno Medio – Superior (Arias, 2000). La formación de estas calizas fue favorecida por el cese de la actividad volcánica de la Formación Tulín en el Eoceno Inferior. Se tratan de calizas bioclásticas (packstone y wackstone) con algas rojas y macroforaminíferos. Rivier & Calvo (1988), describen las calizas al noreste del Bloque Herradura, y las relacionan con facies lagunares de circulación abiertas del Eoceno

Superior. La asociación faunística determinada en la calizas del sur del Bloque Herradura, es característica de una zona de mar abierto de poca profundidad (Baumgartner, com. oral, 1999, en Arias 2000) originadas durante este mismo período (Eoceno Medio-Superior).

#### **4.2.6 Formación Punta Carballo**

##### **Miembro Caletas:**

Inicialmente fue descrito por Dengo (1962b) como perteneciente a la Formación Brito, luego Laurito (1988) propone la inclusión de este miembro dentro de la Formación Punta Carballo, colocándolo en la parte inferior de dicha secuencia, su estratotipo se ubica en los acantilados de Playa Caletas, en donde el autor describe de manera detallada la variación de facies que se presentan a partir de criterios sedimentológicos. Sprechmann et al. (1994), en su cuadro de correlación estratigráfica, consideran a la Formación Punta Carballo constituida por el Miembro Caletas (inferior) y el Miembro Roca Carballo (Superior), con una edad Miocena Inferior/Medio y dejan a Mata de Limón como una unidad Pliocena.

Laurito (1988) correlaciona esta unidad con la unidad definida por los estudiantes de la Campaña Geológica de 1985, los autores Herrera (1985), Cervantes (1985) & Soto (1985), a la cual designaron con el nombre de *Unidad de Lutitas-Areniscas*, la cual se trata de una secuencia de sedimentos detríticos, desde ligeramente carbonatados hasta inertes al HCL, la lutitas son de color gris verdoso, hacia el techo de la unidad hay lutitas síliceas blancas intercaladas. Las areniscas son finas a medias de color gris verdoso, el cemento en todas las rocas es calcáreo; la alteración esferoidal es común en las lutitas. La macrofauna es muy pobre según Soto (1985) solo se encuentran moluscos aislados, sin embargo son abundantes las trazas de bioturbación de organismos endobentónicos, así como microfósiles bentónicos y planctónicos. El contacto superior es discordante bajo la Unidad Silicoclástica (Cervantes, 1985) la cual se detallará más adelante. El espesor es de 250 m según Cervantes (1985), aunque en total podría alcanzar hasta 450 m según Herrera (1985). Con base en los microforaminíferos planctónicos (Sprechmann, 1985, comunicación escrita) la unidad fue datada como Mioceno Inferior, en un ambiente de depositación de zona nerítica de plataforma abierta.

##### **Miembro Icaco:**

Según Denyer et al (2003) esta unidad se compone de 7m de intercalaciones de estratos de areniscas con muchos foraminíferos planctónicos y lutitas, de color gris. Arenisca gruesa gris verdosa con abundantes *Thalassinoides* ramificados, con diámetro hasta de 10 cm, tubos principales perpendiculares a la estratificación, también se encuentran *Ophiomorpha nodosa*. Algunos lentes de conglomerados con clastos milimétricos de composición variable y niveles de arenisca brechosa.

Su edad es Mioceno Inferior, con base en las relaciones estratigráficas.

No se observa el contacto inferior, mientras que el superior es un contacto neto con el Mb. Mata de Limón, mediante la presencia de una toba de lapilli acrecional y troncos (xilópalos) en posición vital.

El ambiente de depositación era de alta energía, posiblemente litoral somero.

### **Miembro Mata de Limón:**

Corresponde con rocas volcánicas: brechas conglomerádicas (*debris flows* y *pumice flows*), areniscas y limonitas de color rojo y/o morado, a veces verdoso, cuando está enriquecido en vidrio volcánico pumíceo con intercalaciones de tobitas blancuzcas y algunos conglomerados verdosos. Se estima un espesor cercano a los 300m.

Con base en dataciones radiométricas no publicadas (P. Gans, com. pers; 2002, en Denyer et al; 2003) y las relaciones estratigráficas, se le asigna una edad Mioceno Inferior.

Al ambiente de depositación era aluvial, con ríos entrelazados, con gran influencia volcánica (ignimbritas, tobas, lahares). También se describe como un abanico deltaico mareal. Además de la ocurrencia de tobas y un bosque en posición vital evidencia un ambiente continental.

### **Miembro Roca Carballo:**

Según Kuijpers (1979 b) esta unidad está compuesta por vulcarenitas y vulcaruditas grises a verdes. En la base presentan localmente colores rojos y blancos. Los granos son andesíticos y de plagioclasas. Existe una capa constituida por una toba vítrea blanca compuesta por esquiras de vidrio alteradas. Además existen dos intervalos designados como “capas de conchas”, constituidos por sedimentos barrocos, que representan las granulometrías más finas de la unidad. Dentro de la capa de conchas se encuentran bivalvos y gastrópodos. También se presentan algunos moluscos rellenos parcial o totalmente de calcita. Además dentro de las estructuras sedimentarias se encuentra las *Ophiomorpha* y *Thalassinoides*, además de laminación paralela y estratificación cruzada.

Su contacto inferior es transicional con el Mb. Mata de Limón. Su contacto superior con el Mb. Paires no se observa en sección continua pero, por la poca distancia entre los afloramientos, se considera que debe ser bastante abrupto en el río Paires, entre Esparza y Jesús María. Se interpreta una edad que varía entre el Mioceno Inferior y puede extenderse, con seguridad, hasta el Mioceno Medio.

La unidad se depositó bajo la influencia de una llanura de marea, en una bahía interna, hasta estuario submareal.

### **Miembro Paires:**

Corresponde con intercalaciones de arenisca algo calcáreas, tobitas violáceas, brechas finas con matriz tobácea de color morado, brechas verdosas con fragmentos volcánicos. Es común encontrar niveles con lapilli acrecional, tanto en las brechas como en las tobas.

Las areniscas tienen estratificación decimétrica, presentan laminaciones cruzadas y paralelas, icnofósiles: *Thalassinoides* son muy comunes. Sobreyace al Mb. Roca Carballo,

en un contacto inferido. Es sobreyacida en forma discordante por las vulcanitas del Grupo Aguacate.

Se le asigna una edad Mioceno Superior, basada en las relaciones estratigráficas.

Su ambiente de depositación se interpreta como la unidad que representa la colmatación de una cuenca, por lo que predominan los sedimentos aluviales de inundación con mucha influencia volcánica y con ocasionales transgresiones.

Por otro lado, para el sector comprendido por la costa en la actual zona de estudio, se extiende una unidad litológica a la cual los autores Herrera (1985), Cervantes (1985), Soto (1985), Leandro (1985) & Ávila (1985) definen como **Unidad Silicoclástica somera**, la cual se compone de areniscas finas con cemento calcáreo, intercaladas con lutitas, en donde el tamaño de los estratos va desde decimétrico a métrico, encontrándose estos últimos en menor abundancia (Ávila, 1985). Los estratos se encuentran diaclasados, algunas rellenas con calcita. Al sur de la zona según Ávila (1985) la unidad no presenta gran abundancia desde el punto de vista fosilífero, mientras que en la parte norte de la zona de estudio el contenido fosilífero es mayor según Cervantes (1985) en donde se presenta en la base de la unidad una arenisca media color gris, e intercalada con niveles fosilíferos (en su mayoría de bivalvos, gasterópodos, concreciones de materia vegetal, etc.), también Herrera (1985) menciona la presencia de facies de sedimentos bioturbados, trazas de tipo *Thalassinoides*, atribuidos a la actividad de los cangrejos. Herrera (1985) menciona que esta unidad se puede correlacionar con el miembro Roca Carballo definida por Kuijpers (1979 b), y datada como del Mioceno Medio.

#### **4.2.7 Contexto Estructural Regional**

Arias (2000) divide la tectónica en dos partes:

##### 4.2.7.1 Tectónica pre-Eoceno

Al SW del Bloque Herradura, se encuentran sedimentos silíceos pelágicos de edad Cretácico Medio-Inferior (?), los cuales se están fuertemente deformados en sentido NE-SW. La secuencia consiste en una unidad de basaltos fuertemente tectónizados sobreyacidos por *pillows* basálticos. Estas dos zonas de fuerte deformación podrían estar relacionadas con una zona acreción, como evento preliminar al establecimiento de la zona de subducción o con un sistema de fallas transcompresivas NW, paralelas a la zona de subducción.

Posteriormente en los sedimentos epiclásticos del Maastrichtiano - Eoceno Inferior, que se encuentran intercalados con los basaltos, no se observan evidencias de deformaciones anteriores a la fase de deformación Mioceno - Plioceno, por el contrario, son sedimentos caracterizados por una estratificación plana, que se encuentran en contacto estratigráfico con los basaltos. En algunas localidades, dentro del Bloque Herradura, existen sedimentos con ángulos de buzamiento altos, pero sin deformación interna, los cuales se atribuye a una tectónica local. Baumgartner et al. (1984) relacionan la formación de las calizas neríticas

del Eoceno Medio-Superior, con un gran evento tectónico regional, el cual no se observó en la Formación Tulín, lo que probablemente se debe a que tuvo los mismos ejes de compresión que la ocurrida al final del Mioceno.

#### 4.2.7.2 Tectónica post-Eoceno

Los sedimentos del Terciario que están en contacto con la Formación Tulín, presentan una sola fase de deformación, la cual tuvo su mayor manifestación en el límite Mioceno - Plioceno (Arias & Denyer, 1991), la cual fue ocasionada por el arribo de la serranía de Coco al sur de Costa Rica, hace aproximadamente 5,4 Ma. (DeBoer et al., 1995) y que continúa activa hasta el presente (Montero, 1994). El Bloque Herradura está cortado por dos sistemas de fallas transcurrentes, uno sinistral NE y el otro dextral NW (Figura 11), los cuales actúan como un sistema de fallas conjugadas que controlan la tectónica de la región, en donde ninguno de los sistemas tiene dominio sobre el otro.

En el área de Tárcoles, los buzamientos se concentran en dos áreas claramente definidas, NW y SE, ambos con bajos ángulos de inclinación.

Y en cuanto a las fallas, Arias (2000) para zona de estudio realizada por el autor, la cual comprende la zona entre Tárcoles, Parrita y los Cerros de San Jerónimo y Turrubares (Figura 11), el autor los agrupa en cuatro regiones, para mostrar los comportamientos tectónicos que se dan al interior del Bloque Herradura. Las dos primeras corresponden con los alrededores de los altos topográficos más importantes, los cerros San Jerónimo y Turrubares, la tercera es la región de Tárcoles, en la cual se agrupan los datos ubicados al SW de la Zona de Falla al Este de Nicoya y la cuarta área, son las discontinuidades litológicas entre los sedimentos Terciarios y la Formación Tulín; situadas al sur del Bloque Herradura (región Parrita).

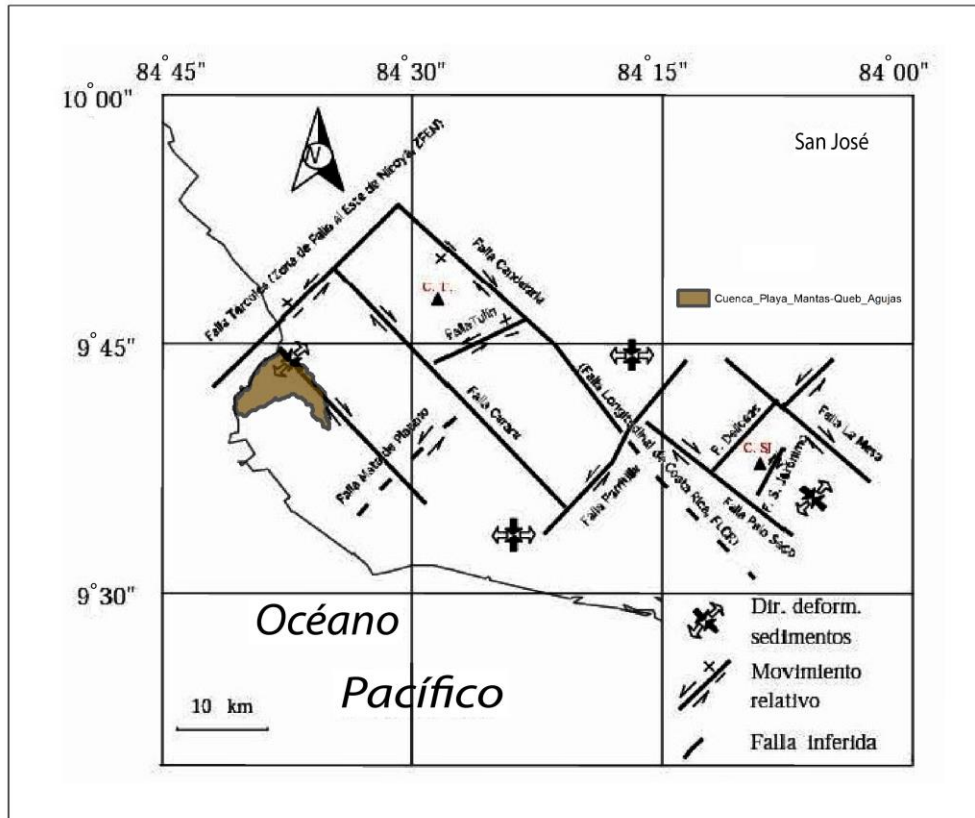


Figura 11: Mapa de fallas transcurrentes y direcciones de deformación (Tomado de Arias, 2000)

Para la zona comprendida por esta investigación, se indican la presencia de varios sistemas de fallas, las más significativas según Ávila (1985) y las que se asocian a un segundo evento tectónico el cual afectó a la unidad silicoclástica son las Fallas Chiquero, Mantas y Costanera, así como la serie de fallas de desplazamiento de rumbo que se dan en Punta Leona y que han producido, junto con la acción erosiva del mar una destrucción rápida de esta Punta.

### 4.3 Geomorfología

La geomorfología presente en la zona de estudio se asocia principalmente a geoformas de origen denudacional, así como de origen estructural y fluvial, y en menos abundancia con formas de origen marino, sin embargo todas obedecen a la influencia climática en la zona, además del fuerte control estructural que se dio (Figura 12).

#### 4.3.1 Unidades de origen denudacional

Abarcan un total de 31,96 km<sup>2</sup> del área de estudio, y se clasifican a partir de su morfología, el tipo de drenaje que se encuentra desarrollado, y principalmente por los rangos de grados de las pendientes presentes:

#### 4.3.1.1 Laderas de baja pendiente

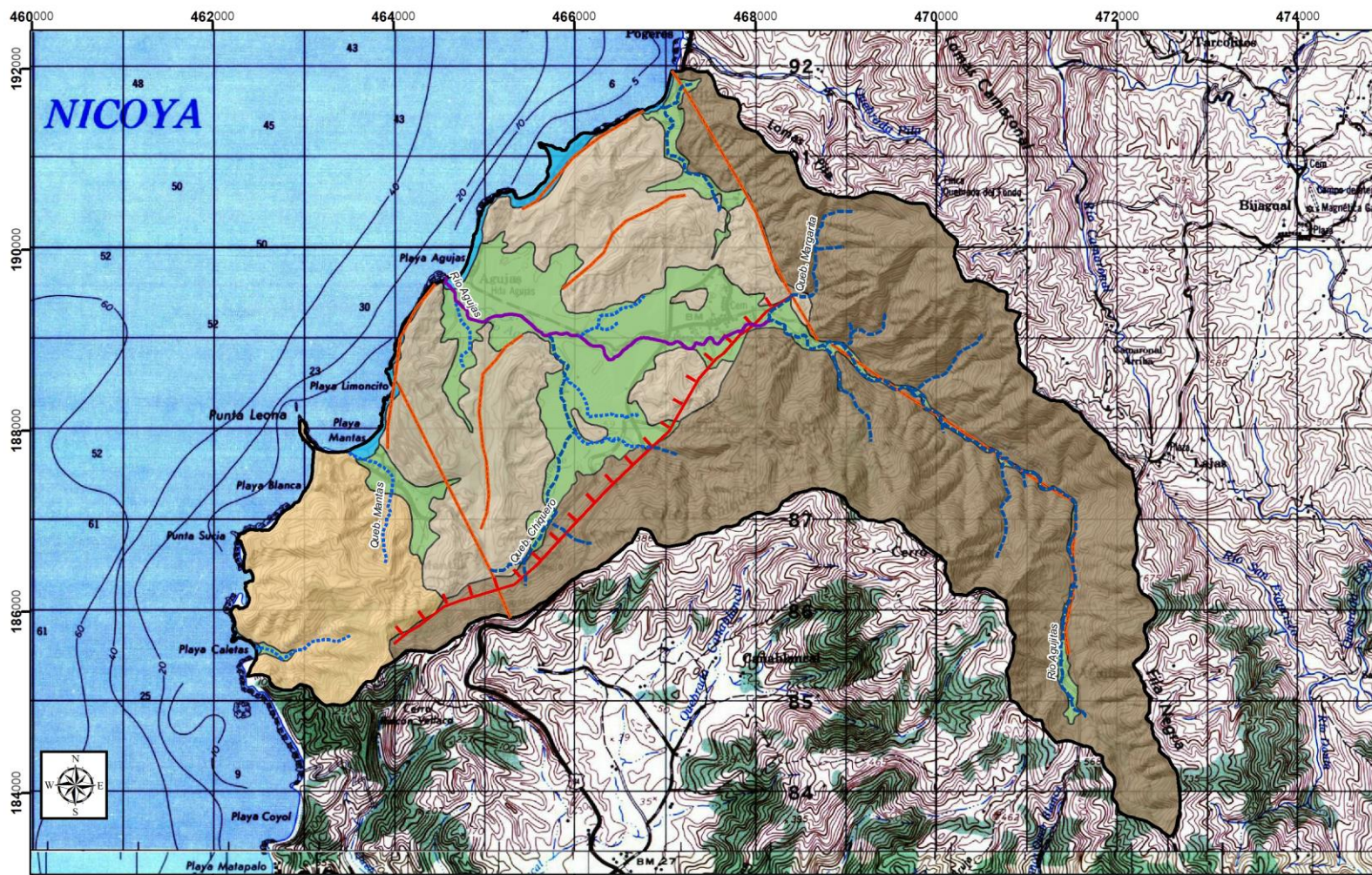
Se presenta principalmente en los sectores centro y oeste del área de estudio, con un área total de 8,39 km<sup>2</sup>, se caracteriza por tener laderas con pendientes que van desde los 5 a los 20° de inclinación, con un drenaje tipo asimétrico y muy poco desarrollado, presenta laderas con mayor pendiente del lado oeste de los cerros, lo que posiblemente indique un control estructural en estos cerros, es posible observar además varias colinas residuales hacia el oeste del centro poblacional de Quebrada Ganado.

#### 4.3.1.2 Laderas de moderada pendiente

Se extienden hacia el SW de la zona de estudio, entre Playa Mantas y Playa Caletas, posee solamente un área de 4 km<sup>2</sup>, se caracteriza por presentarse laderas con pendientes que van desde los 20° a los 30° de inclinación, con un drenaje tipo radial y también muy poco desarrollado, presenta laderas con mayor pendiente del SW del cerros principal, lo que posiblemente se trate también de un control estructural en este cerro.

#### 4.3.1.3 Laderas de alta pendiente

Se trata de todas laderas ubicadas hacia el este del centro de Quebrada Ganado, abarcando la parte alta de la cuenca del Río Agujas, así como los cerros Chiquero, Herradura y Fila Negra, posee solamente un área de 19,58 km<sup>2</sup>, se caracteriza por presentarse laderas con pendientes que van desde los 30° a los 73° de inclinación, con un drenaje tipo subdendríptico y moderadamente desarrollado, las laderas con mayor pendiente se ubican al este de esta geoforma, cerca del sector en donde el Río Agujitas cambia de rumbo al pasar de NW-SE, hacia sur prácticamente.



**Mapa geomorfológico**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocoatepeque

**LEYENDA**

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>Red_Hidrica_Agujas-Mantas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Quebradas</li> <li>--- Quebradas intermitentes</li> <li>— Rios principales</li> </ul> <p><b>Unidades_de_origen_estructural</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Escarpe</li> <li>— Alineamientos</li> <li>— Delimitación_de_la_zona_de_estudio</li> </ul> | <p><b>Unidades_Geomorfológicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Playa</li> <li>Planicies aluviales (0°-5°)</li> <li>Laderas de baja pendiente (5°-20°)</li> <li>Laderas de moderada pendiente (20°-30°)</li> <li>Laderas de alta pendiente (30°-73°)</li> </ul> <p><b>Unidades de origen marino</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Unidades de origen aluvial</li> </ul> <p><b>Unidades de origen denudacional</b></p> |
|--|--|
- 0 500 1.000 2.000 Metros

Figura 12: Mapa geomorfológico

### **4.3.2 Unidades de origen aluvial**

#### 4.3.2.1 Planicies aluviales

Se presentan en la zona central del área de estudio, con un área total de 5,75 km<sup>2</sup>, con pendientes que van desde los 0° hasta los 5°, abarcan los márgenes de las quebradas Pita, Chiquero, Mantas y un sector plano en Playa Caletas, así como el Río Agujas, el drenaje presente en esta unidad geofoma se puede clasificar como subdendrítico.

### **4.3.3 Unidades de origen marino**

#### 4.3.3.1 Playa

La morfología de playa bien desarrollada a nivel de génesis se extiende en las principales playas de la zona de estudio, las cuales son Playa Pita, Agujas, Mantas y Caletas, en los demás sitios cercanos a la línea de costa esta morfología no se aprecia ya que estas playas no se encuentran desarrolladas de la misma forma que las playas anteriormente citadas, posee un área de 0,47 km<sup>2</sup> dentro de esta unidad se diferencian las plataformas de abrasión y playa arenosa abierta, sin embargo esta diferenciación no es posible observarla debido a la escala de trabajo utilizada para esta investigación, por lo que se incluyen ambas dentro de esta morfología.

### **4.3.4 Unidades de origen estructural**

#### 4.3.4.1 Alineamientos

Se trata de varios alineamientos, atravesando prácticamente toda el área de estudio, con rumbos que en su mayoría presentan una dirección NW-SE, y que en menor proporción con un rumbo NE-SW, la zona ha sido afectada tectónicamente por lo que la mayoría de estos alineamientos se asocian a fallas, por ejemplo los alineamientos ubicados en el cauce del Río Agujitas, mientras que otros posiblemente se asocian a un control de tendencias de buzamiento de los paquetes sedimentarios.

#### 4.3.4.2 Escarpes

Este escarpe presenta un longitud de 6 km, ubicándose hacia el SW del centro poblacional de Quebrada Ganado, posee pendientes muy altas de hasta 40° de inclinación.

#### 4.4 Geología Local

El área de estudio está constituida localmente por un basamento de rocas ígneas con origen en un ambiente marino, tales se clasifican principalmente como basaltos correspondientes con la Unidad de Basaltos Agujitas, los cuales están sobreyacidos por rocas sedimentarias de granulometría variable que a su vez se agrupan en dos unidades, la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, y de manera discordante estas dos unidades se encuentran sobreyacidas por calizas fosilíferas color salmón de la Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado, y por último se encuentran cubriendo la Unidad de Depósito Recientes, estas unidades se observan tanto en la columna cronoestratigráfica local (Figura 13), como en el mapa geológico (Figura 14).

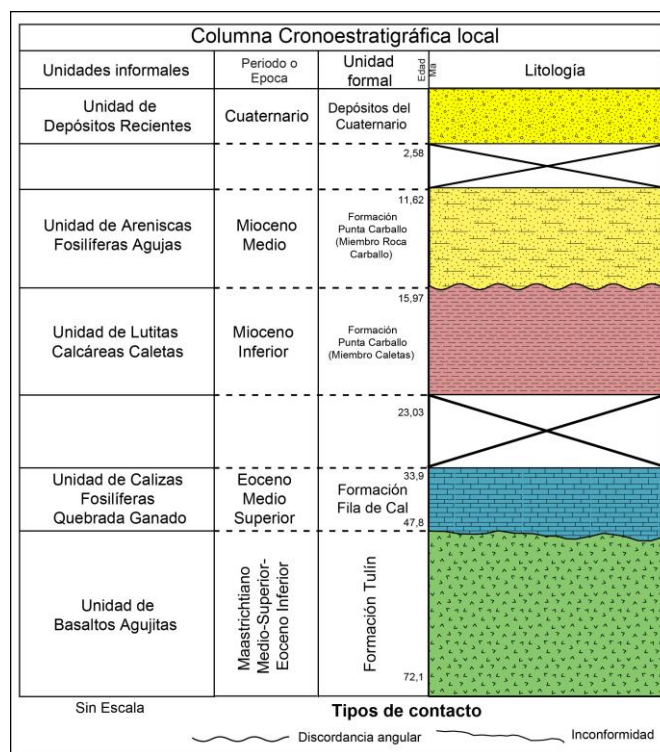


Figura 13 Columna Cronoestratigráfica Local (Modificado de González *et al.* 2015)

##### 4.4.1 Unidad Basaltos Agujitas

En la zona de estudio, esta unidad aflora desde la parte alta de la cuenca del río Agujitas, sector de Fila Negra, hasta la Quebrada Margarita, los Cerros de Chiquero y localidad de Cuesta Chiquero, con un área total de 16,65 km<sup>2</sup>. Se determina que la localidad tipo se ubica en el cauce del río Agujitas, debido a que la calidad de la roca en su mayoría se presenta bastante sana y expuesta, además los afloramientos alcanzan varios metros de cobertura, primordialmente.

Los basaltos se presentan en diferentes estados de alteración, desde muy meteorizados donde resulta difícil una buena clasificación y caracterización, hasta bastante sanos. Los

basaltos sanos (Foto 1) se presentan como una roca dura al golpe, de colores que van desde gris verdosos, oscuros o claros, de texturas afaníticas porfiríticas y en algunas ocasiones hasta afíricas. En términos generales tanto los basaltos tanto sanos como alterados se presentan muy diaclasados, la gran mayoría son fracturas abiertas con longitudes desde milimétricas a centimétricas, algunas con espaciamentos entre 1 mm y hasta los 10 cm, rellenos predominantemente de calcita y sílice, ya sea como cuarzo o zeolitas, y en menor medida de material arcilloso o detrítico (Foto 2).

La roca alterada adquiere tonos gris oscuro y en casos muy avanzados de meteorización tonos rojizos o amarillentos (Foto 3), además se presenta muy deleznable y friable, en estos afloramientos se pueden encontrar cristales de zeolitas dispuestos libremente debido a procesos de lixiviación, además de algún tipo de mineral de alteración color verde musgo dentro de las fracturas, esto principalmente en la parte alta del área en estudio.

A nivel macroscópico existe una leve variación entre los basaltos, por ejemplo una de las muestras encontradas en el sector de Fila Negra, presenta una textura fanerítica granular de grano medio (Muestra MC-02-14, ANEXO 1), color gris oscuro, muy dura al golpe de la piqueta (Foto 4); otras muestras encontradas a lo largo de todo el río Agujitas, Cerro Herradura, Cerro Chiquero, hacia el este de la Quebrada Margarita y Fila Negra, se caracterizaron por presentar una textura afanítica porfirítica (Muestras JM-01-06 y JM-05-14, ANEXO 1) y presentan colores entre gris claro y gris oscuro dependiendo del grado de meteorización.

De los análisis realizados en sección delgada, estos presentan 3 tipos de variaciones principalmente a nivel textural y de tamaño de cristales, y ligeramente a nivel composicional, ya que la muestra JM-01-06 se caracterizó como un basalto andesítico con textura hipocristalina hipidiomórfica granular, mientras que la muestra JM-05-14 se caracterizó como un basalto con textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica, su diferenciación radica en su granularidad. Mientras que la muestra MC-02-14 se caracterizó como un basalto dolerítico, con una textura holocristalina hipidiomórfica a xenomórfica granular, por tanto se infiere que se trata de un hipoabisal, de bastante dureza. Estas variaciones no son a nivel regional por lo que no se diferenciaron subunidades para la unidad de basaltos.

A nivel genético existen variaciones muy localizadas tales como autobrechas y almohadillas, por ejemplo en un sector del río Agujitas aproximadamente 600 metros al norte de la localidad de Agujitas, en la margen derecha del río aflora una capa de brechas volcánicas relativamente sanas y con poca fracturación. Basaltos en almohadilla solo fueron observados camino a Lajas en la coordenada 189233N/470002E.

La Unidad de Basaltos Agujitas se encuentra en contacto con las demás unidades a través de la Falla Chiquero. Un aspecto importante por mencionar es que dentro de esta unidad se encuentra inmersa la Subunidad de Sedimentos Epiclásticos Herradura. El espesor de la Unidad se estima en aproximadamente 550 metros.

Regionalmente se correlaciona esta unidad con los basaltos de la Formación Tulín según Arias (2000), y se le asigna una edad Maastrichtiano Medio-Superior hasta Eoceno Inferior.



Foto 1: Basaltos masivos en Río Agujitas. Coord.: 188477N/469708E.



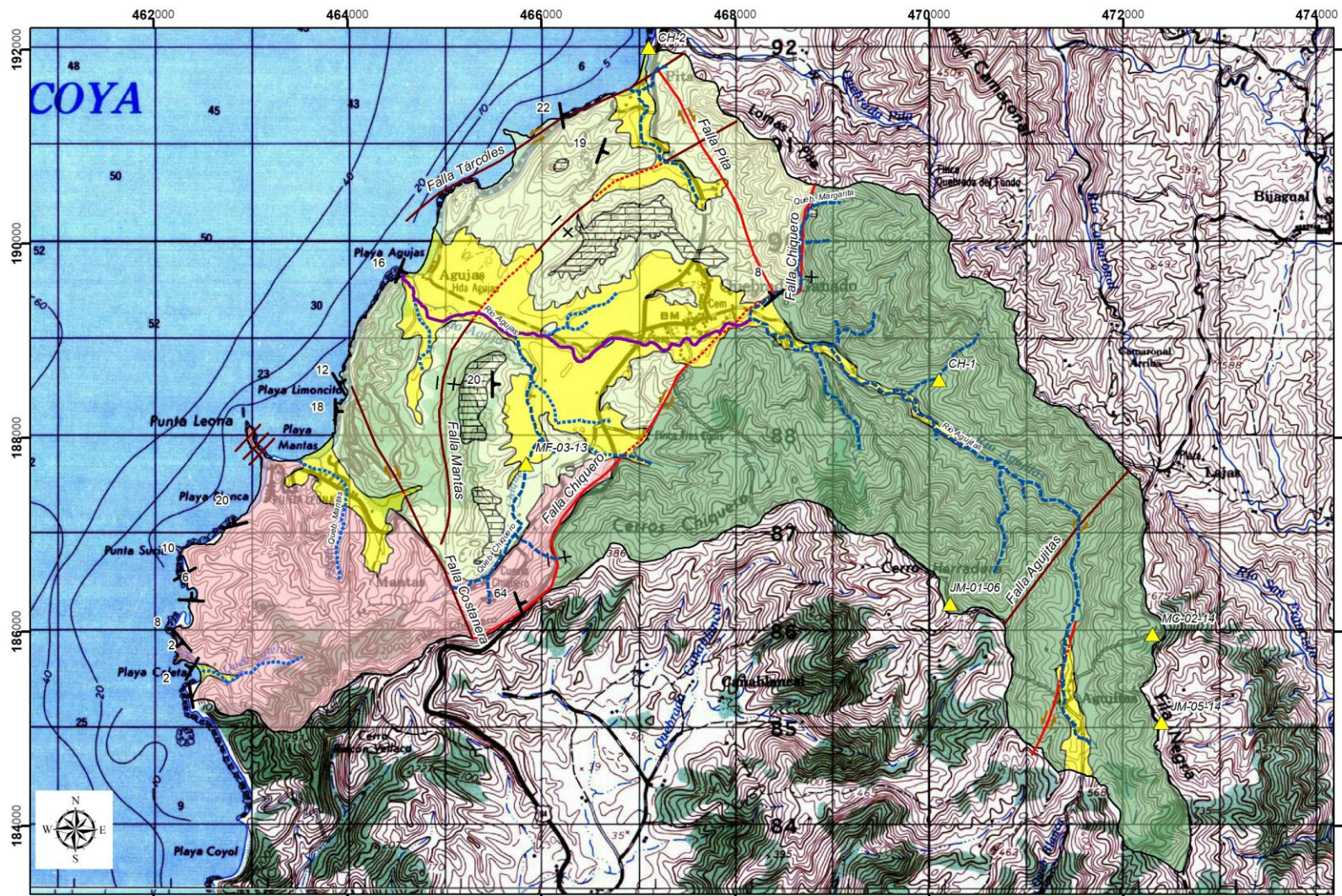
Foto 2: Fracturamiento con relleno de detrito en los basaltos. Coord.: 188045N/470066E.



Foto 3: Afloramiento de basaltos, muy alterado. Se observa el color rojizo típico de un alto grado de meteorización. Coord.: 185995N/471858NE.



Foto 4: Afloramiento de basaltos doleríticos. Se aprecia el material de alteración color verde entre las fracturas de los bloques. Coord.: 185978N/472302E.



**Mapa geológico**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Modificado de González et al. (2015)

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocoetepeque

**LEYENDA**

- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li> Buzamientos</li> <li> Muestreo de rocas para petrografía</li> <li><b>Red_Hidrica_Agujas-Mantas</b></li> <li> Quebradas</li> <li> Quebradas intermitentes</li> <li> Rios principales</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Unidades_estructurales</b></li> <li> Faja comprobada</li> <li> Faja cubierta</li> <li> Faja inferida</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Faja trascurrente dextral</li> <li> Faja trascurrente sinistral</li> <li> Movimiento vertical relativo</li> <li> Delimitación_de_la_zona_de_estudio</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Unidad de Depósitos Recientes</li> <li> Unidad de Areniscas Fossilíferas Agujas</li> <li> Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas</li> <li> Unidad de Calizas Fossilíferas Quebrada Ganado</li> <li> Unidad de Basaltos Agujitas</li> </ul> |
|--|---|--|---|



Figura 14: Mapa Geológico

Dentro de esta unidad se incluyen unos sedimentos finos y medios que afloran en varias quebradas tanto en la margen derecha como izquierda del río Agujitas. No se observan en el mapa geológico debido a que sus dimensiones no son aptas para ello. A continuación se describen estos sedimentos, los cuales se correlacionan con los sedimentos epiclásticos del Maastrichtiano-Paleógeno.

#### 4.4.1.1 Subunidad de Sedimentos Epiclásticos Herradura

Trata de sedimentos asociados a la Unidad de Basaltos Agujitas que se encuentran principalmente sobre un tramo del camino hacia el Cerro Herradura. Estos sedimentos se pueden encontrar también, aunque en menor proporción, en la parte alta del río Agujitas como pequeños bloques intercalados en los basaltos. La localidad tipo se observa sobre el camino en las coordenadas 188838N/468895E, donde se observan un afloramiento de unos 4 m de alto y 3 m de largo con un desarrollo de suelo de color marrón de unos 2 m (Foto 5). Estas rocas se encuentran muy meteorizadas aunque todavía se encuentran levemente compactadas y fuertemente tectonizadas.

Se clasifican como una grauvaca feldespática según Pettijohn *et al.*, (1973) texturalmente conocida como una arenisca limo arcillosa (muestra CH-1, ANEXO 1) La roca es de un color café claro en las partes sanas y beige en las alteradas con una granulometría fina a media con granos muy uniformes con pequeños clastos de feldespatos menores a 1 mm en su mayoría subangulosos con un leve aporte de fragmentos de foraminíferos y presencia de micrita secundaria rellenando fracturas, además de un alto porcentaje de óxidos de manganeso. Se presentan en forma de estratos de espesores centimétricos, sin embargo en la mayoría de los casos no se puede determinar una continuidad estratigráfica, frecuentemente son bloques masivos con tamaños que llegan hasta un metro de diámetro (Foto 6). Presentan mucho fracturamiento alrededor de 1 mm de espesor y 3 cm de espaciado entre cada fractura y con longitudes de 1 cm a los 5 cm, los cuales se presentan rellenos con cristales de cuarzo secundario.

	
<p>Foto 5: Afloramiento de 4m de alto donde se presentan los sedimentos epiclásticos. Coord.: 188838N/468895E</p>	<p>Foto 6: Sedimentos epiclásticos fuertemente tectonizados. Coord.:188742N/ 468976E.</p>

Se establece su origen en una pequeña cuenca de transición hacia la plataforma debido a la variación de granulometría, que se formó sobre los basaltos previamente a que afloraran en superficie. Estos sedimentos tienen poca distancia de transporte desde el área fuente, su ambiente se considera de alta energía lo que provocó la expulsión de la mayor parte de los carbonatos, con presencia de un constante depósito de material que trituró los componentes fosilíferos.

#### **4.4.2 Unidad Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado**

Se trata de varios afloramientos ubicados principalmente en el lado oeste del área de estudio, abarcando un total de 0,94 km<sup>2</sup>, uno de estos afloramientos se observa en los cerros al NW de Quebrada Ganado, donde se encuentran como abundantes bloques masivos de hasta 4 m de diámetro (Foto 7), otro afloramiento muy localizado se ubica en un cerro al SW de Playa Pita (Foto 8). Asimismo estos se encuentran sobre el cauce de la Quebrada Margarita donde mantiene un buzamiento de 311/78°, en un único punto muy localizado en las coordenadas 190350N/468792N. La roca alterada es de color gris claro mientras que la sana es de color anaranjado a crema. Estos bloques son subangulares con una esfericidad media.



Se disponen como bloques superficiales deslizados sobre rocas tanto de la Unidad de Basaltos Agujitas como de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.

En cuanto a su contenido fosilífero, así como matriz y ubicación donde se encontraron, fue posible diferenciar dos tipos de facies, las calizas que afloran en los cerros ubicados cerca de Playa Pita y Quebrada Ganado, son de color crema y presentan bioclastos de macroforaminíferos, así como de ostras, y según Herrera (1985) las clasifica como una Biolitita-Boundstone según la clasificación Dunham (1962) y Folk (1959). Mientras que las otras calizas que se encuentran en los cerros ubicados en el camino que va hacia Punta Leona, son de color gris claro a café claro, con abundantes fragmentos de bivalvos y espinas de erizos, a esta caliza Herrera (1985) la denomina como un grainstone según Dunham (1962).

Soto (1985) explica la relación entre esta unidad y los depósitos subyacentes, de que estos bloques de caliza fueron deslizados por el escarpe de la Falla Chiquero y depositándose sobre la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, esto explicaría que la secuencia de los afloramientos encontrados en estos cerros se encuentre invertida con respecto a la estratigrafía local. En cuanto al espesor de esta unidad, Herrera (1985) menciona que estos bloques llegan a alcanzar hasta los 10 metros en los cerros ubicados en el camino que dirige hacia Punta Leona. Esta unidad se pueda correlacionar con la Formación Fila de Cal y se le asigna una edad de Eoceno Medio-Superior según Sprechmann (1984) y Sprechmann *et al.* (1993, 1994). Su formación fue posiblemente en un ambiente nerítico de plataforma carbonatada que según Laurito (1988) se asocia a una continua caída del nivel del mar, que culmina con un hiato asociado a la discordancia erosiva regional del Pacífico, en el Oligoceno Superior alto y el Mioceno Inferior basal.

#### 4.4.3 Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas

Esta unidad se extiende sobre la costa desde playa Blanca, Punta Sucia hasta el sector de playa Caletas, y en la parte interna se encuentran aflorando en el cerro Fila Chiquero, en los cortes de la carretera que conecta Quebrada Ganado con Herradura en la coordenada 186284N/465841E, abarca un área total de 5,9 km<sup>2</sup>. Su localidad tipo se encuentra en Punta Sucia (186797N/462280E) (Foto 9 y Foto 10).

Está constituida principalmente por lutitas de color gris azulado en afloramientos y hasta de color negro según descripciones de pozos, presenta además intercalaciones con areniscas grises de granulometría fina a media. En general, la roca sana es de un color gris con reacción al HCL y presenta con plagioclasas hinchadas con reacción al HCL (10%), mientras la roca lixiviada presenta un color gris verdoso claro a café grisáceo con patinas de óxidos de hierro, en algunas ocasiones de color blanco, sin reacción al HCL (10%). En los afloramientos ubicados en el cerro Fila Chiquero se encontraron facies muy localizadas de arenisca finas a medias de cemento silíceo, de color gris verdoso en las partes sanas y de color gris claro (Foto 11) hasta café amarillento muy claro en las muestras más alteradas (Foto 12).



Foto 9: Acantilado de lutitas calcáreas, vista hacia el SE.  
Coord.: 186689N/462339E.



Foto 10: Acantilado de lutitas calcáreas, vista hacia el NW.  
Coord.: 186689N/462339E.



Foto 11 Afloramiento de areniscas finas silíceas de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 185839N/464924E.



Foto 12 Afloramiento de areniscas finas silíceas de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 185839N/464924E.

Presenta estratificación plana paralela con un buzamiento general hacia el N10W/10° (Foto 9), la mayoría de los buzamiento varían entre 5 y 10°, sin embargo existen algunas variaciones en cuanto a su dirección de buzamiento debido a la afectación que generan las fallas. Posee espesores que van del orden decimétrico hasta métrico (Foto 13), contienen además laminación paralela, con vetas de calcita y cuarzo, se encuentra además muy diaclasados, pero con poca alteración, esto en la costa, mientras que hacia el este de la zona se encuentran en un grado avanzado de meteorización, donde es común observar meteorización esferoidal.

Desde el punto de vista faunístico no existe mucha abundancia, según Cervantes (1985) en la parte basal de esta unidad se presentan niveles de macroforaminíferos, tales como *Miogypsina*, mientras que en la parte superior de la unidad se encontraron niveles importantes de gastrópodos (*Turritellas*) al SW de Playa Mantas (Foto 14).

Estratigráficamente se encuentra sobreyaciendo a la Unidad de Basaltos Agujitas de manera inconforme y es a través de un contacto por falla, específicamente la Falla Chiquero; subyaciendo de manera discordante a la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas. Posee espesores que van desde los 250 m. (Cervantes, 1985) hasta los 450 m. (Herrera, 1985).

Según Laurito (1988) se trata de una facie de depósitos limosos de estuario profundo, con mucho aporte de material clástico producto de la erosión de un arco andesítico (Cervantes, 1985), el mismo autor propone un ambiente de depositación de litoral con una consecuente subsidencia, esto debido al espesor considerable que presenta esta unidad. Regionalmente se le correlaciona con el Miembro Caletas de la Formación Punta Carballo según Sprechmann et al. (1994), y se le asigna una edad de Mioceno Inferior con base en la *Miogypsina* (Sprechmann, 1985, comunicación escrita; en Soto, 1985).



Foto 13: Estratificación métrica. Coord.:  
187048N/462745E.



Foto 14: Gastrópodos (Turritellas) al SW de Playa  
Mantas. Coord.: 187756N/463417E.

#### 4.4.4 *Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas*

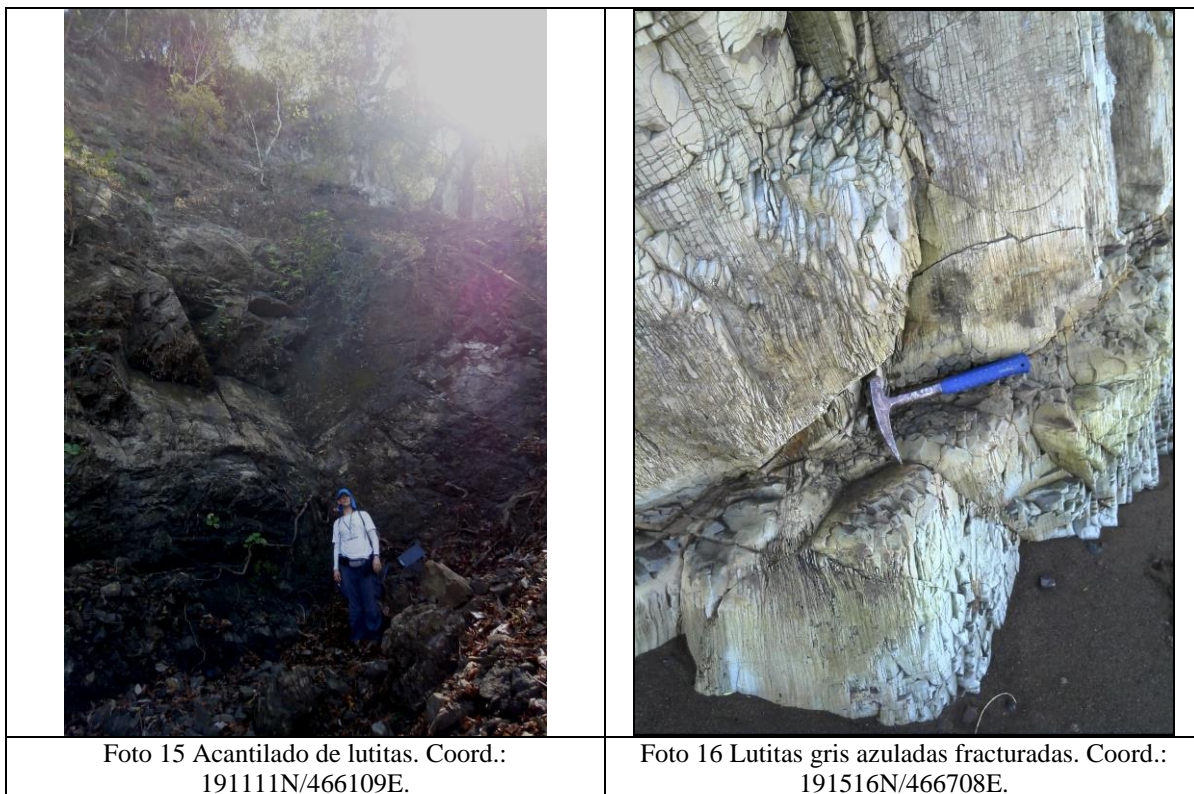
Se encuentran expuestas en varios sectores a lo largo de las quebradas Chiquero y Margarita, Río Agujas, en los cerros ubicados al norte del centro poblacional de Quebrada Ganado), así como en los cerros ubicados al oeste de la ruta nacional número 34 (Costanera Sur), y toda la costa desde Playa Pita, pasando por Playa Agujas, hasta Playa Limoncito, con un área total de 9,02 km<sup>2</sup>, la segunda unidad geológica más grande en cuanto a extensión, después de la Unidad de Basaltos Agujitas. Su localidad tipo se encuentra en Playa Agujas, ya que a ambos lados de esta playa los acantilados presentan la mayor exposición de su espesor, así como de contenido faunístico.

Su composición litológica varía considerablemente debido a sus diferentes facies detríticas, abarcando desde lutitas silíceas, hasta areniscas calcáreas, silíceas y fosilíferas; estas intercalaciones es posible observarlas en el sector entre Playa Pita y Plata Agujas, dicha variación de intercalaciones tanto lateral como vertical se debe al constante cambio de posición del nivel del mar en un ambiente de depositación de bahía interna.

La unidad sigue una tendencia general de buzamiento en dirección ESE, lo cual se observa en la parte norte de la unidad. Granulométricamente, los tamaños varían desde granos finos a gruesos en las areniscas y en ciertos afloramientos se visualiza como algunas de las areniscas se interestratifican, haciéndose más evidente una relación existente entre sí. Las areniscas calcáreas poseen una granulometría principalmente fina y fina media con colores gris oscuro en su mayoría. Mientras que las areniscas silíceas poseen una amplia variación granulométrica, desde fina hasta media gruesa y colores café y gris oscuro; en las coordenadas 188498N/460054E (una de las localidades tipo) se observa una serie de diferentes paquetes de areniscas silíceas de espesores variados, interestratificadas con un evento de areniscas calcáreas gruesas.

Las lutitas se presentan en ciertos puntos específicos, algunas en acantilados que alcanzan alrededor de 10 m (Foto 15), su color varía desde gris azulada (Foto 16), verdosa hasta café

claro, pueden presentar algunos fósiles (bivalvos principalmente) bien preservados y sin reacción al HCL en su mayoría.



Las areniscas fosilíferas se presentan en múltiples formas, el cemento de las mismas puede ser calcáreo o ser silíceo; la granulometría puede variar desde fina, media hasta gruesa, visualizándose granos de hasta más de 5 mm. La distribución, cantidad, tipo y el estado de los fósiles puede ser diferente de un afloramiento a otro y pueden encontrarse presentes bivalvos (ostras), gastrópodos (turritellas), xilópalos y fósiles traza como Thalassinoides, los cuales se presentan bien preservados; en algunas capas de tormentitas, en cuanto a fósiles se refiere, se observan trozos de bivalvos y gastrópodos; además, en ciertos puntos se presentan estratos con grandes cantidades de mega Thalassinoides (Foto 17 y Foto 18). Los fósiles que se encuentran bien preservados pueden alcanzar tamaños de hasta 7 cm.



Foto 17 Estratos de Thalassinoides en el acantilado, Playa Limoncito. Coord.: 188354N/463993E.



Foto 18: Estratos de Thalassinoides en el acantilado, Playa Limoncito. Coord.: 188354N/463993E.

Microscópicamente, algunas de las areniscas fosilíferas son grauvacas líticas, texturalmente llamadas areniscas limo arcillosas (muestra CH-2, ANEXO 1) con una presencia principal de fragmentos de roca, granos feldespáticos y con sedimentos calcáreos secundarios y fósiles de microfósiles fragmentados, en una matriz arcillosa silícica. Se observan además lentes de gravas finas, constituidas por clastos de basaltos y areniscas finas calcáreas, dentro de una matriz de arena media color café.

Otro afloramiento importante en donde se encontraron importantes fragmentos de fósiles se ubica en la margen derecha del Río Agujas, en el camino que va desde Quebrada Ganado hacia Playa Agujas, a 1 km desde el cruce con la carretera costanera (Foto 19).



Foto 19: Restos de fósiles en la margen derecha del Río Agujas. Coord.: 189122N/466123E.

En los afloramientos ubicados en Quebrada Chiquero, se encuentran una serie de areniscas, con un contenido fosilífero importante también, litológicamente consiste en una secuencia

alternada de areniscas de grano media con facies de areniscas finas con macrofósiles, están constituidas por cristales de cuarzo, calcita secundaria y plagioclasa alteradas e hinchados, clastos líticos de angulares a subangulares (3 mm) de color café, blanco y amarillo debido a la alteración por óxidos, poco retrabajados, en una matriz gris claro (40%), fracturadas y muy friables, altamente alteradas a arcillas con patina de óxidos de hierro color naranja herrumbre y presenta reacción al HCL (10%). Las fracturas pueden observarse tanto abiertas rellenas de arcilla o calcita, como cerradas. Microscópicamente corresponde con una Litoarenita feldespática con matriz carbonatada y abundantes fósiles como algas, microforaminíferos y briozoos (muestra: MF03-13, ANEXO 1). Hacia el NE de la zona de estudio, la carencia de fósiles es más notable, por ejemplo a lo largo de la quebrada Margarita se presentan algunas areniscas finas calcáreas, además travertinos en la zona.

La unidad en general se muestra muy diaclasada, con evidencia de la acción de fallas, lo que genera en algunas zonas materiales muy triturados, resultando también en fracturas rellenas de arcillas y óxidos de manganeso y hierro, las cuales presentan rumbos preferenciales NW-SW, con buzamientos tanto hacia el NE como al SW, encontrándose también algunas abiertas hasta 1 cm. Esta actividad ha provocado que la unidad no presente un basculamiento evidente que demuestre una tendencia general de buzamiento. Esta litofacie carece de fósiles. Con base en criterios de campo se observa que esta unidad subyace a la Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado y se encuentra en contacto por falla con la Unidad de Basaltos Agujitas. Además se encuentra sobreyaciendo a la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas de manera discordante. En cuanto a su espesor, este llega a alcanzar los 210 m. según Herrera (1985). Regionalmente se le puede correlacionar con el Miembro Roca Carballo de la Formación Punta Carballo (Kuijpers, 1979 b), por lo que se le asigna una edad de Mioceno Medio.

#### ***4.4.5 Unidad de Depósitos Cuaternarios***

Esta unidad se localiza principalmente las playas Caletas, Mantas, Agujas y Pita, además de los sectores cercanos a las quebradas Chiquero y Pita, así como en la planicie de inundación del Río Agujas, su área en total es de unos 5,68 km<sup>2</sup>.

Principalmente está caracterizada por cantos rodados de dimensiones centimétricas a métricas con formas desde angulares a redondeadas, en su mayoría se trata de bloques de basaltos y areniscas, y en menor medida la presencia de calizas fosilíferas y radiolaritas, dentro de una matriz que va desde arcillosa, hasta gravosa en el caso de los depósitos coluviales.

Dentro de esta unidad se incluyen los siguientes depósitos, muchos de estos no se observan en el mapa geológico debido a su poca extensión areal:

#### 4.4.5.1 Depósitos coluviales

Constan de bloques en su mayoría angulares, aunque algunos son subangulares, de litologías diversas principalmente de areniscas y lutitas, presentan laderas con ángulos entre 35 y 40°. Se distribuyen a lo largo de los acantilados entre las playas Pita, Agujas y Mantas, sin embargo debido a sus afloramientos tan localizados, estos no se observan en el mapa geológico. Depositados por el arrastre de la gravedad. Los bloques se distribuyen de forma caótica dentro de la matriz de suelo (Foto 20). Llegan a alcanzar hasta los 40 m de espesor según información tomada de los pozos cercanos, esto para el sector de Quebrada Chiquero.



Foto 20: Depósitos coluviales en acantilado. Coord.: 190899N/465877E.

#### 4.4.5.2 Depósitos de playa

Constan de depósitos arenosos, con fragmentos de moluscos, y que afloran principalmente en las playas Pita, Agujas, Mantas y Caletas. Presentan las típicas geomorfologías tales como las bermas de playa, estuarios pequeños, así como barras arenosas muy localizadas (Foto 21 y Foto 22).



Foto 21: Estuario en la desembocadura del Río Agujas.  
Coord.: 189595N/464676E.





Foto 22: Depósitos arenosos, Playa Aguja. Coord.:  
189595N/464676E.

#### 4.4.5.3 Depósitos aluviales

Se encuentran aflorando principalmente a lo largo de la planicie aluvial del Río Agujas, y en menor proporción se encuentran en las márgenes de las quebradas Margarita, Chiquero, Pita, Mantas y Caletas. Según Herrera (1985) es posible identificar 2 niveles de terrazas desarrolladas en las márgenes del Río Agujas, de 1 metro de escarpe superior, y de 2 metros el escarpe inferior.

Están constituidos principalmente por paquetes de arenas medias de hasta 50 cm, intercalados con lentes arcillosos centimétricos, así como con paquetes decimétricos de gravas envueltas en una matriz de arena media a gruesa (Foto 23). Presentan espesores de alrededor de los 20 m como es el caso de la planicie del Río Agujas que se extiende 1 km al oeste del poblado de Quebrada Ganado, esto según información litológica de pozos cercanos, también para depósito aluvial ubicado en Playa Mantas el espesor alcanza los 20 m según información de pozos, mientras que en sectores como el de Quebrada Pita el espesor del aluvión no alcanza los 5 m. Para el aluvión que se extiende donde se ubica el centro poblacional de Quebrada Ganado, según la información de pozos y de sondeos eléctricos verticales, el espesor del aluvión alcanza también los 20 m.

Para la Quebrada Chiquero se encuentran depósitos de muy poco espesor, cuyo espesor no alcanza a superar el metro y medio (Foto 24), con intercalaciones de lentes arenosos y gravosas con gradación positiva; y subyaciendo a estos depósitos aluviales se encuentran aflorando rocas muy meteorizadas pertenecientes a la Unidad de Areniscas Fosilíferas, por lo que en el mapa geológico (Figura 14), se observa que ésta última unidad se extiende a través de la parte alta de la Quebrada Chiquero, y solamente se observa a la Unidad de Depósitos Recientes cubriendo la parte media y baja de dicha quebrada

	
<p>Foto 23: Intercalación de diferentes granulometrías en Quebrada Chiquero. Coord.: 187145N/465737E.</p>	<p>Foto 24: Depósitos aluviales finos en la Quebrada Chiquero. Coord.: 187145N/465737E.</p>

#### 4.4.5.4 Depósitos de travertinos

Dentro de esta unidad se incluyen depósitos de travertinos que se encuentran aflorando tanto en la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas como en la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, sus afloramientos son muy limitados en cuanto a dimensiones, por lo que no se incluyen en el mapa geológico. Se encuentran aflorando en Quebrada Pita, Margarita, en un sector de Quebrada Mantas (Foto 25), y se encontró además un afloramiento en un acantilado ubicado entre Playa Blanca y Punta Sucia.



Foto 25 Afloramiento de travertinos en Quebrada Mantas. Coord.: 186588N/463814E.

### 4.5 Estructuras Tectónicas Locales

De acuerdo con la geotectónica regional, propuesta por Arias (2000), la zona de estudio se encuentra sometida a esfuerzos transcompresivos con dirección NW-SE y NE-SW, debido a la influencia ejercida por el arribo de la Cordillera del Coco, dichos datos son coincidentes con la información obtenida en el campo y en el análisis geomorfológico del sector en estudio.

Por tanto, para la zona se propone un modelo tectónico estructural con una predominancia de esfuerzos en la misma dirección antes mencionada, lo cual se refuerza con la delimitación de diferentes fallas principalmente de carácter transcurrente y la presencia de fracturas de tensión en prácticamente toda la zona con una dirección NNW predominantemente, además de fallas con movimiento normal.

Localmente sobre la línea de costa entre el sector Oeste de Playa Mantas y Playa Caletas se presentan tendencias de buzamiento con direcciones entre NW y Nf en los estratos de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas con buzamientos entre 2° y 20°. Mientras que entre el sector Este de Playa Mantas y Playa Pita, la tendencia de buzamiento varía entre NE y SE con buzamientos entre 12° y 22° aproximadamente en los estratos de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.

Se logran identificar tanto a nivel de geomorfología, como de afloramiento, cuatro fallas (Figura 14) que evidencian un importante control estructural sobre la zona. Para la descripción y delimitación de dichas estructuras se utilizó la información recopilada en el campo, además de lo extraído en las campañas geológicas realizadas en el año de 1985.

#### **4.5.1 Falla Chiquero**

Esta falla se ubica en la parte central de la zona de estudio, se extiende desde la quebrada Margarita hasta el cerro Fila Chiquero, atravesando el pie de monte ubicado entre estos cerros y la planicie aluvial, tiene una longitud aproximada de 6,3 km y sigue un rumbo SW-NE. Topográficamente es una de las que genera un mayor cambio en el relieve de la zona, cortando a la Unidad de Basaltos Agujitas y la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, estos cambios abruptos en la topografía genera secuencias de saltos de agua con alturas de hasta 5 m. Se clasifica como falla normal con base en criterios de campo donde se observa en las coordenadas 186284N/465841E, un plano con un rumbo de S62W, 40° NE (Foto 26), además del criterio geomorfológico, donde se observa un escarpe, el cual en ciertos sectores puede alcanzar los 100 m. Un aspecto importante sobre esta falla recae en el hecho que genera la caída de bloques de caliza correspondientes a la Unidad Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado, por lo que de esta manera se explica que la secuencia de estas se encuentre invertida con respecto al marco regional.

En las coordenadas mencionadas en el párrafo anterior se presentan algunas fracturas las cuales están rellenas de óxidos de hierro y manganeso mientras otras con una abertura de hasta 5 mm. Dichas evidencias permiten delimitar el trazo de la falla.



Foto 26 Par conjugado de la Falla Chiquero. Coord.: 186284N/465841E.

#### **4.5.2 Falla Mantas**

Se trata de una falla inferida, y se extiende desde la quebrada Pita hacia el SW atravesando los cerros ubicados al oeste de la carretera principal (Foto 27), llegando hasta el sector de Mantas, tiene una longitud de 6 km, sigue un rumbo N-S en el sector de Mantas, y al norte

cambia a un rumbo SW-NE. Esta falla no fue posible identificarla en campo debido a la cobertura vegetal importante en esta zona, pero geomorfológicamente se observa un alineamiento importante dentro de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, con escarpes ambos lados, y basándose en el modelo de elevación digital elaborado a partir de curvas cada 10 metros, es posible observar laderas de buzamiento hacia la izquierda del alineamiento y laderas de contrabuzamiento hacia la derecha, por lo que se define como una falla normal, inclinada hacia el oeste, dando pie posiblemente a un graben tectónico. La continuidad de esta falla es interrumpida por el área extensa de aluvión sobre del río Agujas.

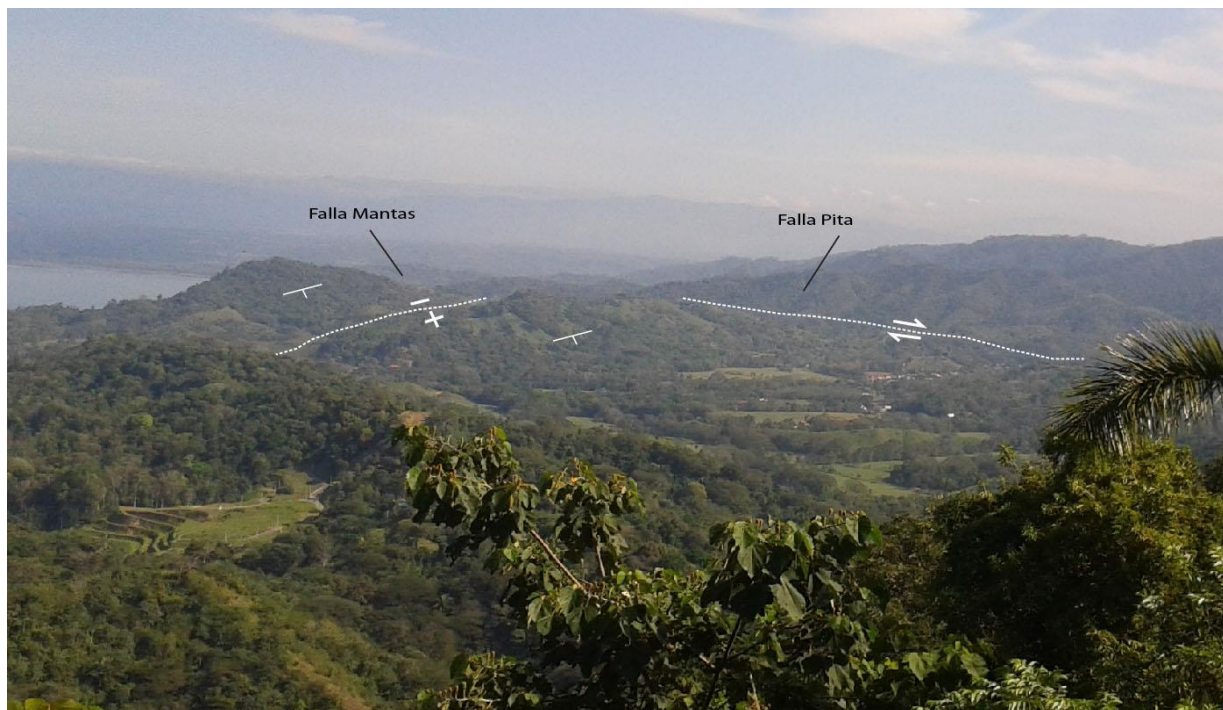


Foto 27: Traza de fallas Mantas y Pita. Coord.: 186286N/465880E.

#### **4.5.3 Falla Pita**

Falla comprobada en campo, la cual se encuentra ubicada al norte de Quebrada Ganado (Figura 14), tiene una longitud de 2,6 km, con rumbo NW-SE y se encuentra atravesando la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, Soto (1985) le define un movimiento normal, sin embargo según referencia bibliográfica se le asigna un movimiento dextral, según el modelo de deformación de fallas transcurrentes de Arias (2000), el mismo autor extiende la longitud de esta falla, hasta la parte alta del Río Agujitas. Geomorfológicamente es posible apreciar varios cerros aislados a lo largo de la traza de falla.

#### **4.5.4 Falla Agujitas**

Se trata de una falla inferida, la misma se ubica 1,5 km al N de la localidad de Agujitas, tiene una longitud mínima de 2 km, corta la Unidad de Basaltos Agujitas. Presenta un movimiento tipo transcurrente sinestral, con un rumbo NE-SW, concordando así con el

sistema de fallas transcurrentes propuesto por Arias (2000), en donde las fallas con rumbo NE-SW presentan un movimiento sinistral, mientras que las fallas con rumbo NW-SE como la Falla Pita, presentan un movimiento dextral.

#### **4.5.5 Falla Tárcoles**

Se trata de una falla inferida la cual se ubica al SW de Playa Pita, con una extensión de 3,3 km, atravesando la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, presenta un rumbo NE-SW, sin embargo en el área de estudio no se encontraron afloramientos afectados por la existencia de esta falla, sin embargo, bibliográficamente esta presenta un movimiento sinistral según el sistema de fallas transcurrentes propuesto por Arias (2000).

#### **4.5.6 Falla Costanera**

Falla inferida, la cual se ubica al este y sureste de Punta Leona, extendiéndose desde Playa Limoncito (Foto 28), hasta Fila Chiquero, con una extensión de 2,9 km, atraviesa gran parte del contacto inferido entre la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas; aunque en el campo se encontraron afloramientos importantes de la traza de esta falla, debido a la erosión no fue posible identificar indicios de movimiento, sin embargo se le asigna un movimiento de tipo dextral, basándose en el sistema de fallas transcurrentes propuesto por Arias (2000).



Foto 28 Zona de falla en el acantilado, sector playa Limoncito. Coord.: 188498N/464054E

A continuación se presenta una lista (Cuadro 1) con los afloramientos en donde se observan trazas de falla, debido a la erosión y a la meteorización en muchos afloramientos no fue posible identificar estrías para determinar movimientos relativos de estas fallas.

Cuadro 1: Datos de fallas observadas.

Norte (Y)	Este (X)	Rumbo	Ángulo	Estrías
188917	469369	S76E	84	Ausentes
188897	470825	N52W	58	Ausentes
186024	471442	N50W	60	Ausentes
188327	469850	Wf	16	Ausentes
185995	471858	N55E	76	Ausentes
185635	471683	S28W	45	Ausentes
186017	471451	N50W	60	Ausentes
191276	467467	N59W	60	Ausentes
190191	467440	Sf	88	Ausentes
185839	464924	S66E	83	Ausentes
189067	465490	S25E	78	Ausentes
186284	465841	S62W	40	Ausentes
186286	465456	S87W	57	Ausentes
186286	465456	N86E	71	Ausentes
187745	463273	S40W	68	Ausentes
187745	463273	N81E	44	Ausentes
187194	462909	N66E	62	3° hacia el NW (D)
187767	463426	N82E	89	Ausentes
188498	464054	S66E	88	Ausentes
192030	467107	N87W	66	Ausentes
191387	466428	N60W	31	Ausentes
191288	466253	S25W	60	Ausentes
191288	466253	N10W	78	56° al NE (S)
190619	465727	N50E	74	Ausentes
190596	465289	N34W	66	Ausentes

En menor escala se observaron otros afloramientos con presencia de fallamiento muy localizado, uno de estos se ubica en Punta Leona (Foto 29), en donde se puede identificar dos familias de diaclasas: una con dirección preferencial al N60W y otra al S60W. Los ángulos son variados desde bajos de 20° a 30° y altos desde 70° a 80° (Foto 30).

Respecto a los planos de buzamiento y a las diaclasas, cabe resaltar un aspecto muy importante desde el punto de vista hidrogeológico, y es la presencia de varios afloramientos rocosos entre las playas Blanca y Sucia, en donde aflora agua tanto a través de planos de buzamiento, como en las diaclasas, dentro de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (Foto 31 y Foto 32).



Foto 29 Traza de falla sobre plataforma de abrasión, sector Punta Leona. Coord.: 187815N/463278E.



Foto 30: Lutitas con diaclasamiento en Playa Blanca. Coord.: 187316N/462998E.



Foto 31: Afloramiento de agua en diaclasas dentro de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Coord.: 187761N/463261E.



Foto 32: Afloramiento de agua en plano de buzamiento, Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, se observa además la capa de depósito de travertino que actualmente se está generando. Coord.: 186937N/462684E.

## 5 HIDROLOGÍA

### 5.1 Datos meteorológicos

#### 5.1.1 Precipitación

La zona en estudio presenta valores de elevación entre los 0 y los 720 m.s.n.m; los valores de precipitación corresponden con la media mensual en mm de lluvia medidos en la estación meteorológica 86007 Punta Leona del Instituto Meteorológico Nacional (I.M.N.) para el período comprendido entre 1990 y 2014, en donde se ha registrado una precipitación promedio anual de 2479,57 mm; esta estación se localiza en las coordenadas Lambert Norte 465034 E / 187199 N, ubicada a 1,4 km al SE del complejo turístico Punta Leona.

En la Figura 15, se muestran los datos mensuales promedio de precipitación entre 1990 y 2014, en donde se observa un período seco entre los meses de Diciembre y Marzo, con promedios mensuales entre 63,22 y 13,77 mm respectivamente. Mientras que el período lluvioso se extiende entre los meses de Abril y Noviembre, con promedios mensuales entre 91,57 mm y 220,85 mm, en donde la precipitación máxima es de 484,2 mm para el mes de Octubre. Los datos de precipitación entre los años 1990 y 2014 se observan en el ANEXO 2.

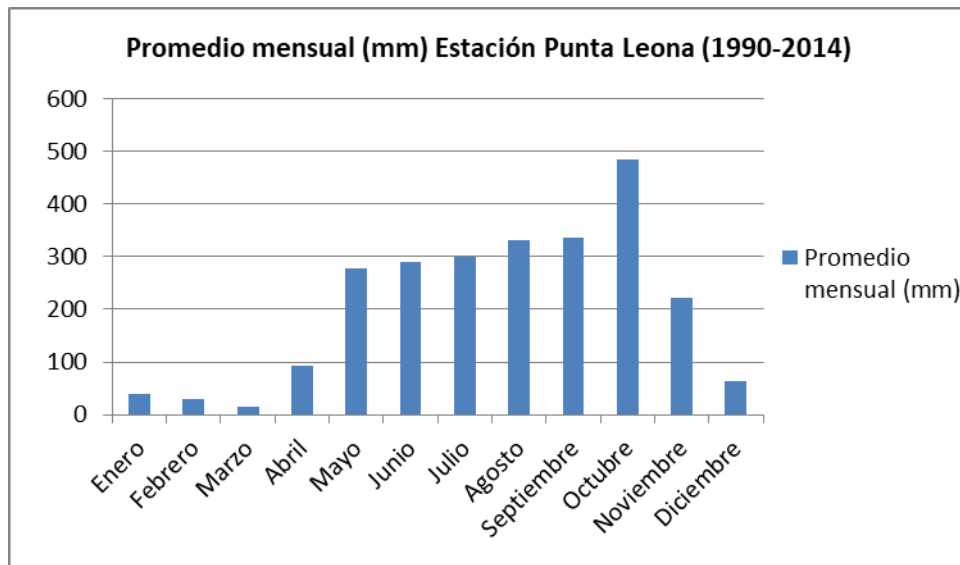


Figura 15: Variación mensual de la precipitación de 1990-2014

### 5.1.2 Temperatura

En cuanto a la temperatura se tomaron en cuenta los valores registrados en la estación meteorológica 90009 Damas del I.M.N (Cuadro 2), localizada en las coordenadas Lambert Norte 514429 E / 163218 N, ubicada a 46 km al SE de la zona de estudio, debido a que es la única estación meteorológica cercana que cuenta con datos de temperatura. Además tanto la estación como la zona de estudio se encuentran dentro de un mismo rango de temperatura entre 25 y 30 °C según el Mapa de temperatura promedio anual de 1980 del I.M.N (Figura 16).

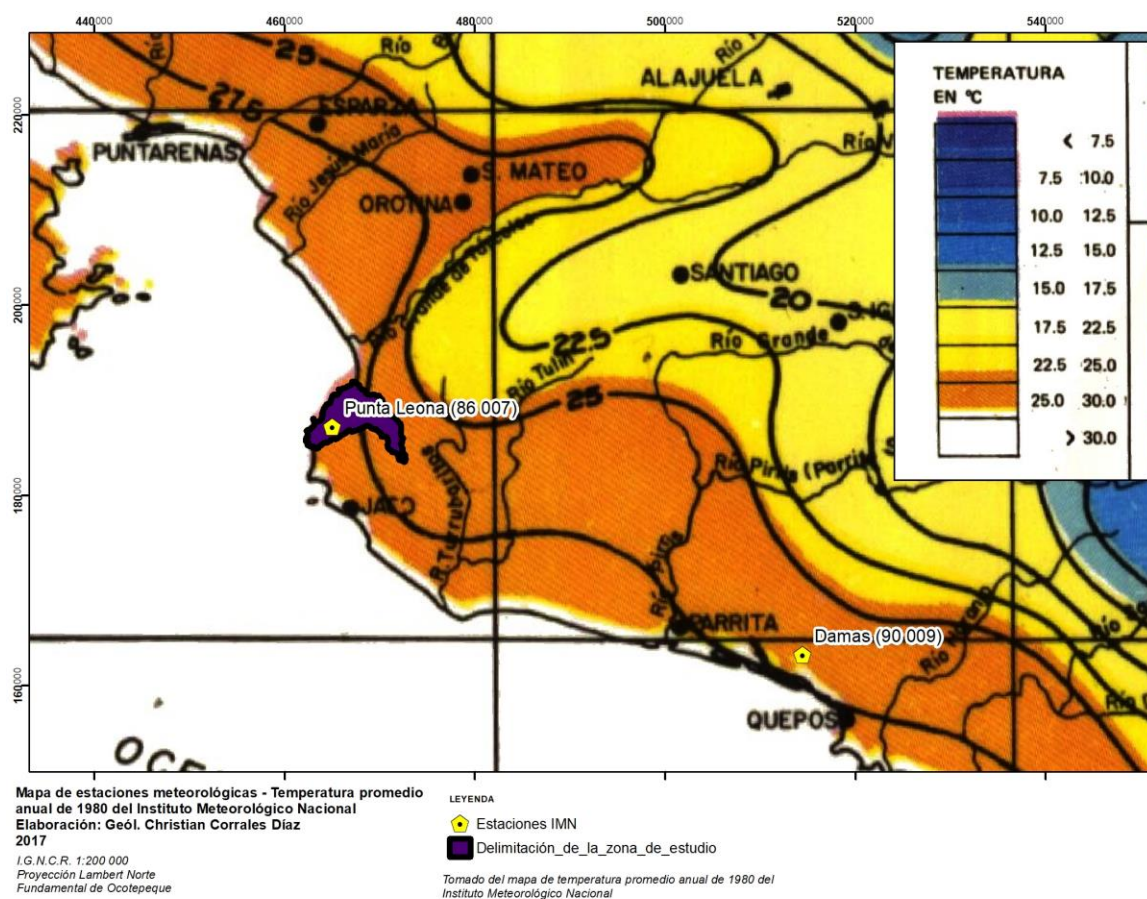


Figura 16: Mapa de estaciones meteorológicas (Tomado de mapa de temperatura promedio anual de 1980 I.M.N.)

Cuadro 2: Datos de Temperatura y Evapotranspiración - Estación Damas

<b>Temperatura Promedio mensual (°C). Estación Damas 90009, periodo 1984-2014</b>												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temp. Max (C°)	31,3	32	32,5	32,2	31,2	30,8	30,7	30,6	30,4	30	29,9	30,6
Temp. Min (C°)	21,8	22	22,7	23,5	23,4	23,2	23	22,9	22,8	22,8	22,7	22,4
Temp. Media (C°)	26,6	27	27,6	27,9	27,3	27	26,8	26,7	26,6	26,4	26,3	26,5
RA - Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (mm/día) - Latitud 10°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
$\Delta T$ - Diferencia de temperatura máxima y mínima promedio mensual (C°)	9,50	10,00	9,80	8,70	7,80	7,60	7,70	7,70	7,60	7,20	7,20	8,20
Cantidad de días por mes (n)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
K - Constante para climas húmedos 0,18												
$v(\Delta T)$	3,08	3,16	3,13	2,95	2,79	2,76	2,77	2,77	2,76	2,68	2,68	2,86
$32+1.8*\text{Temp. Media}$	79,88	80,60	81,68	82,22	81,14	80,60	80,24	80,06	79,88	79,52	79,34	79,70
$K*RA*v[\Delta T]*0.0075$	0,055	0,061	0,065	0,063	0,058	0,057	0,057	0,058	0,057	0,053	0,049	0,050
ETP mensual (mm) Hargreaves & Samani (1985)= $(K*RA*v[\Delta T])*(0.0075)*(32+1.8*^{\circ}C)*n$	136,01	136,81	163,73	154,20	147,00	137,69	142,57	144,11	136,46	131,27	117,26	123,21
ETP Total Anual (mm) Hargreaves & Samani (1985)	<b>1670,30</b>											
Tomado del I.M.N. 2015												

### 5.1.3 Evapotranspiración potencial (ETP)

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), existen varias ecuaciones. Algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas tienen (Schosinsky, 2006). Por lo que se utilizará para esta investigación la metodología de Hargreaves & Samani (1985):

$$ETP \text{ mensual (mm)} = (K * RA * \sqrt{[\Delta T]} * (0.0075) * (32 + 1.8 * C) * n$$

ETP = Evapotranspiración potencial en (mm/mes)

K= Constante para climas húmedos 0,18

RA= Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (mm/día) - Latitud 10° (Cuadro 3)

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura máxima y mínima promedio mensual (C°)

C= Temperatura Media (C°)

n= Cantidad de días del mes

Cuadro 3: Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (mm/día) - Latitud 10°.

Latitud	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12	11.1
16	12	13.3	14.7	15.6	16	15.9	15.9	15.7	15	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15	14.2	13.7
4	14.3	15	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Esta metodología emplea los parámetros de Temperatura Máxima, Mínima y Media, los valores Radiación extraterrestre ( $\Delta T$ ) al tope de la atmósfera en mm/día para una Latitud de 10° para Costa Rica en cada mes del año (Cuadro 3), además de una constante (K) para climas húmedos en este caso el valor es 0,18; para obtener finalmente el valor de Evapotranspiración potencial en mm para cada mes del año. En el Cuadro 2 se muestran tanto los valores de temperatura media de la estación meteorológica Damas del I.M.N, como el cálculo de la evapotranspiración para cada mes, y la variación de ambos parámetros respecto al mes (Figura 17), en donde el mes con mayor evapotranspiración es el de Marzo con 163,73 mm, mientras que Noviembre posee el menor valor con 117,26 mm.

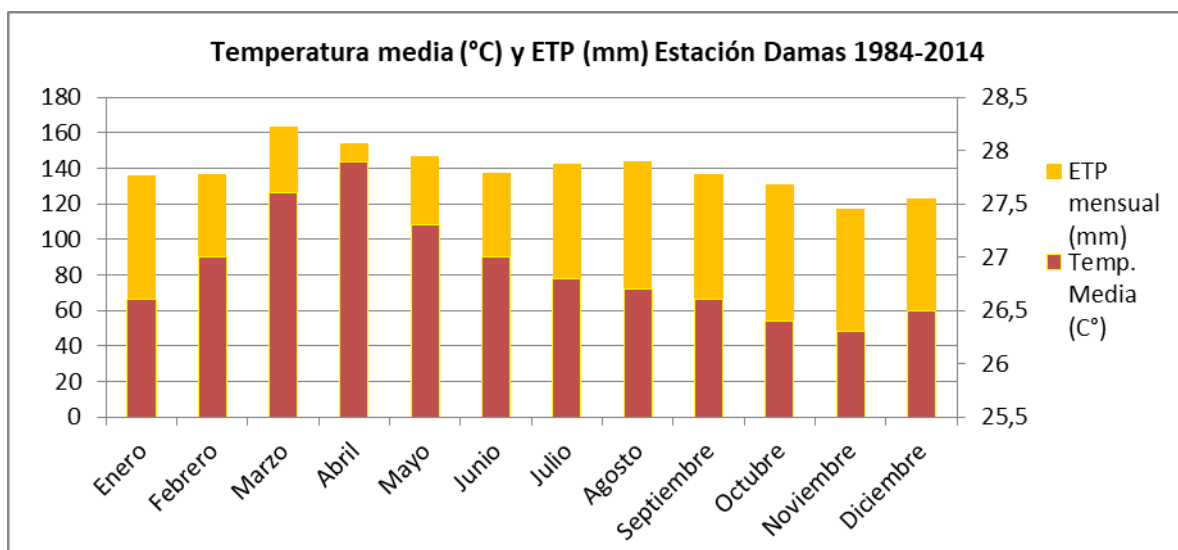


Figura 17: Variación mensual de la Temperatura media y ETP de 1984-2014

## 5.2 Aforos diferenciales

Se realizan 59 aforos diferenciales en verano durante los meses febrero y marzo del 2015 a lo largo del río Agujas y las quebradas Mantas y Chiquero, a una distancia de separación de 500 m aproximadamente (Figura 18), y en los puntos de confluencia se utilizó la técnica de los 3 puntos, para así contabilizar el caudal de las dos afluentes aguas arriba y el caudal total después de la unión de las mismas.

Se tomó como incertidumbre de los caudales calculados, un 5% de error, además de que se realizaron aforos de amarre de un día al otro ya que se requirió de varios días para recorrer dichas quebradas y ríos (ANEXO 3). Las mediciones se realizaron utilizando un molinete, colocado a ciertas profundidades de la sección transversal de cada uno de los ríos y quebradas.

Para la parte alta del río Agujas, se determinó que existe un aporte lateral de los basaltos hacia este río con un caudal de 48,21 L/s (Cuadro 4), esto se refleja entre los puntos R.A.#1 y R.A.#32.

Para la parte media y baja del Río Agujas compuesta por aluviones se registró un aporte de los depósitos aluviales hacia el río de 24,36 L/s (Cuadro 5), dentro de este sector se registraron en varios tramos un comportamiento influente en donde el caudal total aportado del río hacia el acuífero fue de 126,36 L/s, mientras que los tramos que se comportaron de manera efluente aportaron un caudal de 150,72 L/s del acuífero hacia el río, por lo que la diferencia entre estos dos sería de un total de 24,36 L/s como aporte del acuífero hacia el río.

En cuanto a la Quebrada Chiquero en el sector constituido por depósitos aluviales se registró un aporte del acuífero hacia el río de 29,08 L/s (Cuadro 6), mientras que para el sector compuesto por areniscas no se registraron mediciones de caudal (Cuadro 7).

Para los depósitos aluviales de la Quebrada Mantas no se registraron mediciones de caudal (Cuadro 8).

Cuadro 4: Caudales por tramo para los basaltos (Río Agujas)

TRAMO	NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	UNIDAD GEOLÓGICA	Q CALCULADO (CON 5% DE ERROR) EN L/S	Q APORTADO L/S	COMPORTAMIENTO
	RÍO AGUJAS # 1	BASALTOS	5,70		
R.A.#1 a R.A.#2	RÍO AGUJAS # 2	BASALTOS	4,86	-0,84	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 3 ( QUEBRADA AFLUENTE # 1 )	BASALTOS	0,91		
R.A.#2 y R.A.#3 a R.A.#4	RÍO AGUJAS # 4	BASALTOS	6,94	-1,17	SIN VARIACIÓN
R.A.#4 a R.A.#5	RÍO AGUJAS # 5	BASALTOS	9,04	2,10	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 6 ( QUEBRADA AFLUENTE # 2 )	BASALTOS	2,28		
	RÍO AGUJAS # 7 ( QUEBRADA AFLUENTE # 3 )	BASALTOS	0,31		
R.A.#5, R.A.#6 y R.A.#7 a R.A.#8	RÍO AGUJAS # 8	BASALTOS	12,16	0,52	SIN VARIACIÓN
R.A.#8 - R.A.#9	RÍO AGUJAS # 9	BASALTOS	12,96	0,80	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 10 ( QUEBRADA AFLUENTE # 4 )	BASALTOS	1,36		
R.A.#9 y R.A.#10 a R.A.#11	RÍO AGUJAS # 11	BASALTOS	12,12	-2,19	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 12 ( QUEBRADA AFLUENTE # 5 )	BASALTOS	1,13		
R.A.#11 y R.A.#12 a R.A.#13	RÍO AGUJAS # 13	BASALTOS	18,81	5,56	EFLUENTE
	RÍO AGUJAS # 13	BASALTOS	17,10		
R.A.#13 a R.A.#14	RÍO AGUJAS # 14	BASALTOS	15,89	-1,21	SIN VARIACIÓN
R.A.#14 a R.A.#15	RÍO AGUJAS # 15	BASALTOS	26,29	10,39	EFLUENTE
	RÍO AGUJAS # 16 ( QUEBRADA AFLUENTE # 6 )	BASALTOS	4,64		
R.A.#15 y R.A.#16 a R.A.#17	RÍO AGUJAS # 17	BASALTOS	28,44	-2,48	SIN VARIACIÓN
R.A.#18	RÍO AGUJAS # 18	BASALTOS	50,11		
R.A.#18 a R.A.#20	RÍO AGUJAS # 20	BASALTOS	52,06	1,95	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 21 ( QUEBRADA AFLUENTE # 8 )	BASALTOS	3,82		
R.A.#20 y R.A.#21 a R.A.#22	RÍO AGUJAS # 22	BASALTOS	56,70	0,82	SIN VARIACIÓN
R.A.#22 a R.A.#23	RÍO AGUJAS # 23	BASALTOS	70,30	13,60	EFLUENTE
R.A.#23 a R.A.#24	RÍO AGUJAS # 24	BASALTOS	70,30	0,00	SIN VARIACIÓN
	RÍO AGUJAS # 24 AFORO DE AMARRE	BASALTOS	69,35		
	RÍO AGUJAS # 25 ( QUEBRADA AFLUENTE # 9 )	BASALTOS	4,43		
R.A.#24 y R.A.#25 a R.A.#26	RÍO AGUJAS # 26	BASALTOS	81,70	7,92	EFLUENTE
R.A.#26 a R.A.#27	RÍO AGUJAS # 27	BASALTOS	79,80	-1,90	SIN VARIACIÓN
R.A.#28 - R.A.#29	RÍO AGUJAS # 28 ( QUEBRADA AFLUENTE # 10 )	BASALTOS	4,45	4,45	SIN VARIACIÓN
R.A.#27 y R.A.#28 a R.A.#29	RÍO AGUJAS # 29	BASALTOS	61,43	-22,82	INFLUENTE
	QUEBRADA AFLUENTE 11	BASALTOS	0,00		
R.A.#29 y AF 11 a R.A.#30	RÍO AGUJAS # 30	BASALTOS	94,98	33,55	EFLUENTE
	RÍO AGUJAS # 31 ( QUEBRADA AFLUENTE # 12 )	BASALTOS	5,96		
R.A.#30 y R.A.#31 a R.A.#32	RÍO AGUJAS # 32	BASALTOS	103,15	2,21	SIN VARIACIÓN
				71,03	CAUDAL TOTAL EFLUENTE
				-22,82	CAUDAL TOTAL INFLUENTE
				48,21	CAUDAL APORTADO AL RÍO
<b>BASALTOS (RÍO AGUJAS)</b>					

Cuadro 5: Caudales por tramo para el aluvión (Río Agujas)

TRAMO	NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	UNIDAD GEOLÓGICA	Q CALCULADO (CON 5% DE ERROR) EN L/S	Q APORTADO L/S	COMPORTAMIENTO
R.A.#32 a R.A.#33	RÍO AGUJAS # 33	ALUVIÓN	88,01	-15,14	INFLUENTE
R.A.#33 a R.A.#34	RÍO AGUJAS # 34	ALUVIÓN	62,70	-25,31	INFLUENTE
R.A.#34 a R.A.#35	RÍO AGUJAS # 35	ALUVIÓN	70,30	7,60	EFLUENTE
AF 13-R.A.#36	QUEBRADA AFLUENTE 13	ALUVIÓN	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
R.A.#35 y AF 13 a R.A.#36	RÍO AGUJAS # 36	ALUVIÓN	11,40	-58,90	INFLUENTE
	RÍO AGUJAS # 37- QUEBRADA AF. 14 ( QUEBRADA CHIQUERO # 43	ALUVIÓN	28,67		
R.A.#36 y R.A.#37 a R.A.#38	RÍO AGUJAS # 38	ALUVIÓN	36,92	-3,15	SIN VARIACIÓN
R.A.#38 a R.A.#39	RÍO AGUJAS # 39	ALUVIÓN	142,50	105,58	EFLUENTE
R.A.#39 a R.A.#40	RÍO AGUJAS # 40	ALUVIÓN	115,49	-27,01	INFLUENTE
	RÍO AGUJAS # 41 ( QUEBRADA AFLUENTE 15 )	ALUVIÓN	8,97		
R.A.#40 y R.A.#41 a R.A.#42	RÍO AGUJAS # 42	ALUVIÓN	162,00	37,54	EFLUENTE
				150,72	CAUDAL TOTAL EFLUENTE
				126,36	CAUDAL TOTAL INFLUENTE
	<b>ALUVIÓN (RÍO AGUJAS)</b>			<b>24,36</b>	<b>CAUDAL APORTADO AL RÍO</b>

Cuadro 6: Caudales por tramo para el aluvión (Quebrada Chiquero)

TRAMO	NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	UNIDAD GEOLÓGICA	Q CALCULADO (CON 5% DE ERROR) EN L/S	Q APORTADO L/S	COMPORTAMIENTO
Q.CH. # 47-Q.CH. # 46	QUEBRADA CHIQUERO # 46	ALUVIÓN	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
Q.CH. # 46-Q.CH. # 45	QUEBRADA CHIQUERO # 45	ALUVIÓN	8,18	8,18	EFLUENTE
	QUEBRADA AFLUENTE 16 - MARGEN IZQUIERDA	ALUVIÓN	1,10		
Q. AF. 16 y Q.CH. # 45 a Q.CH. # 44	QUEBRADA CHIQUERO # 44	ALUVIÓN	6,41	-2,87	SIN VARIACIÓN
Q.CH. # 44-Q.CH. # 43	QUEBRADA CHIQUERO # 43	ALUVIÓN	30,18	23,77	EFLUENTE
				29,08	CAUDAL TOTAL EFLUENTE
	<b>ALUVIÓN (QUEB. CHIQUERO)</b>			<b>29,08</b>	<b>CAUDAL APORTADO AL RÍO</b>

Cuadro 7: Caudales por tramo para las areniscas (Quebrada Chiquero)

TRAMO	NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	UNIDAD GEOLÓGICA	Q CALCULADO (SIN 5% DE ERROR) EN L/S	Q APORTADO L/S	COMPORTAMIENTO
INICIA QUEB. CHIQUERO	QUEBRADA CHIQUERO # 48	ARENISCAS	0,00		
Q.CH. # 48-Q.CH. # 47	QUEBRADA CHIQUERO # 47	ARENISCAS	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
<b>ARENISCAS (QUEB. CHIQUERO)</b>				<b>0,00</b>	<b>SIN VARIACIÓN EN CAUDAL</b>

Cuadro 8: Caudales por tramo para los depósitos aluviales (Quebrada Mantas)

TRAMO	NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO	UNIDAD GEOLÓGICA	Q CALCULADO (CON 5% DE ERROR) EN L/S	Q APORTADO L/S	COMPORTAMIENTO
INICIA QUEB. MANTAS	QUEBRADA MANTAS # 1	ALUVIÓN	0,00		
Q.M. # 1, A.F. # 1 y A.F. # 2 a Q.M. # 2	AFLUENTE # 1 - MARGEN IZQUIERDA	ALUVIÓN	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
	AFLUENTE # 2 - MARGEN DERECHA	ALUVIÓN	0,00		
	QUEBRADA MANTAS # 2	ALUVIÓN	0,00		
	QUEBRADA MANTAS # 3 ANTIGUA DESEMBOCADURA AL MAR SEGÚN MAPA TOPOGRÁFICO	ALUVIÓN	0,00		
Q.M. # 2-Q.M. # 4	QUEBRADA MANTAS # 4	ALUVIÓN	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
Q.M. # 4-Q.M. # 5	QUEBRADA MANTAS # 5	ALUVIÓN	0,00	0,00	SIN VARIACIÓN
<b>ALUVIÓN (QUEB. MANTAS)</b>				<b>0,00</b>	<b>SIN VARIACIÓN EN CAUDAL</b>

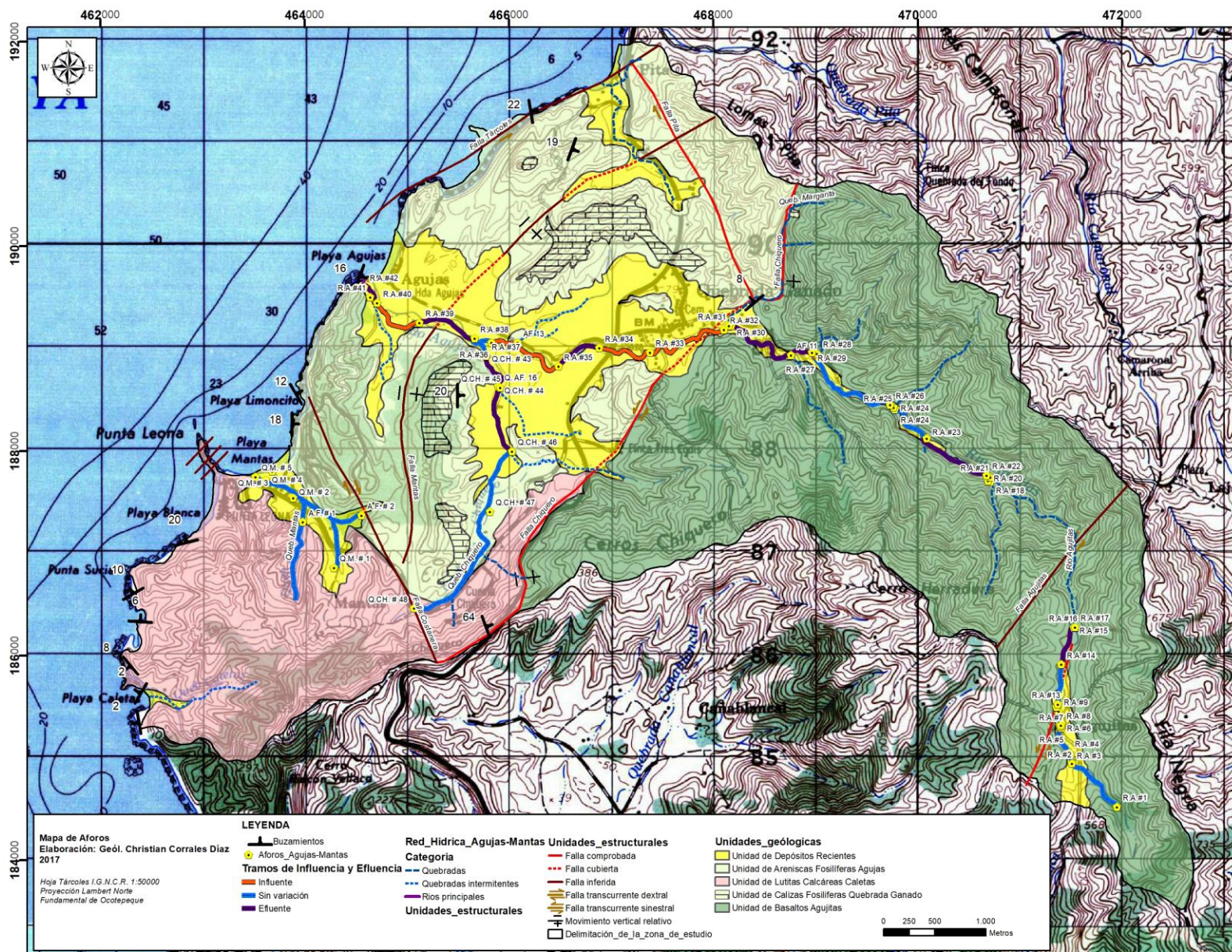


Figura 18: Mapa de aforos

### 5.3 Subunidades Geológicas de Recarga (SGR)

A partir de la elaboración del cartografiado geológico, así como de la elaboración del mapa de red de drenaje, se procedió a delimitar las diferentes subcuencas que hay en la zona, sobre las cuales se elaborará posteriormente el cálculo de recarga potencial; a estas se les asignó el nombre de Subunidades Geológicas de Recarga. En total se definieron 17 de estas (Figura 19), cada una asociada a una de las cuatro unidades geológicas definidas anteriormente (Cuadro 9).

Cuadro 9: Subunidades Geológicas de Recarga (SGR)

Subunidades Geológicas de Recarga	Área (m <sup>2</sup> )	Unidades Geológicas
A1	2.750.802,36	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas
A2	37.163,38	Unidad de Depósitos Recientes
B1	1.423.511,55	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas
B2	504.622,68	Unidad de Depósitos Recientes
B3	1.204.875,08	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
C1	1.715.614,31	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas
C2	2.354.875,47	Unidad de Basaltos Agujitas
C3	1.662.432,40	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
C4	981.861,81	Unidad de Depósitos Recientes
D1	258.927,03	Unidad de Depósitos Recientes
D2	14.321.700,00	Unidad de Basaltos Agujitas
D3	2.075.165,96	Unidad de Depósitos Recientes
D4	1.321.940,73	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
E1	2.504.851,33	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
E2	1.301.057,34	Unidad de Depósitos Recientes
F1	3.242.488,59	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
F2	521.690,66	Unidad de Depósitos Recientes

Para la definición de las Subunidades Geológicas de Recarga no se tomó en cuenta a la Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado, debido a que esta consta de bloques de calizas alóctonos, que se deslizaron desde la Unidad Basaltos Agujitas y fueron depositados sobre la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas. También a nivel de afloramiento, estas calizas poseen muy poco espesor, y además de que no cuentan con un suelo asociado como las otras unidades geológicas, por lo que para efectos del cálculo de la recarga potencial, esta unidad de calizas no representa un acuífero como tal, y su área de distribución se incluirá dentro del área total de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.

Posteriormente, a cada una de las SGR se le asignará un valor promedio de los diferentes parámetros obtenidos a partir del muestreo de suelos y de las pruebas de infiltración, cuya distribución se detalla más adelante.

## 5.4 Parámetros físicos del suelo

### 5.4.1 Infiltración de suelo

Para la zona de estudio se elaboraron un total de 53 pruebas de infiltración (Foto 33 y Foto 34), ubicadas estratégicamente dentro de cada una de las cuatros unidades geológicas, con el objetivo de obtener valores de permeabilidad del suelo asociado a cada una. Cada prueba de infiltración se realizó utilizando el doble anillo de Kostiaikov, con una duración de 2 horas. Las mismas se distribuyeron a lo largo de la zona según la Figura 19. Una vez procesadas las pruebas de infiltración (ANEXO 4), se procedió a separarlas por Subunidades Geológicas de Recarga (Figura 19), y mediante la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000) se definió el  $K_{fc}$  para cada unidad (Cuadro 10):

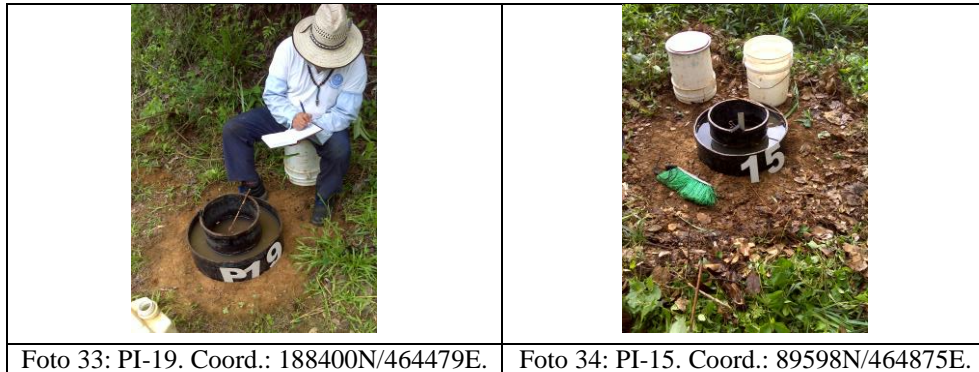
$$\bullet \quad K_{fc} = 0,267 \ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$$

$K_{fc}$  [adimensional] = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo);

$fc$  [mm/día] = Infiltración básica del suelo (Pruebas de infiltración).

Para aplicar esta ecuación, el rango de  $fc$  debe definirse de la siguiente manera:

- Si  $fc$  se encuentra entre 16 y 1568 mm/día  $K_{fc} = 0,267 \ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$ .
- Si  $fc$  es menor a 16 mm/día  $K_{fc} = 0,0148fc/16$ .
- Si  $fc$  es mayor de 1568 mm/día  $K_{fc} = 1$ .

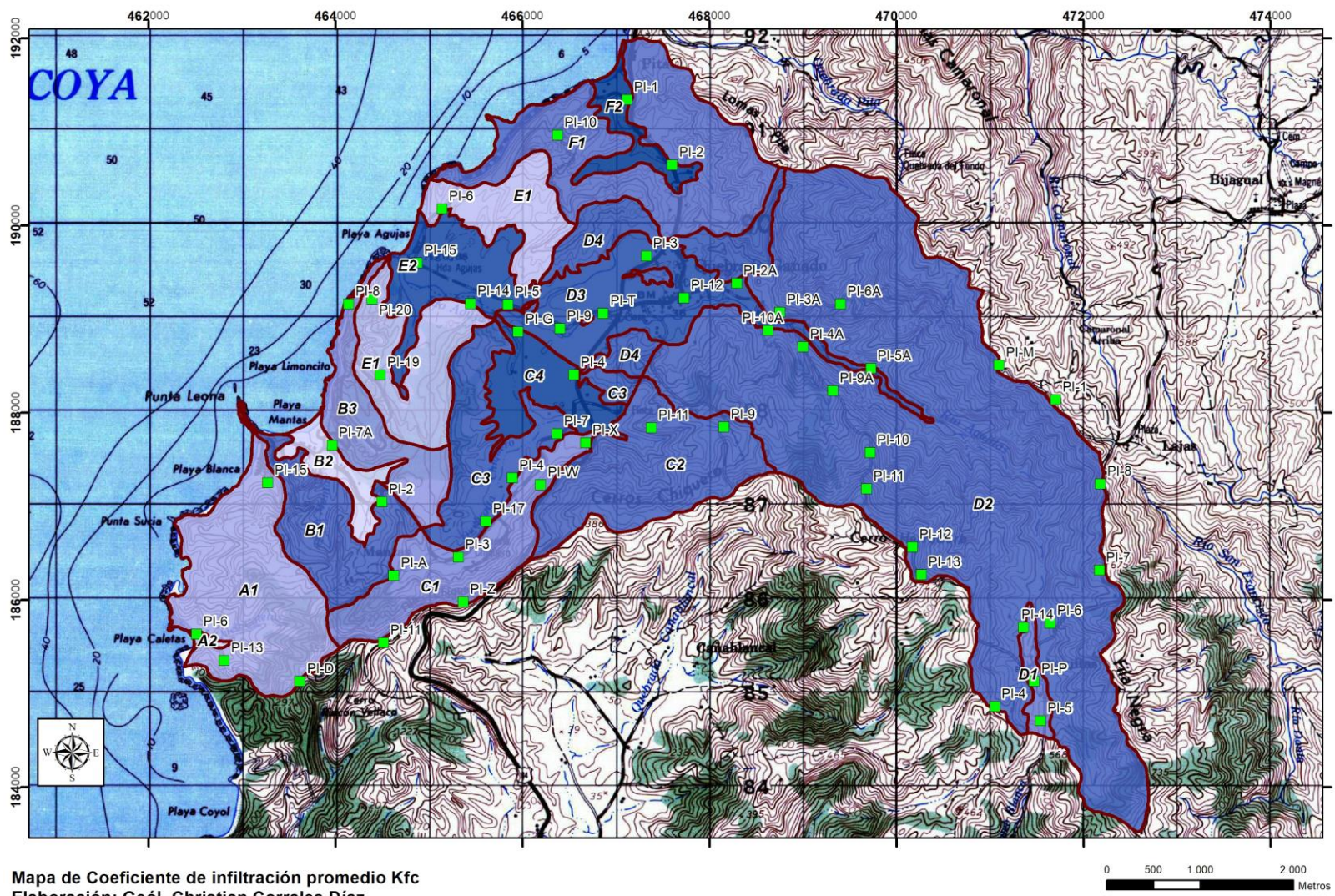


Para cada Subunidad Geológica de Recarga se tomó como valor final de  $fc$  y  $K_{fc}$  el promedio del total de los ensayos de permeabilidad realizados en dicha subunidad. Para el caso de las Subunidades C3 y D4, al estar constituidas por areniscas, se tomó el valor promedio de las pruebas PI-17, PI-4 y PI-7 realizadas dentro de la Subunidad C3. También para las Subunidades C2 y D2 ambas constituidas por basaltos, se tomaron los valores promedio del total de pruebas realizadas en ambas subunidades.

Cuadro 10: Resumen de valores Kfc y fc para cada unidad de recarga

Subunidades Geológicas de Recarga	fc (mm/d) promedio	Kfc promedio
A1	1241,76	0,981
A2	4367,52	1,000
B1	204,48	0,666
B2	1736,64	1,000
B3	741,60	0,927
C1	2586,24	0,779
C2	606,64	0,666
C3	1475,52	0,639
C4	160,56	0,385
D1	1537,92	0,754
D2	606,64	0,666
D3	360,48	0,544
D4	1475,52	0,639
E1	1405,92	0,985
E2	493,92	0,480
F1	216,00	0,679
F2	118,80	0,350

Cabe indicar que se registraron las infiltraciones básicas (fc) más altas (4367,52 a 1537,92 mm/d) para las Subunidades Geológicas de Recarga A2, C1, B2, y D1, las cuales se encuentran conformadas por depósitos aluviales (B2, A2 y D1) y por lutitas (C1). Mientras que los suelos con infiltración básica (fc) más baja (216 a 118,8 mm/d), se registraron en las Subunidades F1, F2, B1 y C4, las cuales se encuentran conformadas por areniscas (F1 y F2), además de lutitas (B1) y depósitos aluviales (C4), unidades litológicas que también presentaron infiltraciones altas tal y como se indicó anteriormente, por lo que se indica que no existe una correlación importante entre el tipo de roca y el valor de infiltración, por lo contrario se correlaciona más con la meteorización de la roca propiciada por el uso de suelo imperante de cada subcuenca o Subunidades Geológicas de Recarga.



Mapa de Coeficiente de infiltración promedio Kfc  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque

**LEYENDA**

- Pruebas\_de\_infiltración
  - ▭ Subunidades Geológicas de Recarga
- |              |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>kfc</b>   | 0,985 | 0,779 | 0,666 | 0,480 |
| <b>Value</b> | 0,981 | 0,754 | 0,639 | 0,385 |
|              | 1     | 0,927 | 0,679 | 0,544 |
|              |       |       | 0,544 | 0,350 |

Figura 19: Mapa de Coeficiente de infiltración promedio por unidad de recarga

### 5.4.2 Pendiente del terreno

Para el cálculo de la pendiente del terreno en la zona de estudio se realizó un mapa de pendientes (Figura 20) en el software ArcGIS 10.1 a partir de las curvas 1: 5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, y mediante la elaboración de un modelo de elevación digital (Figura 21) a partir de esta base cartográfica, se procedió a realizar la clasificación en porcentaje de las pendientes según los coeficientes de Schosinsky & Losilla (2000) por medio del álgebra de mapas con el software ArcGIS 10.1, con el fin de obtener el coeficiente por pendiente Kp (Figura 22) (Cuadro 11) por medio de la siguiente fórmula:

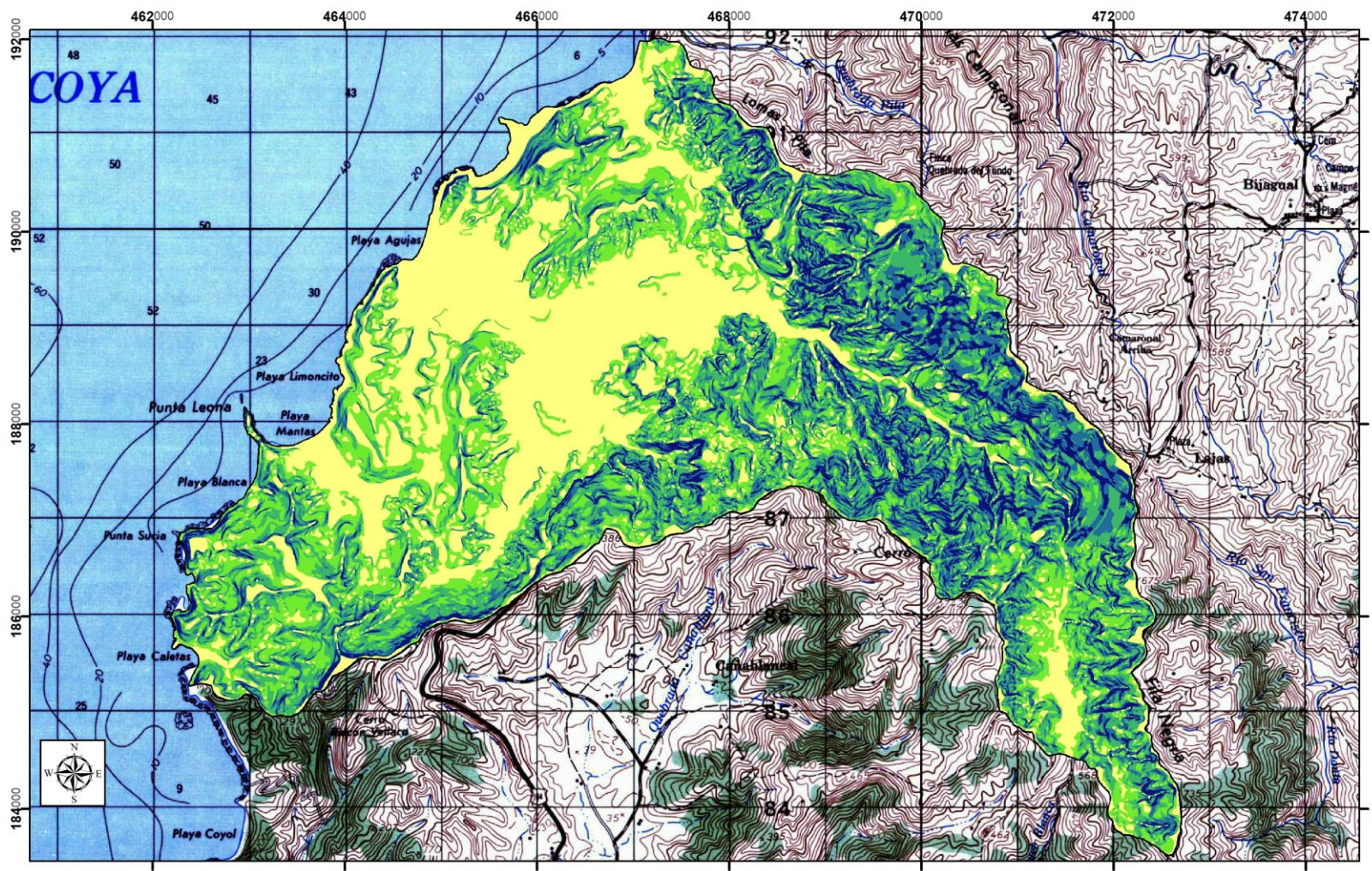
$$\text{Con}("kp0" \leq 0.06, 0.3, \text{Con}("kp0" \leq 0.4, 0.2, \text{Con}("kp0" \leq 2, 0.15, \text{Con}("kp0" \leq 7, 0.1, 0.06))))$$

Kp0: Mapa de pendiente preliminar.

Con: Condicional para tomar algún valor de Kp0 que sea menor o igual a 0.06 y convertirlo a 0.3, y de la misma forma se indican las condicionales para los demás rangos de pendientes.

Cuadro 11: Coeficiente Kp para cada rangos de pendientes

Por pendiente:	Pendiente	Kp
Muy plana	0,02%-0,06%	0,30
Plana	0,3%-0,4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06



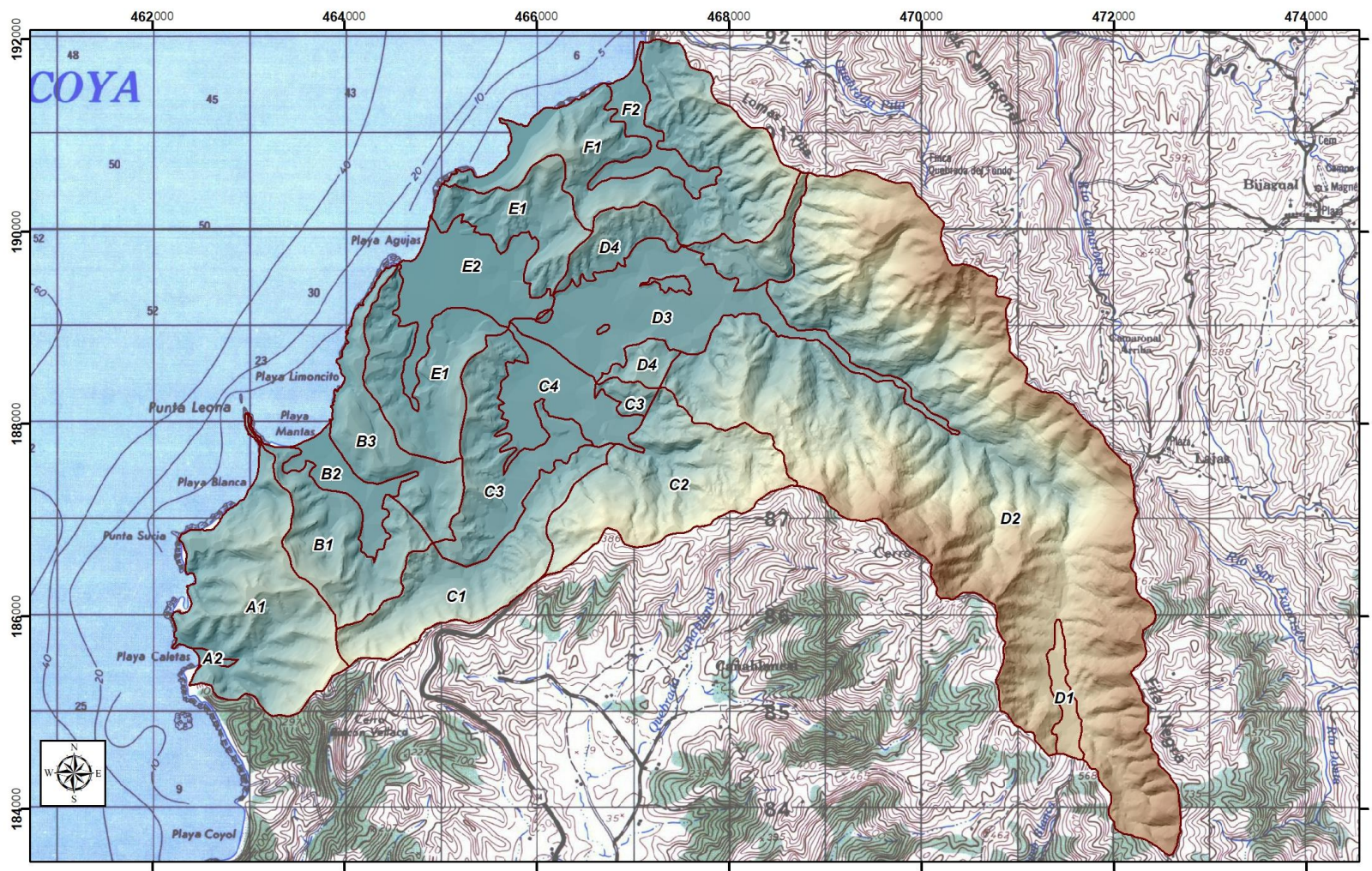
Mapa de pendientes en porcentaje  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

- Pendientes %
- 0 - 20
  - 20 - 40
  - 40 - 60
  - 60 - 80
  - 80 - 100
  - Delimitación de la zona de estudio

Figura 20: Mapa de pendientes



**Mapa del Modelo de Elevación Digital**  
**Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz**  
**2017**

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000*  
*Proyección Lambert Norte*  
*Fundamental de Ocotepaque*

**LEYENDA**

Subunidades Geológicas de Recarga **dem-cuenca**  
**Value**  
 High : 720  
 Low : 0

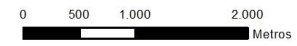
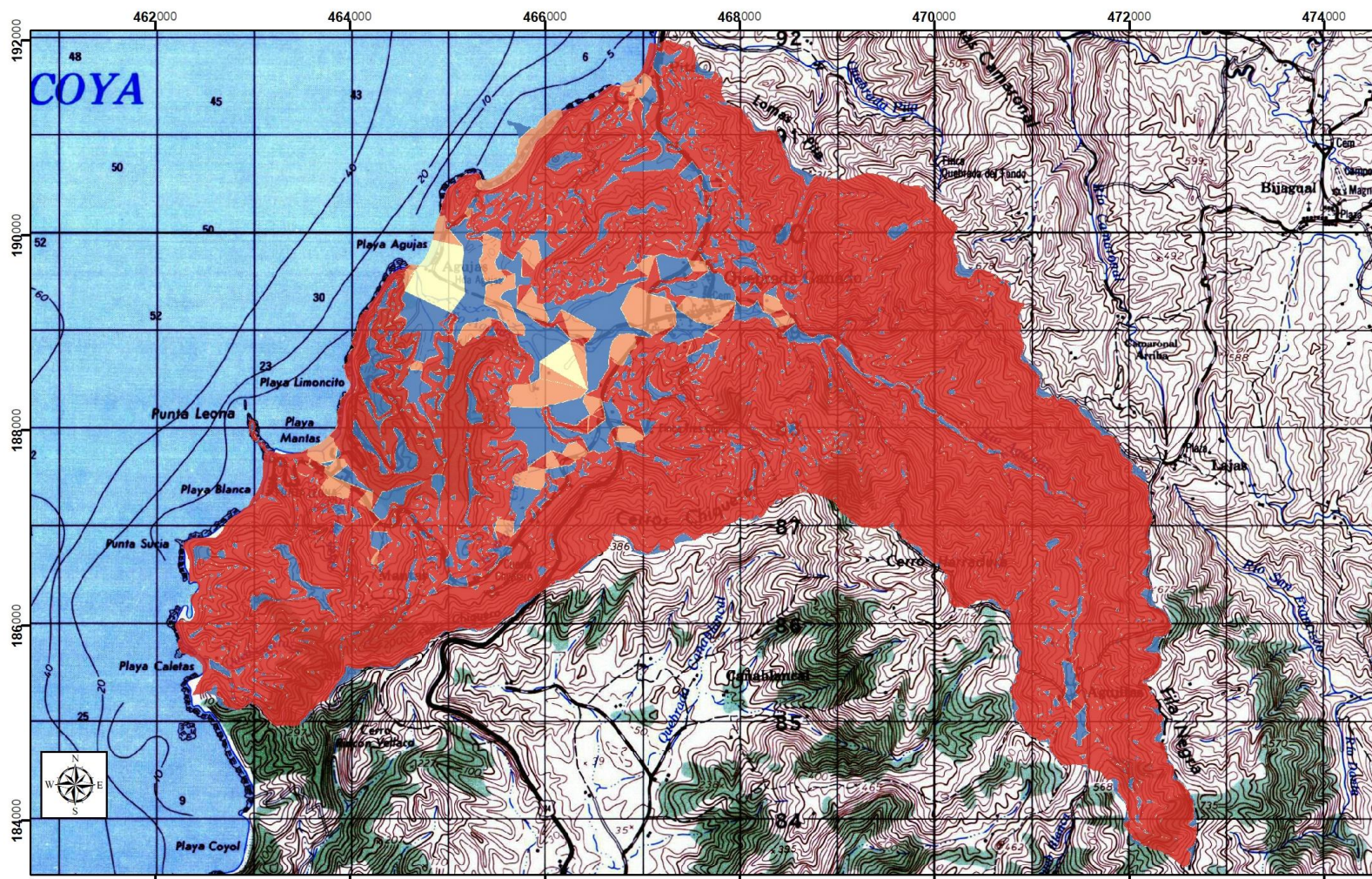


Figura 21: Mapa DEM



**Mapa de Coeficiente de pendiente Kp**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque

**LEYENDA**

kp	0,15 (1-2%)
0,30 (0.02-0.06%)	0,10 (2-7%)
0,20 (0.3-0.4%)	0,06 (Mayor de 7%)

Figura 22: Mapa de coeficiente de pendiente Kp

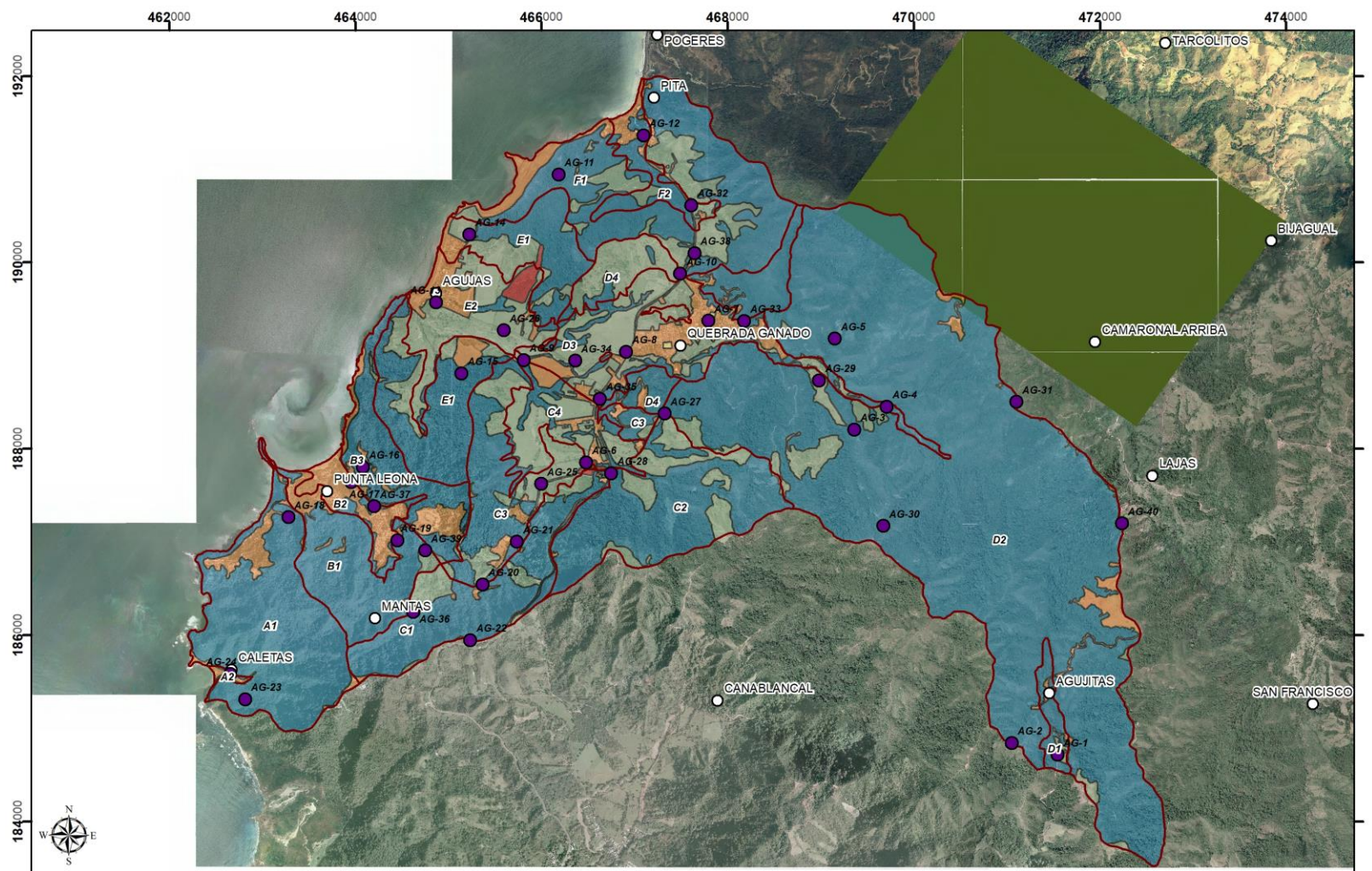
## 5.5 Cobertura vegetal

A partir de la fotointerpretación de las ortofotos base cartográfica escala 1:5000 del Programa de Regularización del Catastro y Registro (PRCR) 2005-2007, y mediante comprobación en campo, se determinó la cobertura vegetal en la zona (Figura 23); la misma se actualizó empleando imágenes satelitales de Google Earth (2007 CNES/Airbus). Esta cobertura se categorizó de la siguiente forma con el fin de obtener el coeficiente de vegetación  $K_v$  (Cuadro 12) el cual se empleará más adelante para el cálculo del Coeficiente de infiltración  $C_i$ , para el cálculo del Balance de Suelos (Schosinsky, 2006):

Cuadro 12: Resumen de valores  $K_v$  para cada cobertura vegetal

<b>Cobertura vegetal</b>	<b><math>K_v</math></b>
Terrenos cultivados	0,10
Cobertura con pastizal	0,18
Bosque	0,20
Sin cobertura	0,00
Cobertura con zacate más del 75 %	0,21

Cabe indicar que para este estudio se realizó un mapa llamado Factor-Cobertura (Figura 24) a partir del mapa de cobertura vegetal, en donde las zonas con movimiento de tierras para desarrollo urbanístico se tomarán como zonas “Sin cobertura”, por lo que el Coeficiente de Infiltración será de cero en esas zonas, mientras que las demás zonas tendrán un valor de 1 para que a la hora de multiplicar este mapa por el mapa de Coeficiente de Infiltración, el coeficiente se vuelva cero en las zonas sin cobertura o urbanas.



**Mapa de cobertura vegetal**

Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
2017

Hoja Tárcoles-Programa de Regularización del Catastro  
y Registro (PRCR) 2005-2007  
Proyección Lambert Norte  
Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

- Muestras de suelos
- Poblados
- ▭ Subunidades Geológicas de Recarga

- Cobertura vegetal**
- Bosque (0,20)
  - Cobertura con pastizal (0,18)
  - Cobertura con zacate mas del 75 % (0,21)
  - Sin cobertura (0,00)
  - Terrenos cultivados (0,10)

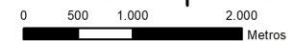
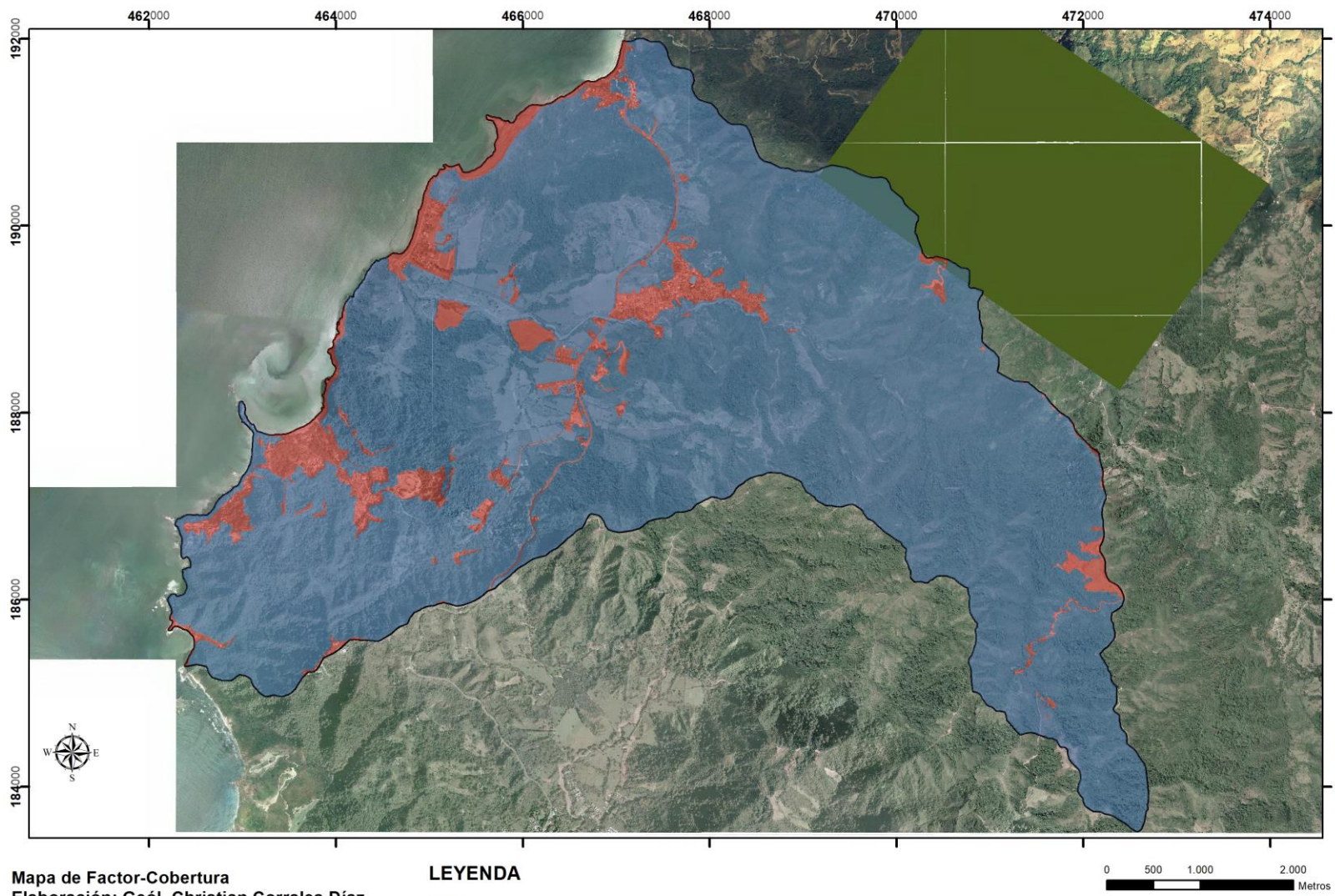


Figura 23: Mapa de cobertura vegetal



**Mapa de Factor-Cobertura**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles-Programa de Regularización del Catastro  
 y Registro (PRCR) 2005-2007  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque*

**LEYENDA**

**Value**

- 0 (Sin cobertura)
- 1 (Con cobertura)
- Delimitación de la zona de estudio

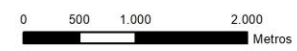


Figura 24: Mapa de Factor-Cobertura

## 5.6 Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM)

Se tomaron un total de 40 muestras estratégicamente distribuidas a lo largo de las 4 Subunidades Geológicas de Recarga (SGR) presentes (Figura 23), con el fin de evaluar las propiedades físicas de los suelos pertenecientes a cada unidad litológica, y a partir de los respectivos ensayos de laboratorio (ANEXO 5) se obtuvo la capacidad de campo y punto de marchitez en porcentaje por peso de suelo seco, además de la clasificación del tipo de suelo, la densidad aparente, la porosidad, límites de Atterberg y gravedad específica.

Para obtener el valor de capacidad de campo y punto de marchitez en milímetros de agua se multiplicó cada uno de estos valores por la densidad aparente respectiva de cada muestra, luego se tomó el mapa de subunidades geológicas de recarga y se le asignó a cada una de las subunidades el promedio de la capacidad de campo y punto de marchitez en % por volumen (ANEXO 5) de las muestras contenidas en cada subunidad.

Posteriormente mediante el álgebra de mapas con el software ArcGIS 10.1, se dividió este mapa entre 100 para pasar de porcentajes a valores decimales. Una vez elaborado este mapa se procede a multiplicarlo por las diversas coberturas vegetales (profundidades de raíces) de cada una de las subunidades geológicas de recarga, empleándose la profundidad de raíces que se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Datos de profundidad de raíz para los diferentes tipos de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Kv	Área (km2)	Profundidad de raíz en mm
Terrenos cultivados	0,10	0,12	600
Cobertura con pastizal	0,18	6,36	400
Bosque	0,20	28,44	2000
Sin cobertura	0,00	3,26	200
Cobertura con zacate más del 75 %	0,21	0,01	300

Por medio de la herramienta “Zonal Statistics as Table” del ArcGIS 10.1 se extrae del mapa ráster obteniéndose el Cuadro 14 con los promedios de la capacidad de campo y punto de marchitez para cada una de las subunidades geológicas de recarga.

Cuadro 14: Resumen de valores CC y PM para cada Subunidad Geológica de Recarga obtenidos con el ArcGIS

Subunidad geológica de recarga	Promedio CC (mm) por profundidad de raíz, por subunidad de recarga	Promedio PM (mm) por profundidad de raíz, por subunidad de recarga
A1	622,22	398,48
A2	237,77	146,67
B1	730,58	420,16
B2	253,66	140,34
B3	709,02	389,75
C1	582,17	359,23
C2	729,48	389,42
C3	561,47	322,67
C4	319,53	179,22
D1	738,26	409,04
D2	696,42	422,02
D3	248,72	156,16
D4	577,04	331,62
E1	666,03	356,54
E2	223,58	113,94
F1	547,95	328,16
F2	600,26	319,69

## 5.7 Coeficiente de infiltración

El coeficiente de infiltración del suelo  $C_i$  se obtiene a partir de la suma de los coeficientes anteriormente obtenidos, su resultado dependiendo de las siguientes condiciones (ONU, 1972):

- Si  $K_p + K_v + K_{fc}$  es mayor de 1,  $C_i = 1$ .
- Si  $K_p + K_v + K_{fc}$  es menor o igual a 1, entonces.  $C_i = K_p + K_v + K_{fc}$ .

A partir de las anteriores condiciones y por medio de la siguiente fórmula se calcula el mapa ráster para el  $C_i$  preliminar:

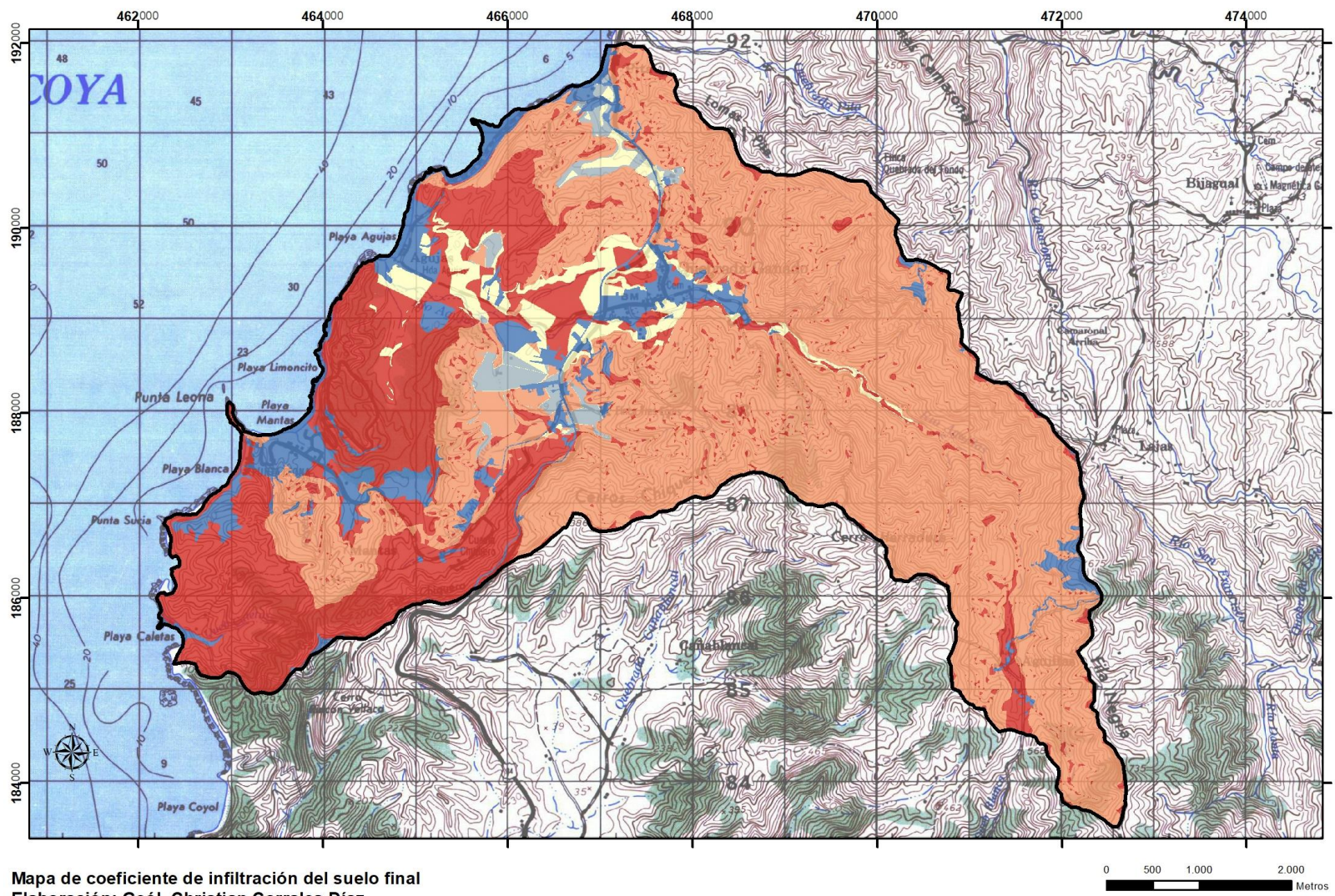
$$\text{Con}((\text{"Kfc"} + \text{"kp"} + \text{"kv"}) \leq 1, (\text{"Kfc"} + \text{"kp"} + \text{"kv"}), 1)$$

Tal y como se indicó en el subcapítulo de Cobertura vegetal, este coeficiente se multiplicará por el mapa de Factor-Cobertura, obteniéndose un mapa  $C_{i\_final}$  (Figura 25) en el cual los Coeficientes de infiltración que caigan dentro de las zonas sin cobertura o urbanas tendrán un valor de cero, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{"Ci"} * \text{"Factor-Cobertura"}$$

$C_i$ : Mapa de Coeficiente de infiltración.

Factor-Cobertura: Mapa de Factor-Cobertura (Figura 24)



**Mapa de coeficiente de infiltración del suelo final**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque*

**LEYENDA**

- Delimitación de la zona de estudio
- ci\_final
  - 0,71 - 0,86
  - 0
  - 0,86 - 0,95
  - 0 - 0,71
  - 0,95 - 1

Figura 25: Mapa de coeficiente de infiltración del suelo final

## **5.8 Balance hídrico de suelos para el cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos**

Tal y como se indicó en el Marco Teórico, el estudio del balance de suelos, se basa en el principio de la conservación de la materia. O sea, el agua que entra a un suelo, es igual a al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. 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. El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo lo siguiente:

- La fracción de lluvia que es interceptada por el follaje.
- La infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie.
- El balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo.

Tal y como se indicó en el marco teórico, para el cálculo de los 12 parámetros requeridos para el balance de suelo se empleó una herramienta llamada “Álgebra de Mapas” utilizando el ArcGIS 10.1 mediante el módulo “Raster Calculator” con la cual se realizara para cada parámetro un mapa ráster con pixeles de 5 m x 5 m, y con el histograma (Figura 26) de cada mapa se obtendrán la suma total o el valor promedio de cada parámetro, los cuales se mostrarán en el siguiente cuadro resumen (Cuadro 15).

Cuadro 15: Balance hídrico de suelos (Tomado de Schosinsky, 2006)

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)*													
Ret [mm]**													
Pi (mm)**													
ESC (mm)**													
T (°C)*													
ETP (mm)*													
HSi (mm)**													
C1**													
C2**													
HD (mm)**													
ETR (mm)**													
HSf (mm)**													
Rp (mm) promedio**													
DCC (mm)**													
NR (mm)**													
<b>** Valores promedio calculados en ArcGIS</b>						<b>* Valores calculados en hoja electrónica Excel</b>							
P: Precipitación Media Mensual.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.		N.A.		No aplica								
Pi: Precipitación que infiltra.	HD: Humedad Disponible		NR: Necesidad de Riego.										
ESC: Escorrentía Superficial	HSf: Humedad de Suelo Final.		Ret: Retención de lluvia										
ETP: Evapotranspiración Potencial.	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.		C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR										
ETR: Evapotranspiración Real.	Rp: Recarga Potencial		C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR										

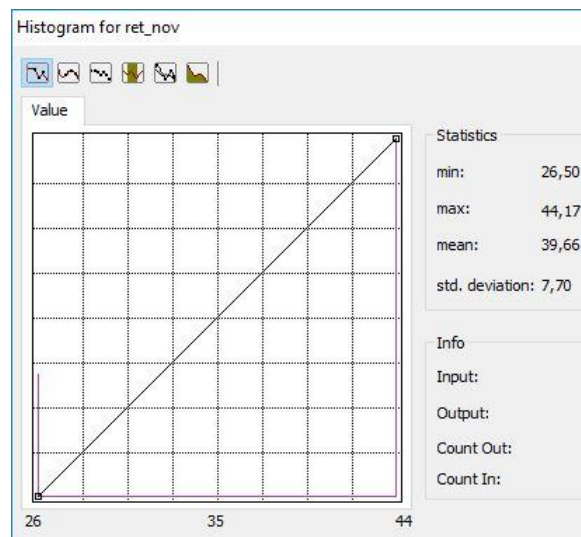


Figura 26: Histograma del Mapa Raster de Retención para el mes de Noviembre

Para esta investigación solamente se describirán para el mes de Noviembre cada uno de los procedimientos realizados para la obtención de los 12 mapas de los 12 meses del año. Cada procedimiento se describirá según las fórmulas y/o condiciones definidas por Schosinsky (2006).

Según Schosinsky (2006), para el caso de Costa Rica, generalmente al final de la época de mayor precipitación, el suelo se encontrará a capacidad de campo, y según los datos de precipitación de la estación meteorológica 86007 Punta Leona del I.M.N. (ANEXO 2) el mes con mayor precipitación es Octubre con 484,24 mm, por lo que se le asignará al mes siguiente (Noviembre) una humedad inicial igual a la capacidad de campo, y con esta humedad se irán calculando las humedades finales e iniciales de los suelos para los meses siguientes.

### **5.8.1 Fracción de lluvia interceptada por el follaje**

Las lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que en un mes con lluvia, al menos 5mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky & Losilla, 2000). Además, se considera que la retención de la lluvia en follajes, es del 12% (Butler, 1957) de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera en un 20% (Linsley et al., 1958).

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicarán las siguientes condiciones:

- Si P es menor o igual a 5 mm/mes,  $Ret = P$ .
- Si el producto  $(P)(Cfo)$  es mayor o igual de 5 mm/mes,  $Ret = (P)(Cfo)$ .
- Si P es mayor de 5mm/mes y el producto  $(P)(Cfo)$  menor de 5,  $Ret = 5$ .

Estas condiciones se resumen en la siguiente ecuación:

$$\text{Con}("P\_noviembre" * "Cfo" \geq 5, "P\_noviembre" * "Cfo", 5)$$

Donde:

P = Precipitación mensual del mes [mm/mes].

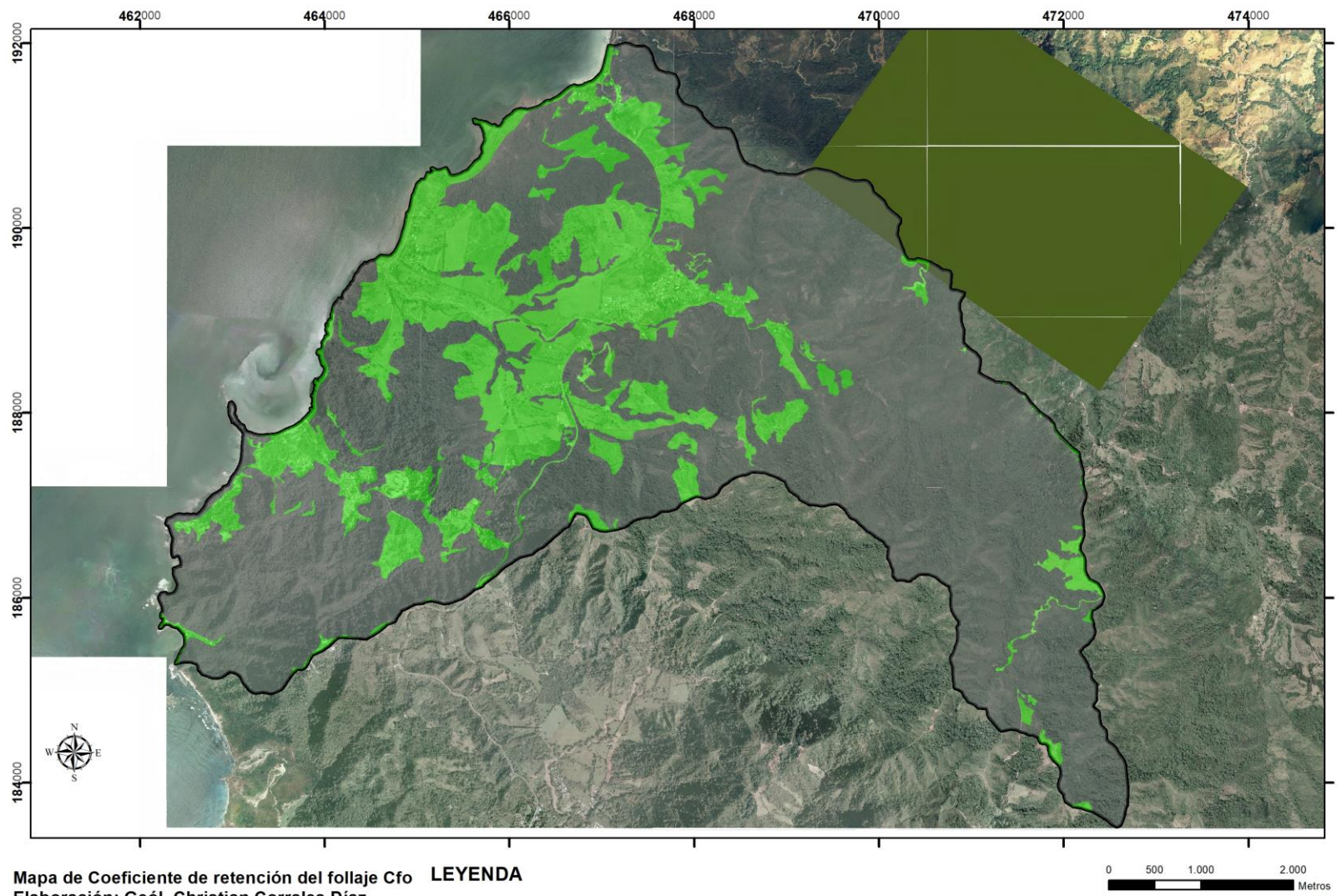
Ret = Retención de lluvia en el follaje [mm/mes].

Cfo = Coeficiente de retención del follaje,

para bosques muy densos  $Cfo = 0,20$ , otros  $Cfo = 0,12$  [adimensional].

Mediante el álgebra de mapas se definió el Mapa de Coeficiente de retención del follaje Cfo (Figura 27) a partir del mapa de cobertura vegetal (Figura 23), en donde la zona boscosa se le asigna un 20% de retención de la lluvia ( $Cfo = 0,20$ ), mientras que el resto del área de la zona de estudio se le asigna un 12% de retención ( $Cfo = 0,12$ ).

Con la ecuación anterior se obtiene el mapa de Retención para el mes de noviembre (Figura 28), con un valor promedio de 39,66 mm (Figura 26) para toda la zona de estudio.



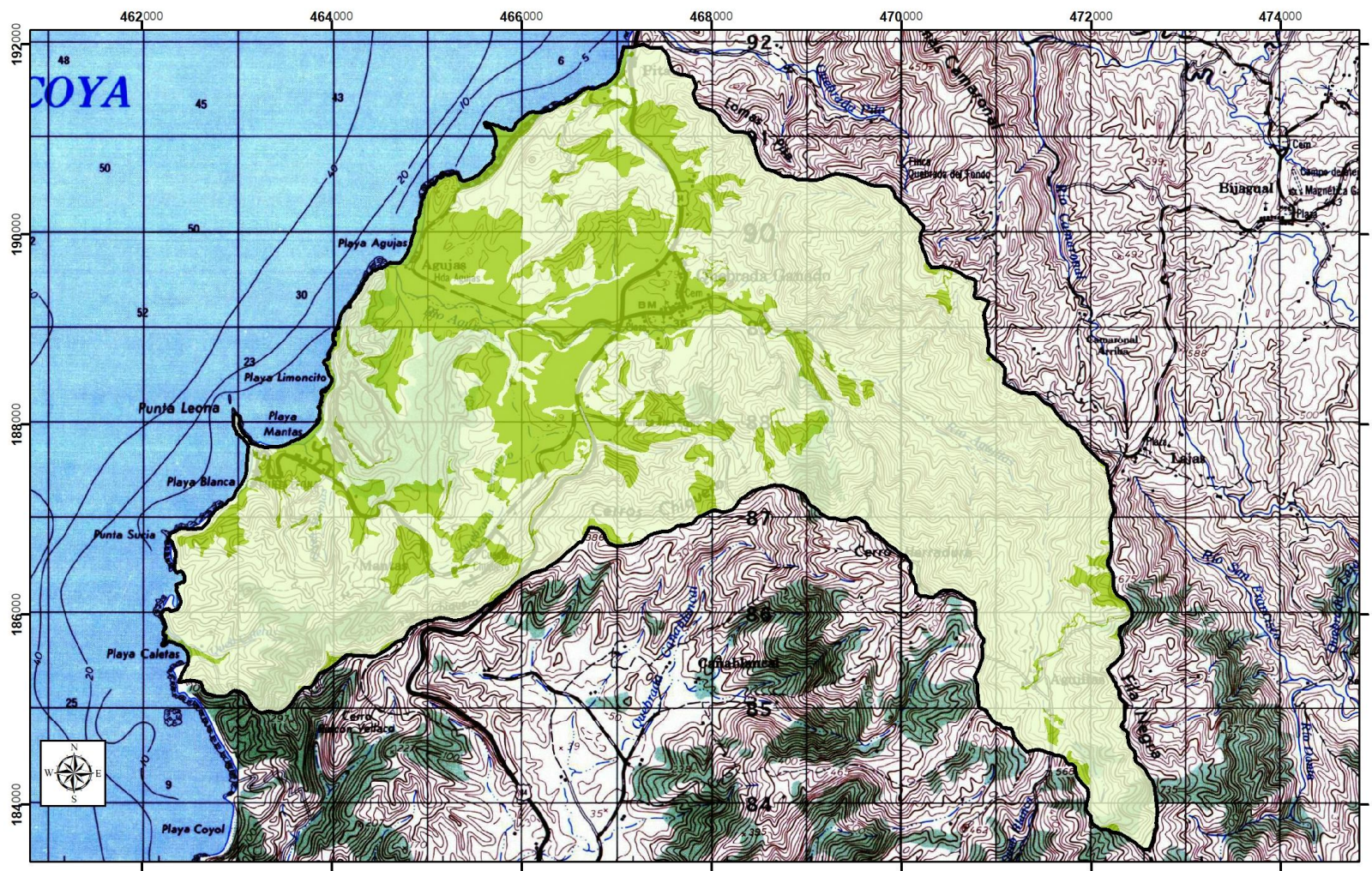
**Mapa de Coeficiente de retención del follaje Cfo**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles-Programa de Regularización del Catastro  
 y Registro (PRCR) 2005-2007  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque*

**LEYENDA**

- Cfo**
- 0,20 (Bosques muy densos)
  - 0,12 (Otros)
  - Delimitación de la zona de estudio

Figura 27: Mapa de Coeficiente de retención del follaje Cfo



**Mapa de Retención de lluvia para el mes de noviembre**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque*

**LEYENDA**

▭ Delimitación de la zona de estudio

**ret\_nov**

**mm**

- 44,17
- 26,50



Figura 28: Mapa de Retención de lluvia para el mes de noviembre

### 5.8.2 *Cálculo de infiltración pluvial mensual*

Una vez obtenida la Retención de lluvia en el follaje, en este caso para el mes de Noviembre, se procede a calcular la precipitación que infiltra (Figura 29). Para este cálculo se consideran los siguientes factores:

- La precipitación mensual.
- La retención pluvial mensual en el follaje, y
- El coeficiente de infiltración.

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

Donde:

$P_i$  = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].

$C_i$  = Coeficiente de infiltración [adimensional].

$P$  = Precipitación mensual en [mm/mes] (dato meteorológico).

$Ret$  = Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes].

$$"Ci\_final" * ("p\_noviembre" - "ret\_nov")$$

### 5.8.3 *Escorrentía superficial*

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual (Figura 30), corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación:

$$ESC = P - Ret - P_i$$

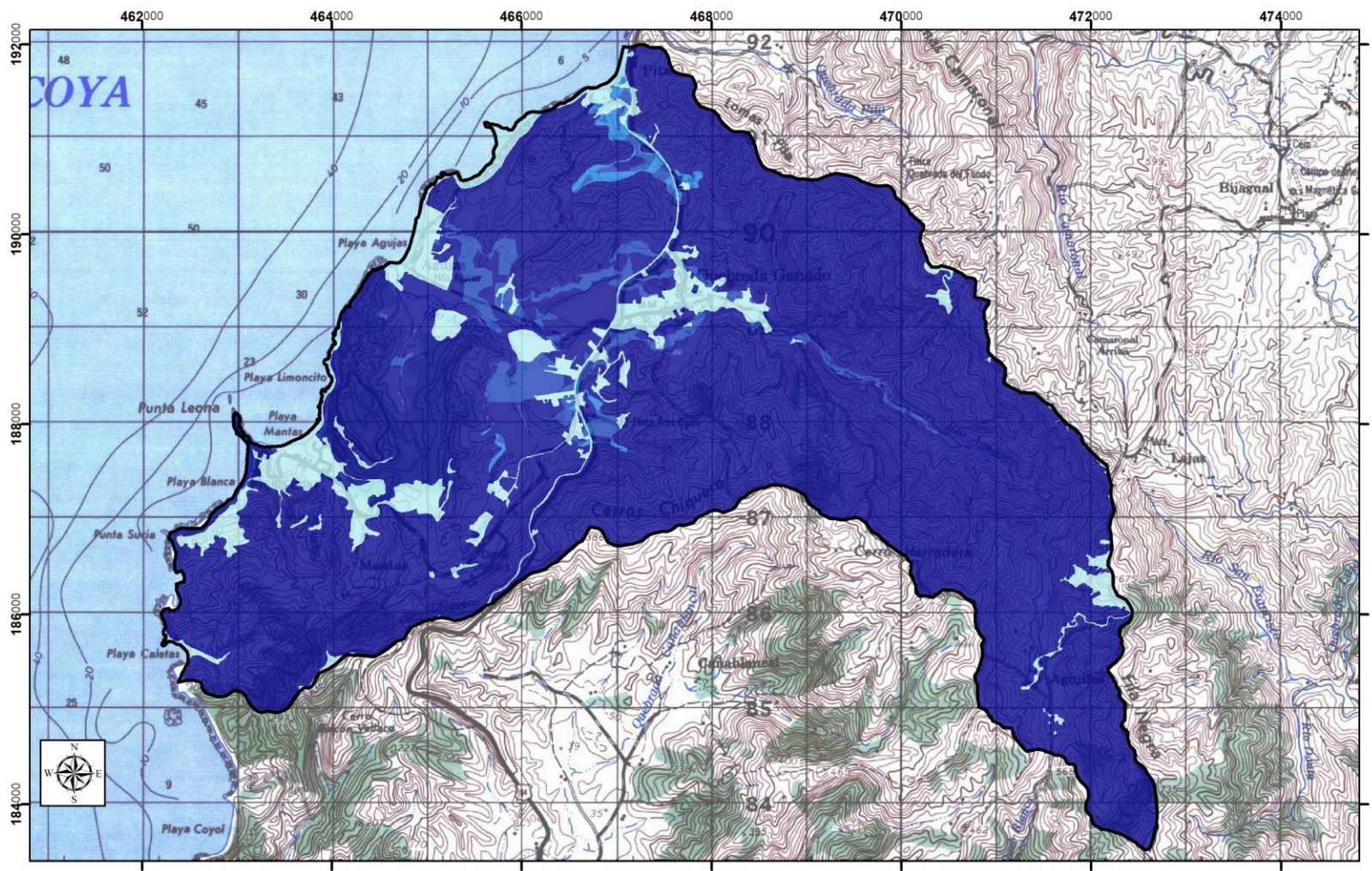
$ESC$  = Escorrentía superficial en mm/mes.

$P$  = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

$Ret$  = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes.

$P_i$  = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes.

$$"p\_noviembre" - "ret\_nov" - "pi\_nov"$$



**Mapa de Precipitación que infiltra para el mes de noviembre**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**






 Delimitación de la zona de estudio	 59,75 - 116,60
	 116,60 - 155,47
	 155,47 - 194,34
	 0

Figura 29: Mapa de Precipitación que infiltra para el mes de noviembre



#### 5.8.4 Recarga al acuífero

Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiera evapotranspiración, la precipitación que infiltra (Pi) vendría a aumentar la humedad en el suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería (C1):

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

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 en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

Tal y como se indicó anteriormente, se tomará como Humedad inicial para el mes de Noviembre la Capacidad de Campo, por lo que al aplicar la siguiente fórmula:

$$("cc" - "pm" + "pi_nov") / ("cc" - "pm")$$

Se obtendrá el Mapa de coeficiente de humedad C1 para la zona de estudio, sin embargo tanto el coeficiente de humedad C1 como el C2, no pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso que C1 o C2, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si C1 o C2 son negativos se tomarán con valor de 0, por lo que al mapa obtenido anteriormente se le deben aplicar dichas condiciones mediante el álgebra de mapas con la siguiente fórmula:

$$\text{Con}("c1\_nov" < 0, \text{Con}("c1\_nov" < 1, "c1\_nov", 1))$$

Obteniéndose el mapa de C1 final para el mes de Noviembre (Figura 31).



Si por lo contrario, 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].

Para este cálculo se debe obtener inicialmente la Evapotranspiración potencial real (ETR1) mediante la siguiente fórmula:

$$"c1\_nov\_final" * "etp\_nov\_h"$$

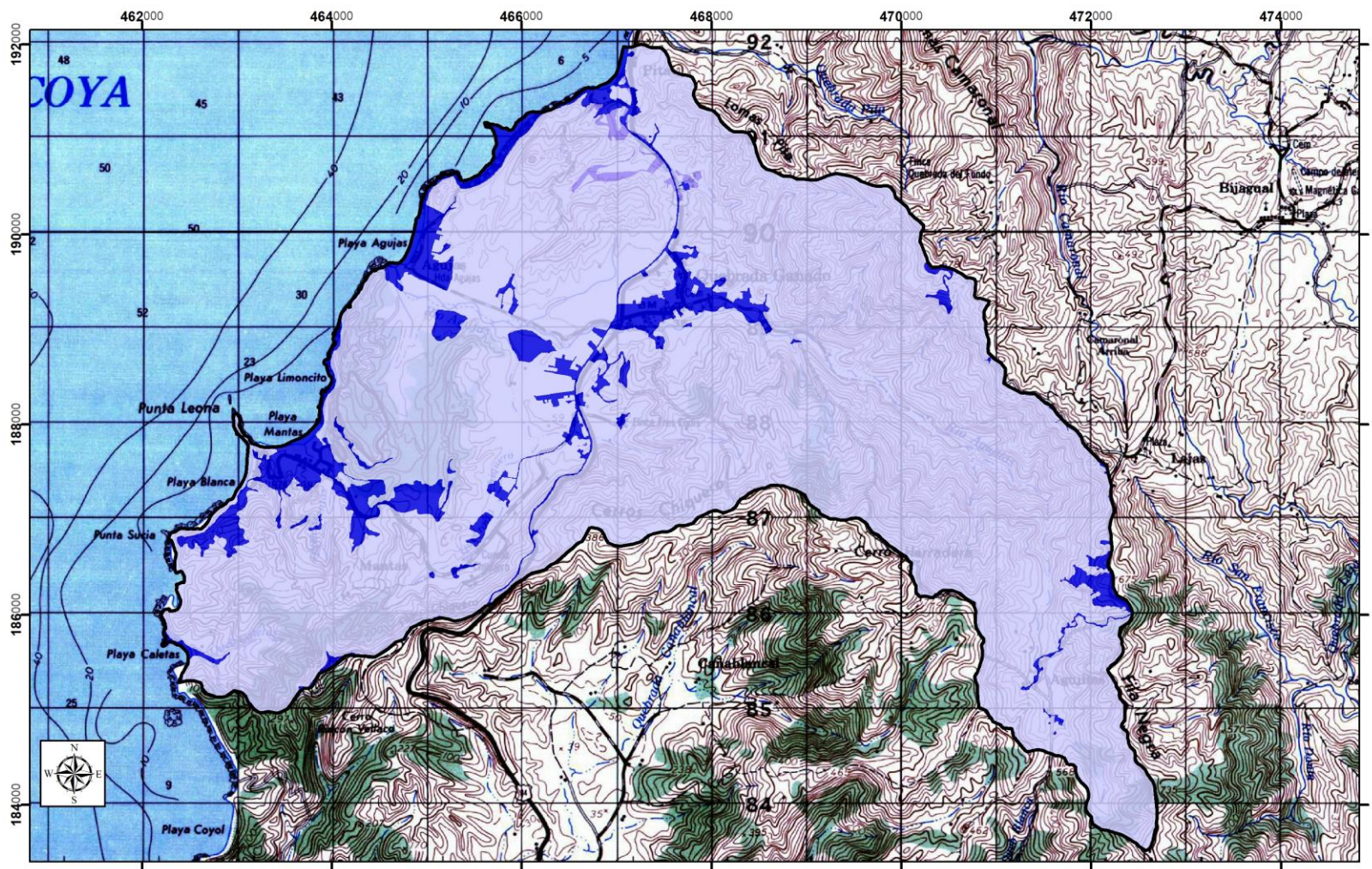
Una vez calculado el mapa ETR1 se procede a obtener el Coeficiente de humedad C2 con la siguiente fórmula:

$$("cc" - "pm" + "pi\_nov" - "etr1\_nov") / ("cc" - "pm")$$

Sin embargo tal y como se indicó en la obtención del coeficiente de humedad C1, el coeficiente el humedad C2 no puede ser superior a 1, ni menor a 0. En caso de que el C2 sea mayor de 1, se tomará igual a 1, y si el C2 es negativo se tomará con valor de 0, por lo que al mapa obtenido anteriormente se le deben aplicar dichas condiciones mediante el álgebra de mapas con la siguiente fórmula:

$$\text{Con}("c2\_nov" < 0, 0, \text{Con}("c2\_nov" < 1, "c2\_nov", 1))$$

Obteniéndose el mapa de C2 final para el mes de Noviembre (Figura 32).



Mapa de coeficiente de humedad C2 Final para el mes de noviembre  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

LEYENDA

- Delimitación de la zona de estudio
- c2\_nov\_final 0
- 0 - 0,89
- 0,89 - 0,97
- 0,97 - 1

Figura 32: Mapa de coeficiente de humedad C2 Final para el mes de noviembre

Posteriormente se debe obtener la Humedad disponible (HD), la cual es aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la siguiente ecuación:

$$HD \text{ (mm/mes)} = HSi + Pi - PM$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

Hsi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

La Humedad inicial Hsi tal y como se indicó anteriormente, se tomará como la Capacidad de Campo, y empleando la siguiente fórmula se obtiene el mapa de Humedad Disponible (Figura 33).

$$"cc" + "pi\_nov" - "pm"$$

Posteriormente se calcula la evapotranspiración real (ETR) utilizando la siguiente ecuación:

$$((C1+C2)/2)ETP$$

Sin embargo se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- Si  $((C1+C2)/2)ETP$  es menor o igual a HD,  $ETR \text{ (mm/mes)} = ((C1+C2)/2)ETP$ .
- Si  $((C1+C2)/2)ETP$  es mayor que HD,  $ETR \text{ (mm/mes)} = HD$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

HD = Humedad disponible [mm/mes]

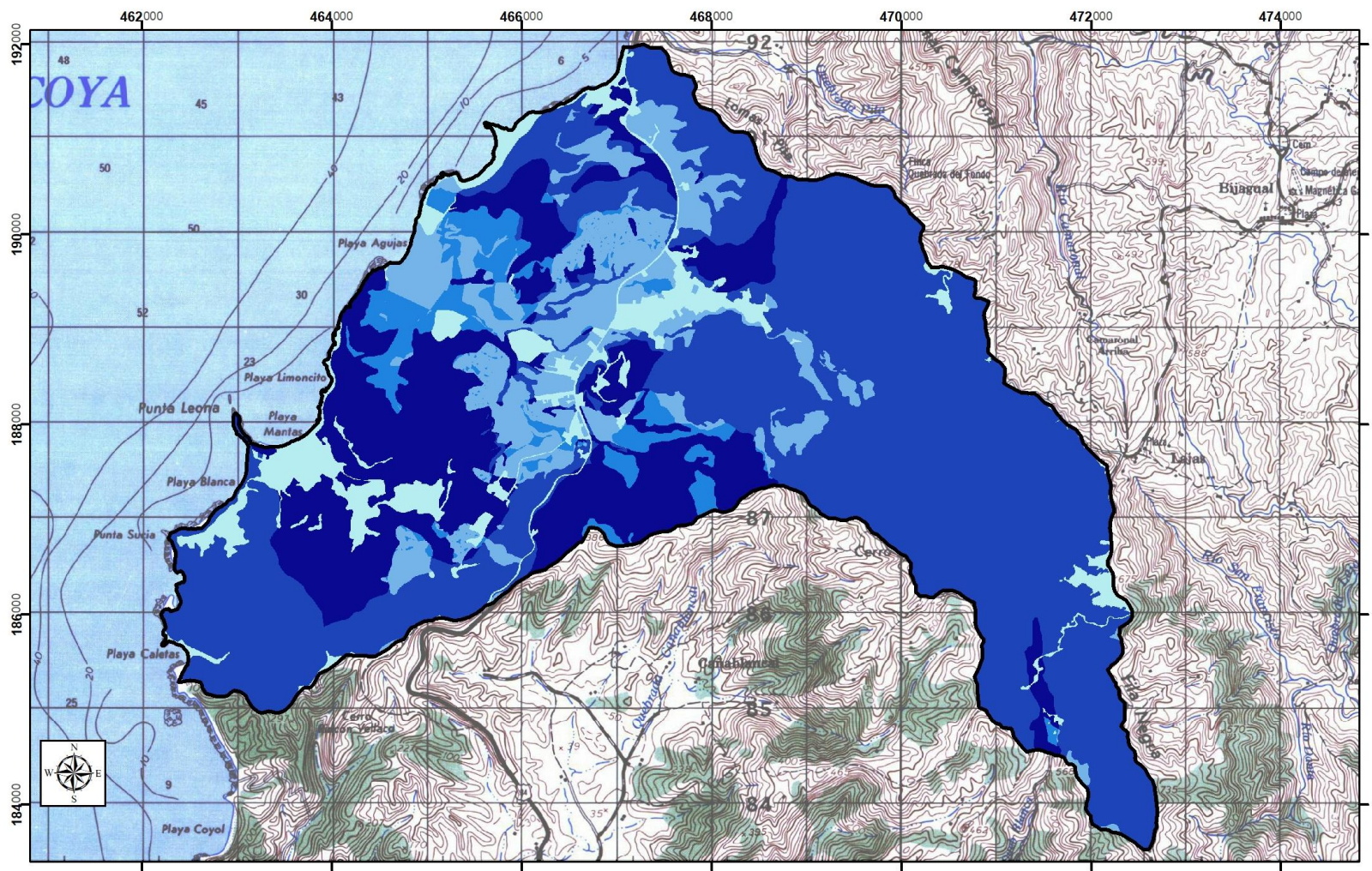
A partir de esto se obtiene las siguientes dos fórmulas para obtener la ETR y la ETR Final respectivamente:

$$ETR = (("c1\_nov\_final" + "c2\_nov\_final") / 2) * "etp\_nov"$$

$$ETR \text{ Final} = \text{Con}("etr\_nov" <= "hd\_nov", "etr\_nov", "hd\_nov")$$

O bien se puede obtener directamente la ETR (Figura 34) al emplear la siguiente fórmula, en la cual vienen contempladas las condicionales a tomar en cuenta:

$$\text{Con}(((("c1\_nov\_final" + "c2\_nov\_final") / 2) * "etp\_noviembre" <= "hd\_nov"), ((("c1\_nov\_final" + "c2\_nov\_final") / 2) * "etp\_noviembre", "hd\_nov"))$$



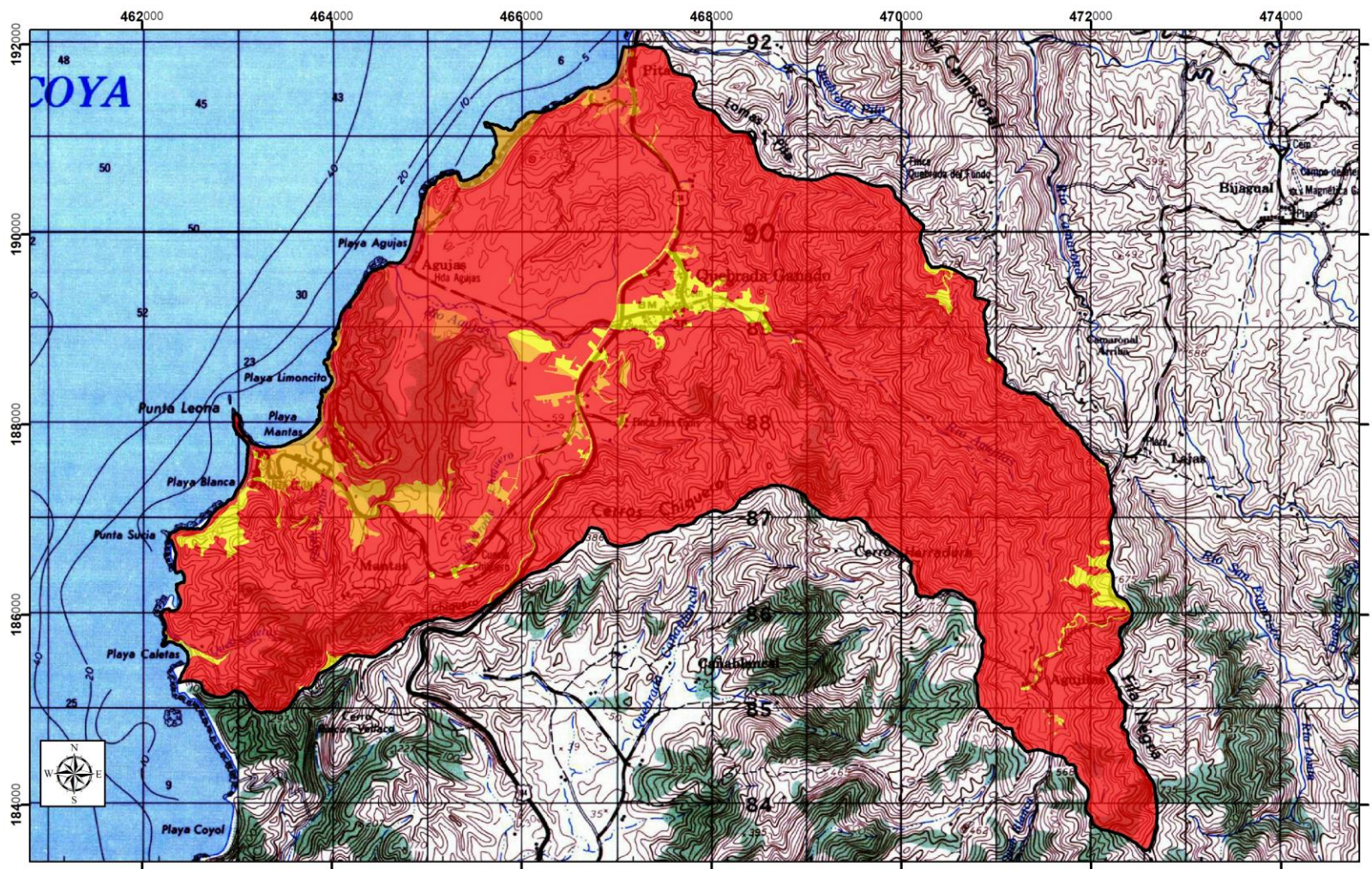
**Mapa de Humedad disponible (HD) para el mes de noviembre**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque*

**LEYENDA**

- Delimitación de la zona de estudio **hd\_nov**
  - 46,99 - 254,03
  - 254,03 - 319,18
  - 319,18 - 504,38
  - 504,38 - 643,13
- mm**

Figura 33: Mapa Humedad disponible (HD) para el mes de noviembre



Mapa de evapotranspiración real (ETR) para el mes de noviembre  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

Delimitación de la zona de estudio **etr\_nov**  
**mm**  
 24,32 - 29,78  
 29,78 - 41,45  
 41,45 - 46,91  
 46,91 - 117,26

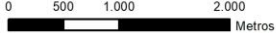


Figura 34: Mapa de evapotranspiración real (ETR) para el mes de noviembre

Posteriormente se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (Hsf), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la siguiente ecuación:

- Si  $(HD + PM - ETR)$  es menor que la capacidad de campo,  $HSf = HD + PM - ETR$ .
- Si  $(HD + PM - ETR)$  es mayor o igual que la capacidad de campo,  $HSf = CC$ .

Donde:

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

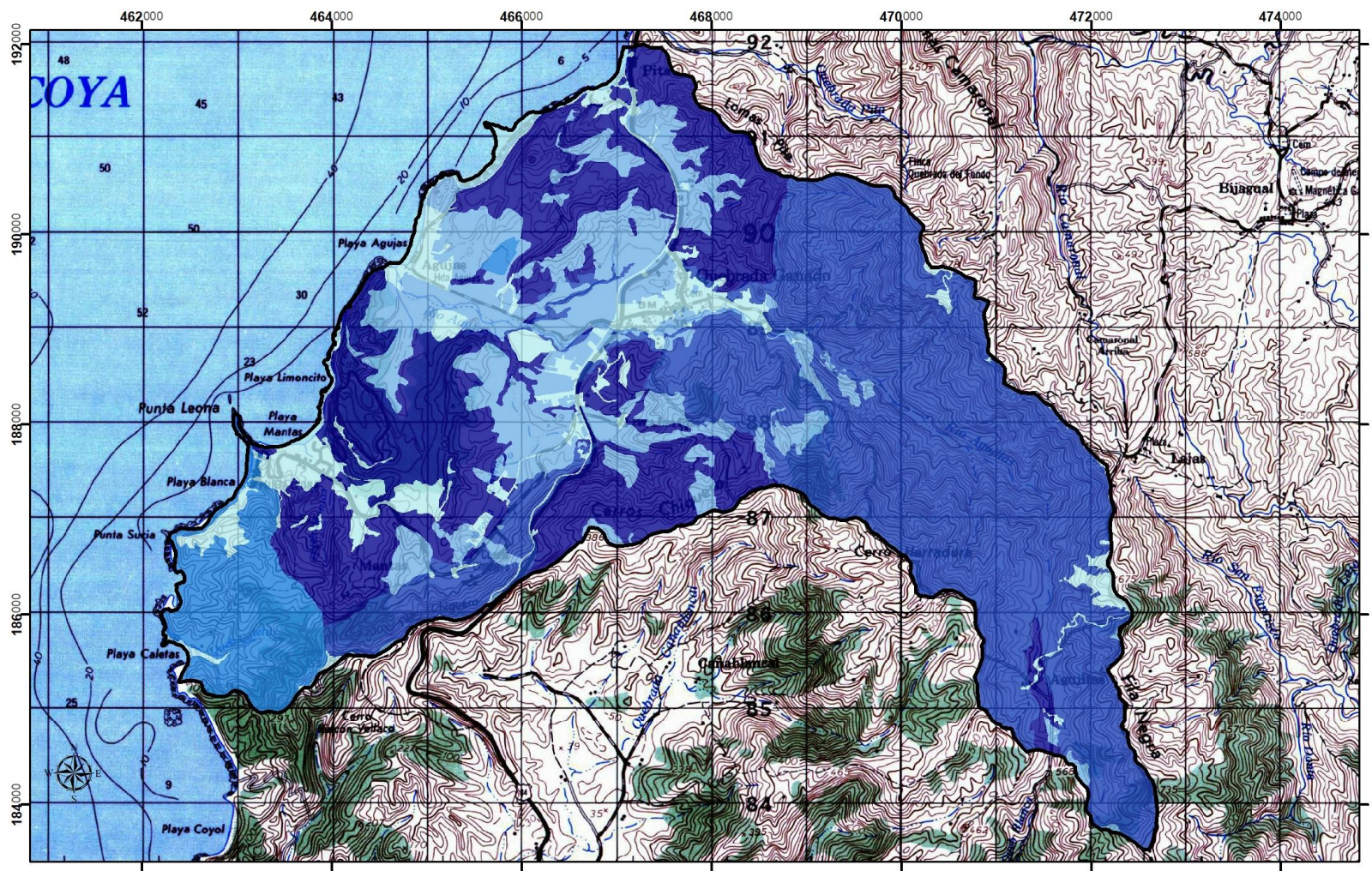
CC = Capacidad de campo [mm].

Por lo tanto para obtener el mapa de Humedad del suelo final (Figura 35) se emplea la siguiente fórmula:

```
Con("hd_nov" + "pm_mm" - "etr_nov" <= "pm_mm", "pm_mm", Con("hd_nov" +  
"pm_mm" - "etr_nov" <= "cc_mm", "hd_nov" + "pm_mm" - "etr_nov", "cc_mm"))
```

Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesaria la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (HSi). La humedad inicial de un mes dado es la siguiente:

- HSi = CC (Capacidad de Campo) para el mes siguiente al de la máxima precipitación [mm].
- HSi = Es igual a la humedad del suelo final del mes anterior [mm].
- HSi = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].



**Mapa de Humedad del suelo final (Hsf) para el mes de noviembre**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque*

**LEYENDA**



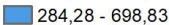

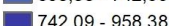
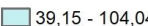
 Delimitación de la zona de estudio	<b>hsf_nov</b>	 104,04 - 284,28
	<b>mm</b>	 284,28 - 698,83
		 698,83 - 742,09
		 742,09 - 958,38
		 39,15 - 104,04

Figura 35: Mapa de Humedad del suelo final (Hsf) para el mes de noviembre

### 5.8.5 Cálculo de recarga potencial al acuífero

Finalmente 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. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR$$

Donde:

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSi = Humedad del suelo inicial (inicio de mes) [mm].

HSf = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

```
Con("cc_mm"+"pi_nov"-"etr_nov" <= "cc_mm",0,"cc_mm"+"pi_nov"-"etr_nov"-"cc_mm")
```

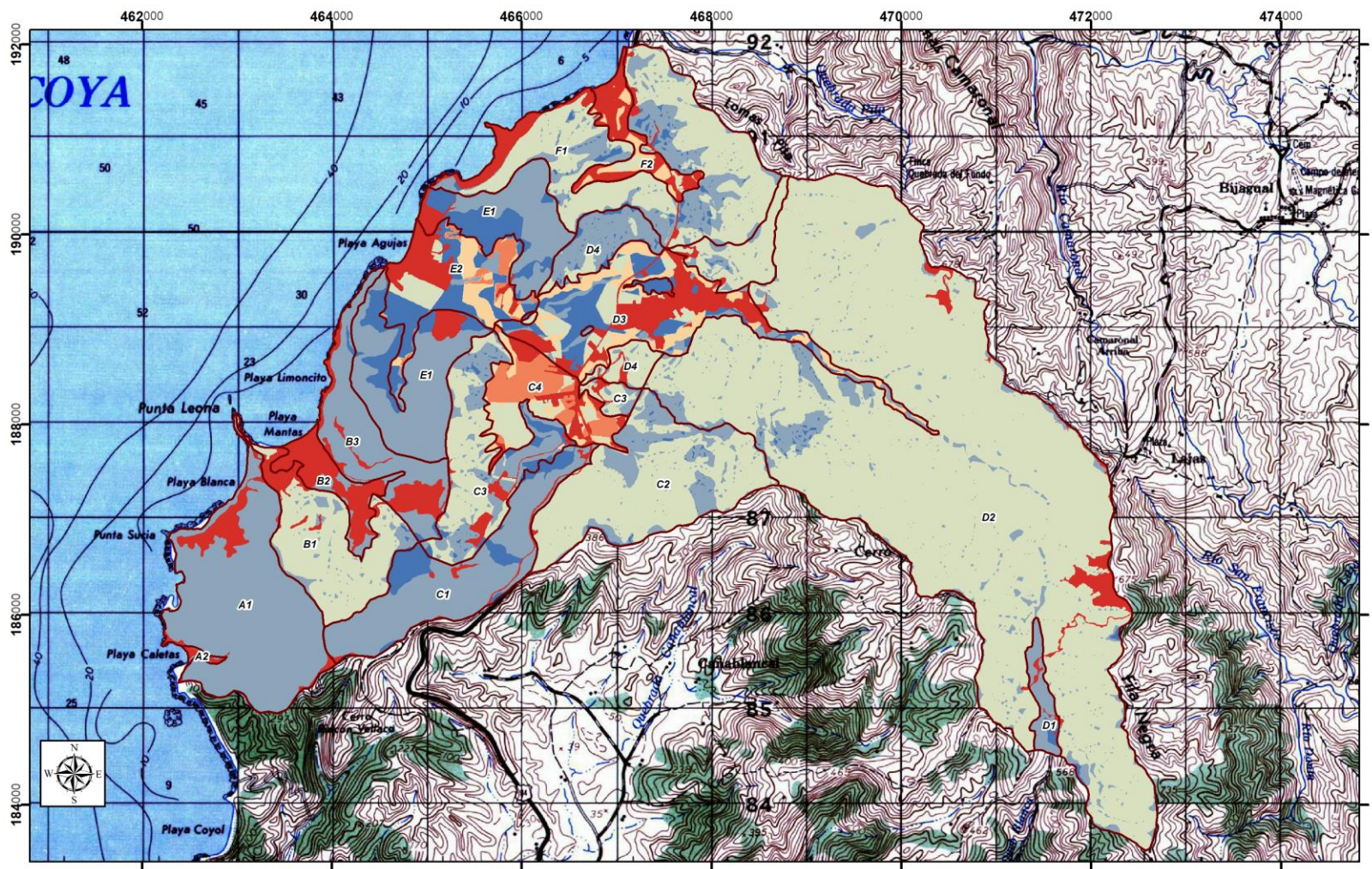
Para el mes de Noviembre tal y como se ha indicado anteriormente, la humedad inicial se tomó como el valor de la Capacidad de Campo, por lo que al aplicar la anterior fórmula se obtiene finalmente el mapa de Recarga potencial para el mes de Noviembre (Figura 36).

Con respecto a los demás meses del año, por ejemplo para el mes de Diciembre, la humedad del suelo inicial se tomará como el valor de la humedad del suelo final del mes anterior, es decir la del mes de Noviembre, tal y como se observa en la siguiente fórmula:

```
Con("hsf_nov"+"pi_dic"-"etr_dic" <= "cc_mm",0,"hsf_nov"+"pi_dic"-"etr_dic"-"cc_mm")
```

Finalmente para calcular la recarga potencial para todo el año se procede a calcular el mapa de recarga potencial anual (Figura 37) con la siguiente fórmula:

$$rp\_anual = rep\_ene + rep\_feb..... + rep\_dic$$



**Mapa de Recarga potencial (Rp) para el mes de noviembre**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

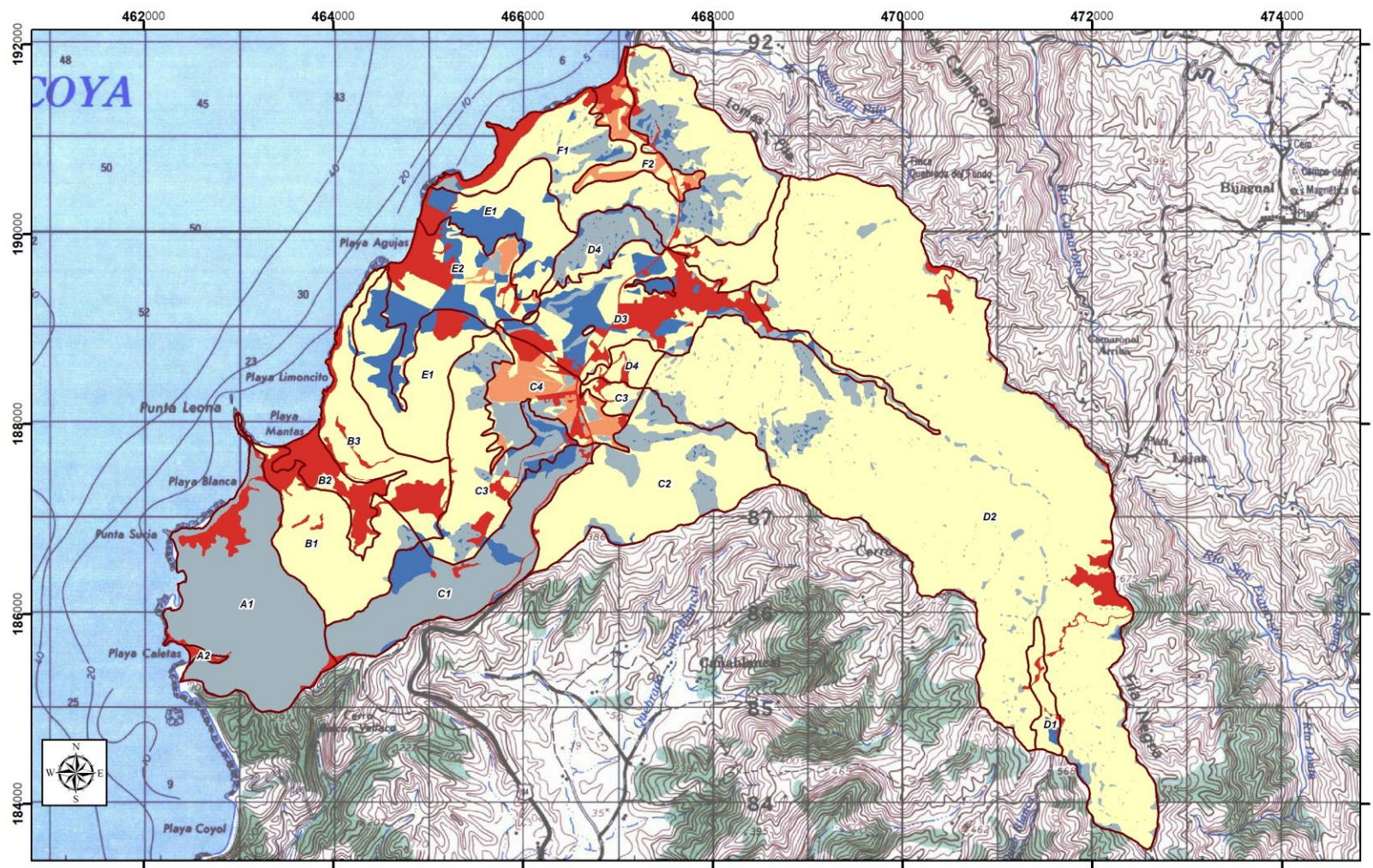
Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque

**LEYENDA**

- Subunidades Geológicas de Recarga
- rp\_nov**
- mm**
- 0
- 0 - 24,78
- 24,78 - 39,9
- 39,90 - 52,29
- 52,29 - 66,5
- 66,50 - 77,08



Figura 36: Mapa de Recarga Potencial Rp para Noviembre



**Mapa de Recarga Potencial Anual**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

*Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepeque*

**LEYENDA**









- |   |                                   |   |                 |
|---|-----------------------------------|---|-----------------|
|  | Subunidades Geológicas de Recarga |  | 0 - 339,42      |
|  | rp_anual_mm                       |  | 339,42 - 666,25 |
|  | mm                                |  | 666,25 - 818,15 |
|  |                                   |  | 818,15 - 979,41 |

Figura 37: Mapa de Recarga Potencial Anual

Como el área de toda la zona está dada en metros, debe de convertirse este mapa de milímetros a metros, por lo tanto:

$$rp\_anual/1000$$

Posteriormente realizado el anterior procedimiento, se continúa con el mapa de recarga potencial, el cual debe multiplicarse por el área de cada uno de los pixeles (5\*5), para cada una de las subunidades geológicas de recarga, obteniendo un volumen de recarga por cada uno de los pixeles como se muestra en la Figura 38, mediante la siguiente ecuación:

$$rp\_anual*5*5$$

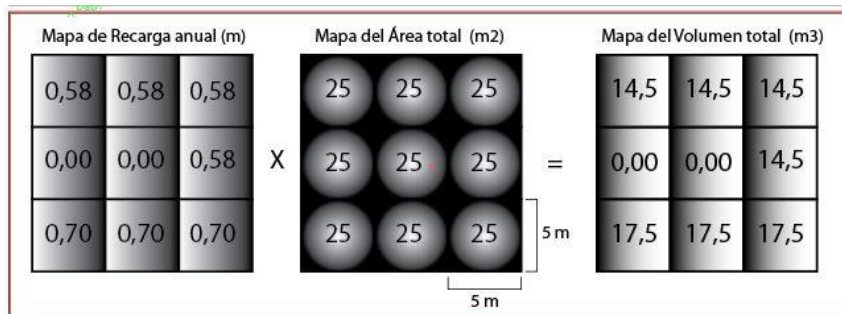


Figura 38: Diagrama de multiplicación de mapas ráster

Finalmente, se realiza la sumatoria de los volúmenes de cada pixel del área total de estudio, obteniéndose así el Volumen de Recarga de cada una de las unidades geológicas en m<sup>3</sup>/año. En el Cuadro 16 se detallan los valores de la recarga potencial promedio y del volumen de recarga para cada Subunidad Geológica de Recarga, esto para determinar cuál subunidad presenta más recarga potencial y más volumen de recarga.

Cuadro 16: Datos de recarga potencial y volumen de recarga por Subunidad Geológica de Recarga

Subunidades Geológicas de Recarga	Recarga potencial promedio por Subunidad de Recarga (mm/año)	Volumen de recarga por subunidad (m3/año)	Volumen de recarga (m3/año) Órdenes	Volumen Total (L/s)
A1	633,35	1.740.245,00	1,74E+06	55,18
A2	212,51	7.873,57	7,87E+03	0,25
B1	489,40	696.226,60	6,96E+05	22,08
B2	136,43	68.758,23	6,88E+04	2,18
B3	488,72	587.745,10	5,88E+05	18,64
C1	701,58	1.203.522,00	1,20E+06	38,16
C2	563,00	1.325.633,00	1,33E+06	42,04
C3	562,14	934.527,80	9,35E+05	29,63
C4	351,10	344.631,60	3,45E+05	10,93
D1	615,23	159.113,90	1,59E+05	5,05
D2	548,64	7.851.930,00	7,85E+06	248,98
D3	477,26	989.998,50	9,90E+05	31,39
D4	573,41	758.295,40	7,58E+05	24,05
E1	663,21	1.660.907,00	1,66E+06	52,67
E2	511,04	664.701,30	6,65E+05	21,08
F1	584,26	1.889.971,00	1,89E+06	59,93
F2	170,18	88.661,52	8,87E+04	2,81
<b>Vol. total para la zona de estudio</b>		<b>20.972.741,52</b>		<b>665,04</b>
<b>Valores promedio calculados en ArcGIS</b>				

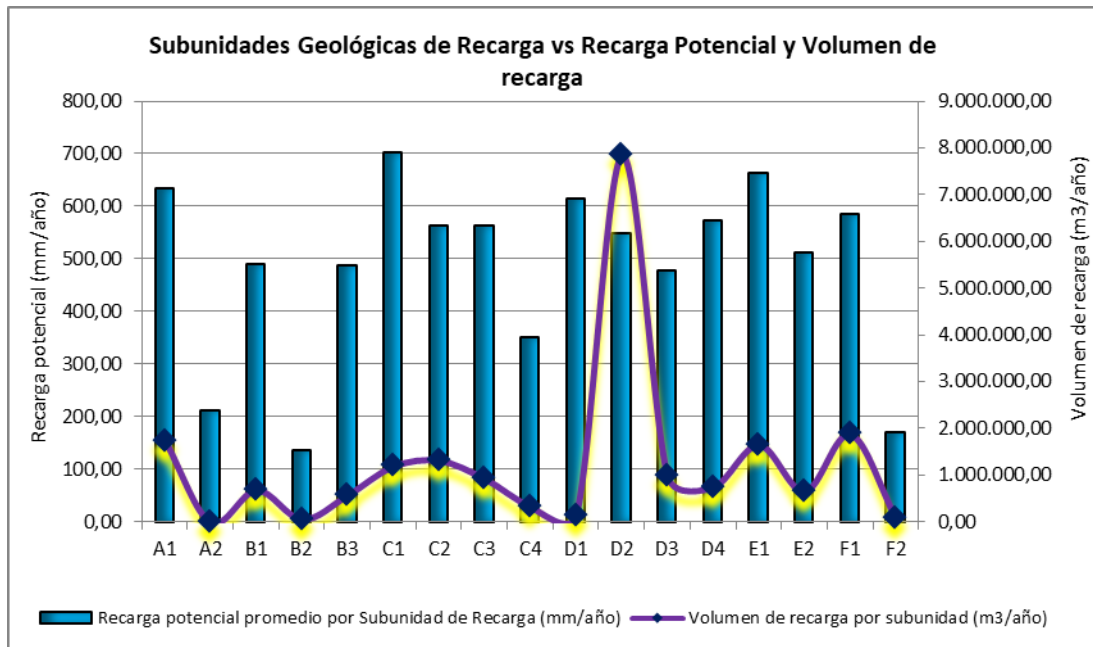


Figura 39: Subunidades Geológicas de Recarga vs Recarga Potencial y Volumen de recarga

En Figura 39, se observa una importante relación entre la recarga potencial y el volumen de recarga, a excepción de la subunidad D2 la cual se compone de basaltos, ubicada en la parte alta del Río Agujas, en donde se registró un valor alto de volumen de recarga debido a la importante área que posee esta subunidad.

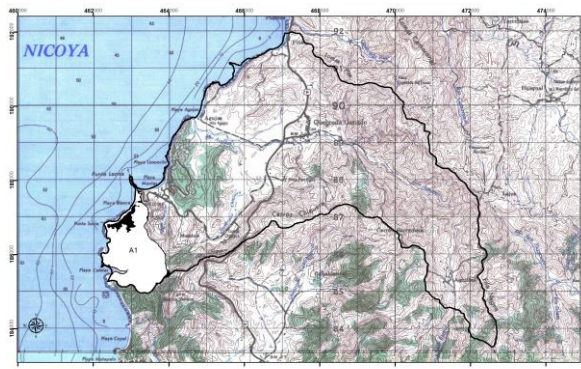
En el Cuadro 17 se presentan los datos de recarga potencial promedio en mm/año por cada Unidad Geológica, en donde es posible observar que la Unidad de Areniscas Fosilíferas y la

Unidad de Depósitos Recientes son las formaciones que más recargan al acuífero con valores de 2.871,7366 y 2.473,7589 mm/año respectivamente, mientras que la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas recarga unos 1.824,3201 mm/año, y finalmente la Unidad de Basaltos Agujitas es la que menos recarga con un valor de 1.111,6431 mm/año. Por otro lado en cuanto a volumen de recarga, las formaciones geológicas con mayor área contendrán un mayor volumen de recarga, como por ejemplo la misma Unidad de Basaltos Agujitas 9.177.563 m<sup>3</sup>/año, continua la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas con un volumen de 5.831.446,3 m<sup>3</sup>/año, luego la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas con 3.639.993,6 m<sup>3</sup>/año y por último la Unidad de Depósitos Recientes con un volumen de recarga de 2.323.738,62 m<sup>3</sup>/año.

Cuadro 17: Valores de Recarga potencial promedio y Volumen de recarga por Subunidad Geológica de Recarga y por Unidad Geológica

Subunidades Geológicas de Recarga	Recarga potencial promedio por Subunidad de Recarga (mm/año)	Unidades Geológicas	Recarga potencial promedio por Unidad Geológica (mm/año)	Volumen de recarga por Unidad Geológica (m <sup>3</sup> /año)	Volumen Total (L/s)
B3	488,72	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	2.871,74	5.831.446,30	184,91
C3	562,14				
D4	573,41				
E1	663,21				
F1	584,26				
C2	563,00	Unidad de Basaltos Agujitas	1.111,64	9.177.563,00	291,02
D2	548,64				
A2	212,51	Unidad de Depósitos Recientes	2.473,76	2.323.738,62	73,69
B2	136,43				
C4	351,10				
D1	615,23				
D3	477,26				
E2	511,04				
F2	170,18				
A1	633,35	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	1.824,32	3.639.993,60	115,42
B1	489,40				
C1	701,58				
<b>Volumen total para la zona de estudio</b>				<b>20.972.741,52</b>	<b>665,04</b>
<b>Valores promedio calculados en ArcGIS</b>					

Cuadro 18: Cuadro resumen de parámetros requeridos para el balance de suelos / SGR A1

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Vol. de Recarga (m3/año) calculado en ArcGIS	Vol. Total (L/s)	
P (mm)*	39,90	30,06	13,77	91,57	277,90	289,53	300,54	332,06	335,93	484,24	220,85	63,22	2479,57	 <p>Mapa de Recarga potencial (Rp) para el mes de noviembre 2017 Elaboración: Geol. Christian Corrales Diaz</p> <p>LEYENDA  <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Delimitación de la zona de estudio rp_nov_a1  <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Unidad A1</p> <p>Hoja Topográfica I.G.N.C.R. 1:50000  Proyección Geográfica Lambert Norte  Datum WAGD7 Central  Elevación de Cierre 1990</p>	55,18	
Ret [mm]**	7,71	5,92	5,00	17,66	53,60	55,84	57,97	64,05	64,79	93,40	42,60	12,19	480,74			
Pi (mm)**	29,08	21,91	7,99	66,73	202,53	211,00	219,03	242,00	244,82	352,91	160,95	46,07	1805,03			
ESC (mm)**	3,11	2,23	0,78	7,17	21,77	22,68	23,54	26,01	26,32	37,93	17,30	4,95	193,80			
T (°C)*	26,60	27,00	27,60	27,90	27,30	27,00	26,80	26,70	26,60	26,40	26,30	26,50	N.A.			
ETP (mm)*	136,01	136,81	163,73	154,20	147,00	137,69	142,57	144,11	136,46	131,27	117,26	123,21	1670,30			
HSi (mm)**	570,66	518,67	483,14	449,76	465,40	560,02	620,07	620,07	620,07	620,07	622,22	620,07	N.A.			
C1**	0,83	0,58	0,38	0,49	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	1,00	0,91	N.A.			
C2**	0,36	0,26	0,12	0,18	0,56	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,64	N.A.			
HD (mm)**	201,25	142,09	92,63	118,00	269,43	372,53	440,61	463,58	466,40	574,49	384,70	267,66	N.A.			
ETR (mm)**	81,07	57,44	41,37	51,09	107,91	125,43	129,88	131,28	124,31	119,58	108,99	95,48	1173,84			
HSf (mm)**	518,67	483,14	449,76	465,40	560,02	620,07	620,07	620,07	620,07	620,07	620,07	570,66	N.A.			
Rp (mm) promedio**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,52	89,15	110,72	120,51	233,32	54,13	0,00	633,35			1.740.245,00
** Valores promedio calculados en ArcGIS						* Valores calculados en hoja electrónica Excel										
P: Precipitación Media Mensual.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.		N.A.		No aplica		Área total		(km2)		(m2)		<b>A 1 (Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas)</b>		
Pi: Precipitación que infiltra.		HD: Humedad Disponible		Ret: Retención de Lluvia		2,75				2.750.802,36						
ESC: Escorrentía Superficial		HSf: Humedad de Suelo Final.		Rp: Recarga Potencial		C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR										
ETP: Evapotranspiración Potencial.		ETR: Evapotranspiración Real.		C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR												

Tal y como se indicó al inicio de este capítulo, es necesario completar el cuadro resumen (Cuadro 18) de los 12 parámetros requeridos para el balance de suelos de cada mes, a manera de ejemplo se muestran en el cuadro anterior solamente los parámetros para la Subunidad Geológica de Recarga A1 perteneciente a la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, cada uno de estos parámetros fueron calculados a través de la herramienta “Álgebra de Mapas” utilizando el ArcGIS 10.1 mediante el módulo “Raster Calculator”, y una vez calculado cada mapa se procedió a obtener el valor promedio por medio de su respectivo histograma (Figura 26). Cabe indicar que solamente los parámetros de Precipitación, Temperatura, Evapotranspiración Potencial y el valor de Humedad Inicial de Noviembre (dato subrayado en el Cuadro 18) corresponden con valores promedio calculados en Excel, los demás parámetros son valores promedio calculados con “Álgebra de Mapas”, como por ejemplo el valor de Humedad Final para el mes de Octubre, tal y como se observa en el Cuadro 18 es de 620,07 mm y corresponde a un valor promedio calculado en el ArcGIS, mientras que el valor de Humedad Inicial de Noviembre, el cual es de 622,22 mm, corresponde con un valor de Capacidad de Campo promedio obtenido en Excel para la subunidad A1.

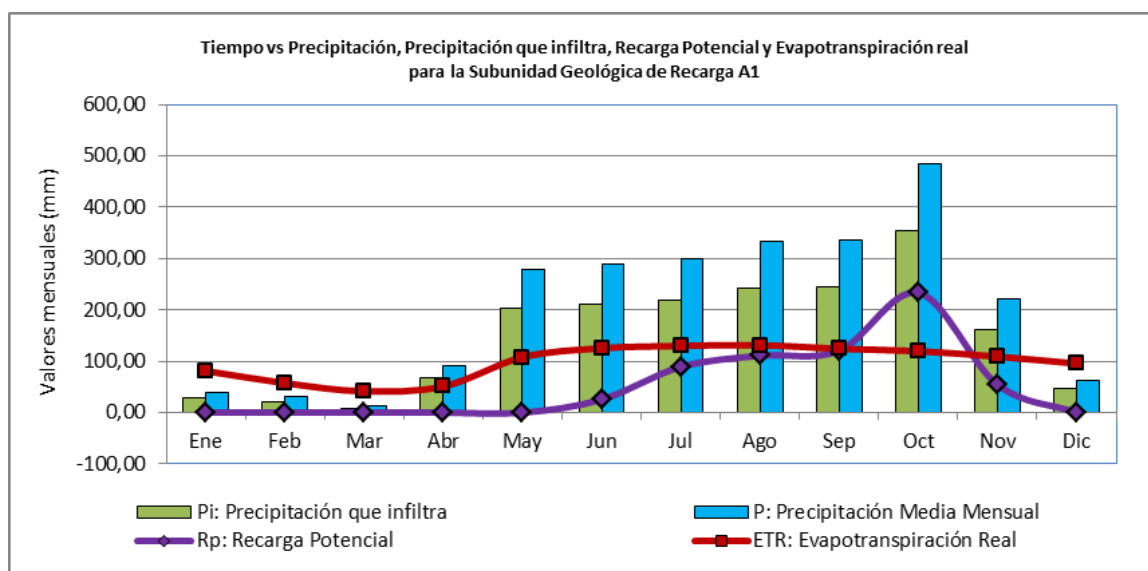


Figura 40: Variación mensual de la Precipitación, Precipitación que infiltra, Recarga Potencial y Evapotranspiración real

En la Figura 40 se observa la variación a través del año de los valores de precipitación, precipitación que infiltra, recarga potencial y evapotranspiración real para toda la zona de estudio, en donde se ve claramente una tendencia de ascenso constante desde Abril hasta Octubre tanto de la Precipitación como de la Precipitación que infiltra, sin embargo la Recarga Potencial asciende desde Junio hasta Octubre, mientras que de Octubre a Marzo el descenso de estos tres parámetros se da muy rápidamente. Se observa además claramente que la mayor recarga potencial se da para el mes de Octubre con 233,32 mm, mientras que entre los meses de Diciembre y Mayo no se registraron valores de recarga, esto debido principalmente a que la precipitación que infiltra para esos meses es muy baja, por ejemplo el valor más bajo corresponde con un 7,99 mm para el mes de Marzo, mientras que el valor más alto corresponde con 352,91 mm para Octubre, correspondiendo la precipitación que infiltra en Marzo un 2,26 % de la precipitación que infiltra en Octubre.

## 6 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL & CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA

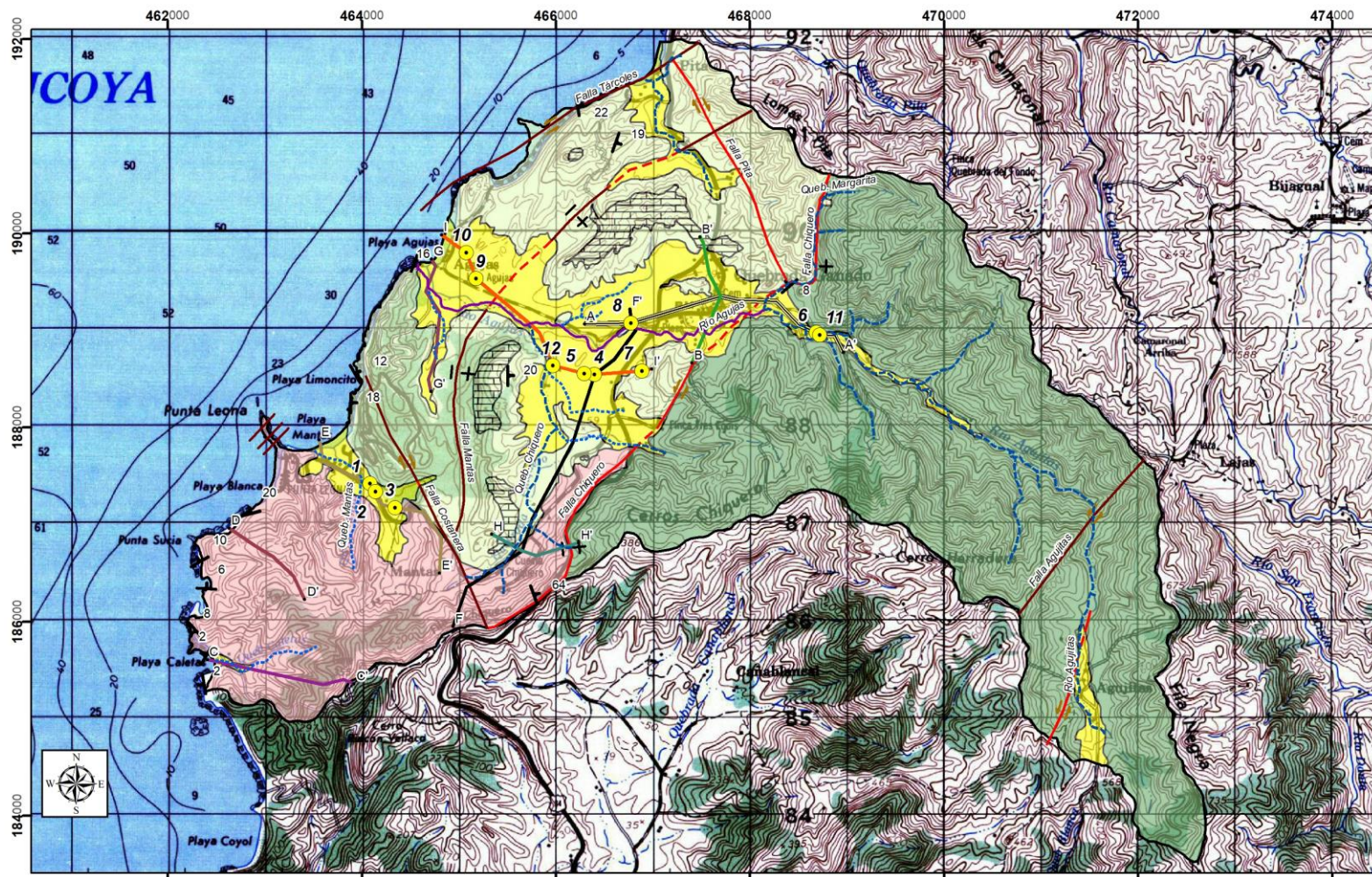
Para la zona de estudios se identificaron y caracterizaron 4 unidades litológicas con potencial hidrogeológico, la más profunda y antigua en edad es la Unidad de Basaltos Agujitas la cual comprende los cerros al este del poblado de Quebrada Ganado y posee un volumen de recarga de 291,02 L/s, por encima de esta se encuentra la unidad de Lutitas Calcáreas Caletas que comprende los alrededores de Playa Caletas, los cerros al sur de Punta Leona y Cuesta Chiquero con un volumen de recarga de 115,42 L/s, luego sobreyaciendo a esta unidad se encuentra la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas que comprende los cerros al norte y noreste de Punta Leona, los cerros alrededor de Playa Agujas y los cerros al norte de Quebrada Ganado, las cuales presentan un volumen de recarga de 184,91 L/s, y finalmente la Unidad de Depósitos Recientes distribuida en el poblado de Agujitas, entre los poblado de Quebrada Ganado y Playa Agujas, y en las Playas Pita, Caletas y Mantas, con un volumen de recarga de 73,69 L/s.

### 6.1 Red de monitoreo de niveles de agua

A partir de la red de monitoreo de 12 pozos establecida en el 2012 por la Comisión Interinstitucional del SENARA, AYA y Dirección de Agua-MINAE, se analizó la variación de los niveles estáticos y dinámicos de 9 de ellos (Cuadro 19) (Figura 41) ya que los otros 6 presentan pocas mediciones, este análisis se realizó desde Setiembre 2012 hasta Abril del 2017 (ANEXO 6), para determinar los períodos de mayor ascenso del nivel del agua, así como los de mayor descenso.

Cuadro 19: Red de monitoreo de niveles mensual

Nº	Nombre de Pozo	Lon	Lat
1	Pozo_21_Pta_Leona_Capilla	464086	187420
2	Pozo_28_Pta_Leona_Rotonda	464142	187337
3	Pozo_8_Pta_Leona_Barlovento	464343	187173
4	Pozo_TC-38_Pta_Leona_Boulevard	466399	188544
5	Pozo_2_Boulevard_Pta_Leona	466296	188556
6	Pozo_1_ASADA_Queb._Ganado_Castaña	468685	188977
7	Pozo_Plantación_Acres	466891	188581
8	Pozo_2_ASADA_Queb. Ganado_Cacique	466777	189077
9	Pozo_Resd_Santiago_Playa_Agujas	465181	189533
10	Pozo_Artesanal_Samort_Santana	465079	189801
11	Pozo_2_ASADA_Queb._Ganado_Castaña	468719	188953
12	Pozo_TS-88_Pta_Leona	465970	188636



**Mapa de Red de Monitoreo de Niveles Playas Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Modificado de González et al. (2015)

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

- Pozos\_Monitoreo
- Quebradas
- Quebradas intermitentes
- Rios principales
- ▲ Buzamientos
- AA Líneas de perfil
- Red Hídrica Agujas-Mantas
- Unidades estructurales
- Falta comprobada
- Falta cubierta
- Falta inferida
- Falta transcurrente dextral
- Falta transcurrente sinistral
- Movimiento vertical relativo
- Delimitación de la zona de estudio

**Unidades geológicas**

- Unidad de Depósitos Recientes
- Unidad de Areniscas Fossilíferas Agujas
- Unidad de Lutitas Calcareas Caletas
- Unidad de Calizas Fossilíferas Quebrada Ganado
- Unidad de Basaltos Agujas



Figura 41: Mapa de red de monitoreo de niveles

### 6.1.1 Unidad de Basaltos Agujitas

En esta unidad se encuentra captando el Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Castaña (Figura 42), en donde se observa que no existe mucha diferencia entre los niveles dinámicos registrados entre 2014 y 2017, el nivel dinámico más profundo es de 11,56 m (Abril 2017), mientras que el nivel más somero fue de 6,36 m (Diciembre 2014).

Cerca de este pozo se ubica el Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña (Figura 43) el cual no presenta información de armado para asociarse a alguna unidad litológica, y en donde se observa que tampoco existe mucha diferencia entre los niveles estáticos del 2012 al 2017, a excepción del 2015 en donde el nivel alcanzó los 6,99 m.b.n.s. para el mes de mayo; el nivel de agua más somero se registró a los 5,17 m.b.n.s. (Octubre 2012).

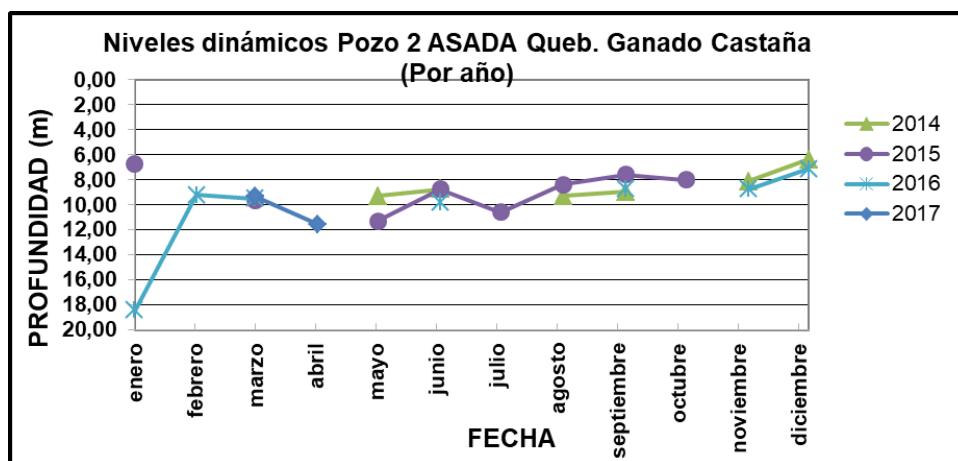


Figura 42: Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Castaña (N.D.)

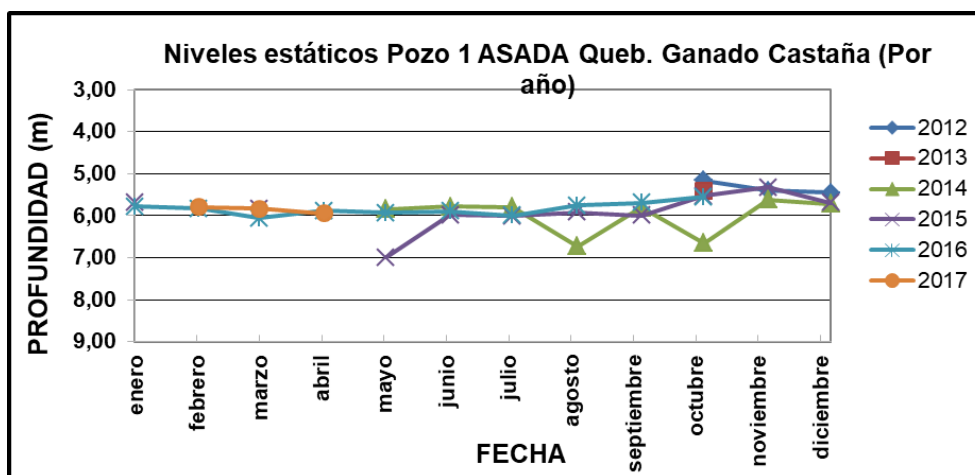


Figura 43: Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña (N.E.)

### 6.1.2 Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas

En esta unidad se encuentra captando el Pozo 21 Pta Leona Capilla (Figura 44), en donde tampoco se observa mucha diferencia entre los niveles dinámicos registrados entre 2012 y 2017, a excepción del año 2016 que se observa ligeramente por debajo de los demás años; se observa claramente un descenso en los niveles dinámicos para los meses de abril, el más profundo de 10,37 m.b.n.s. (2014), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar para los meses de octubre, el más somero de 2,83 m.b.n.s. (2016).

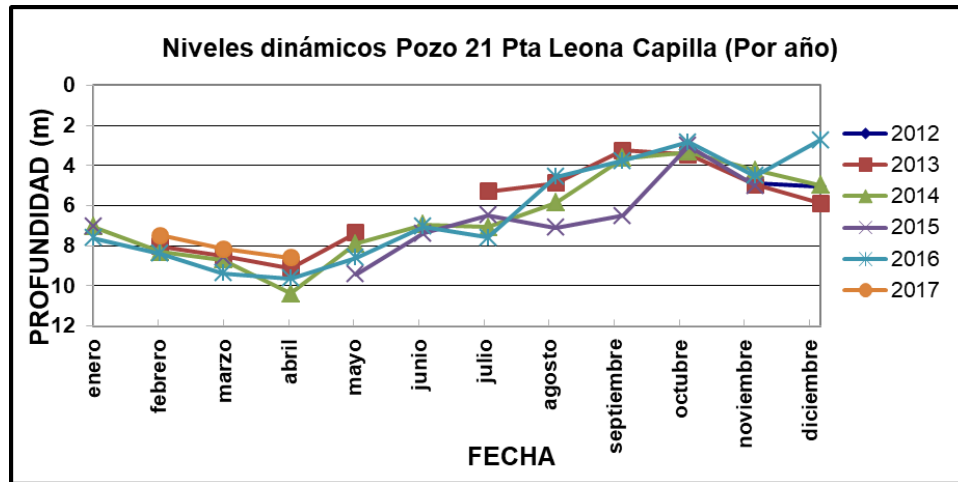


Figura 44: Pozo 21 Pta Leona Capilla (N.D.)

### 6.1.3 Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas

En esta unidad se encuentra captando el Pozo 28 Pta Leona Redonda (Figura 45), en donde se observa anualmente un descenso de niveles estáticos del 2013 al 2015, posteriormente se observa un ascenso para los niveles del 2016 y 2017; en cuanto a diferencia entre meses, se observa claramente un descenso en los niveles dinámicos para los meses de abril, el más profundo de 10,51 m.b.n.s. (2016), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar para los meses de octubre, el más somero de 2,46 m.b.n.s. (2015).

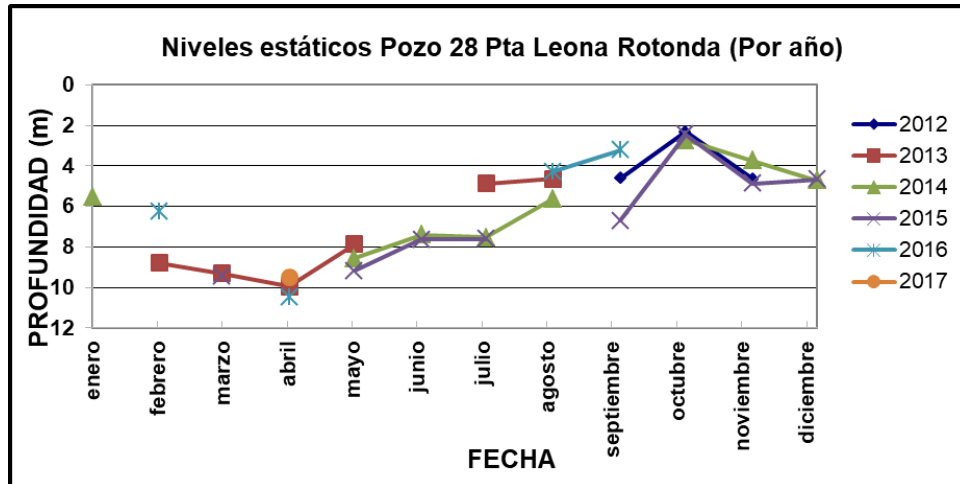


Figura 45: Pozo 28 Pta Leona Rotonda (N.E.)

Cerca de los anteriores pozos se ubica el Pozo 8 Pta Leona Barlovento (Figura 46) el cual no posee armado de pozo por lo que no se puede asociar a alguna unidad litológica, se puede observar que anualmente existe descenso de niveles estáticos entre 2013 y 2014, en cuanto a diferencia entre meses, se observa claramente un descenso en los niveles estáticos para los meses de abril, el más profundo de 15,12 m.b.n.s. (2013), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar para los meses de octubre, el más somero de 3,76 m.b.n.s. (2013).

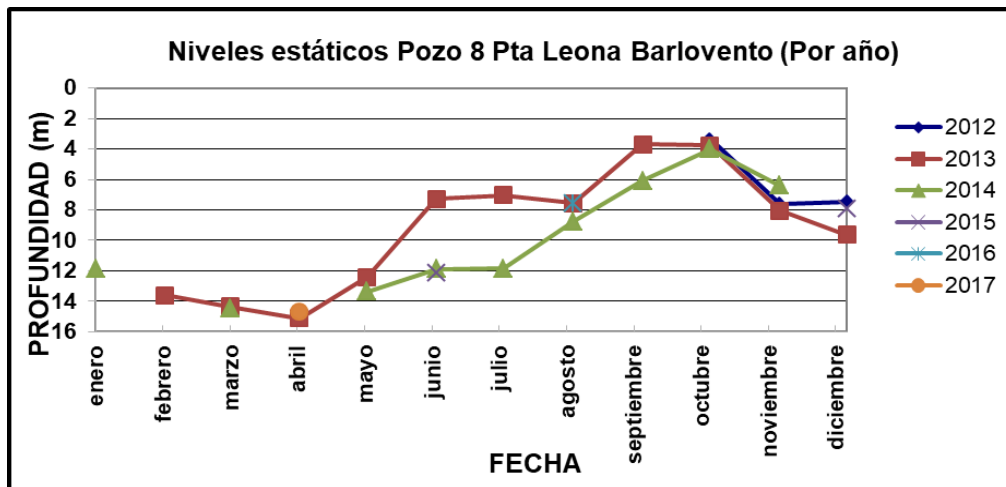


Figura 46: Pozo 8 Pta Leona Barlovento (N.E.)

#### 6.1.4 Unidad de Depósitos Recientes

En esta unidad se encuentra captando el Pozo 38 Pta Leona Boulevard (Figura 47), en donde se observa claramente un descenso anual entre del 2013 al 2015, e inclusive para el 2016; en cuanto a diferencia entre meses, se observa claramente un descenso en los niveles dinámicos para los meses de abril, el más profundo de 11,06 m.b.n.s. (2017), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar en este caso para los meses de setiembre, en donde el nivel más somero se registró a los 4,13 m.b.n.s. (2014).

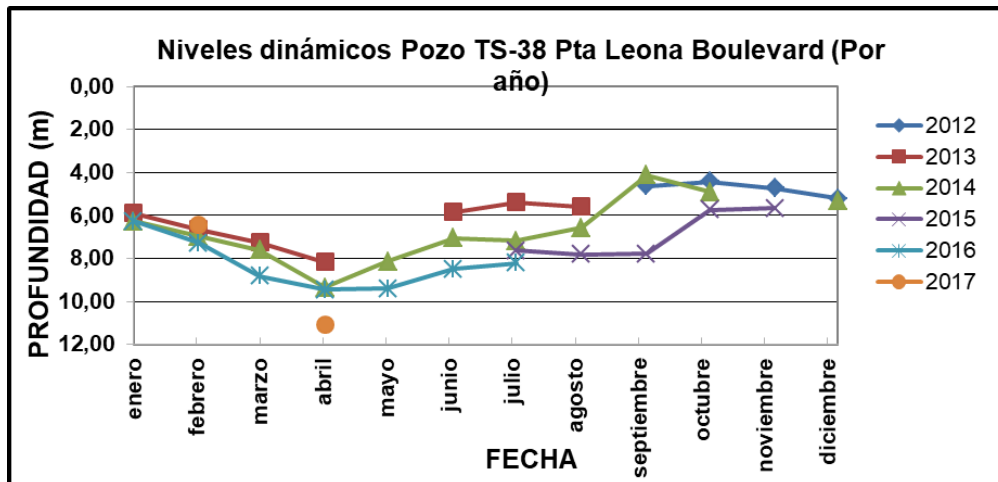


Figura 47: Pozo 38 Pta Leona Boulevard (N.D.)

Continuando con esta unidad litológica se encuentra el Pozo 2 Pta Leona Boulevard (TS-89) (Figura 48), en el cual se observa un ascenso del 2013 al 2016 específicamente para el período entre noviembre y diciembre; en cuanto a diferencia entre meses, se observa claramente un descenso en los niveles estáticos para los meses de mayo, el más profundo de 7,18 m.b.n.s. (2015), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar en este caso para los meses de setiembre, en donde el nivel más somero se registró a los 2,27 m.b.n.s. (2014).

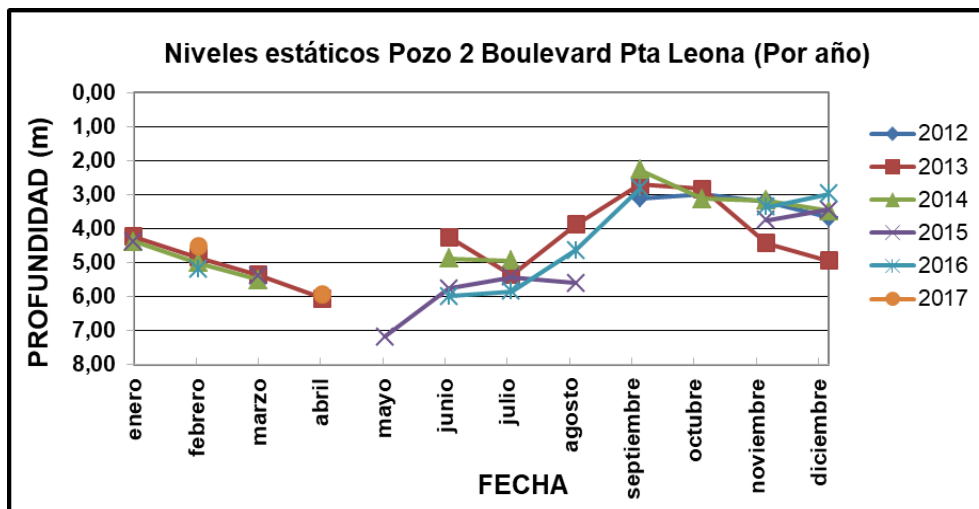


Figura 48: Pozo 2 Pta Leona (N.E.)

Dentro de la misma unidad litológica se encuentra el Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique (Figura 49), en la cual se observa un descenso del 2013 al 2015 específicamente para el período junio y agosto; y en cuanto a diferencia entre meses, se observa claramente un descenso en los niveles dinámicos en este caso para los meses de abril, el más profundo de 12,81 m.b.n.s. (2016), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar en este caso para los meses de octubre, en donde el nivel más somero se registró a los 4,13 m.b.n.s. (2014).

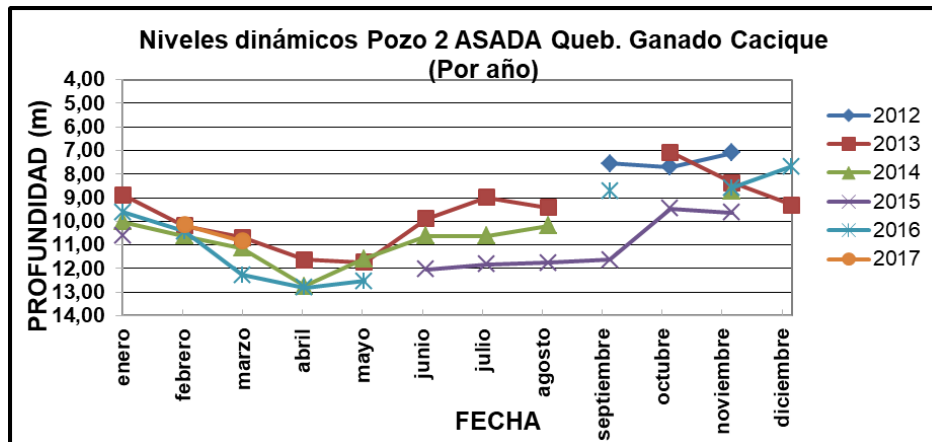


Figura 49: Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique (N.D.)

Finalmente dentro de la red de monitoreo se encuentra el Pozo Residencial Santiago (Figura 50), el cual se encuentra captando tanto la unidad superior de depósitos recientes como la unidad inferior compuesta por areniscas, en el cual se observa muy poca variación entre los niveles estáticos debido al comportamiento surgente que presenta el mismo, ligeramente se observa un ascenso entre los niveles del 2014 al 2015 específicamente para el período octubre y diciembre; y en cuanto a diferencia entre meses la variación también es muy leve, dándose un descenso en los niveles estáticos en este caso para los meses de abril, el más profundo de 0,25 m.b.n.s. (2013), mientras que el ascenso de los niveles se logra observar en este caso para los meses de noviembre, en donde el nivel más somero se registró a los -0,3 m.b.n.s. (2015).

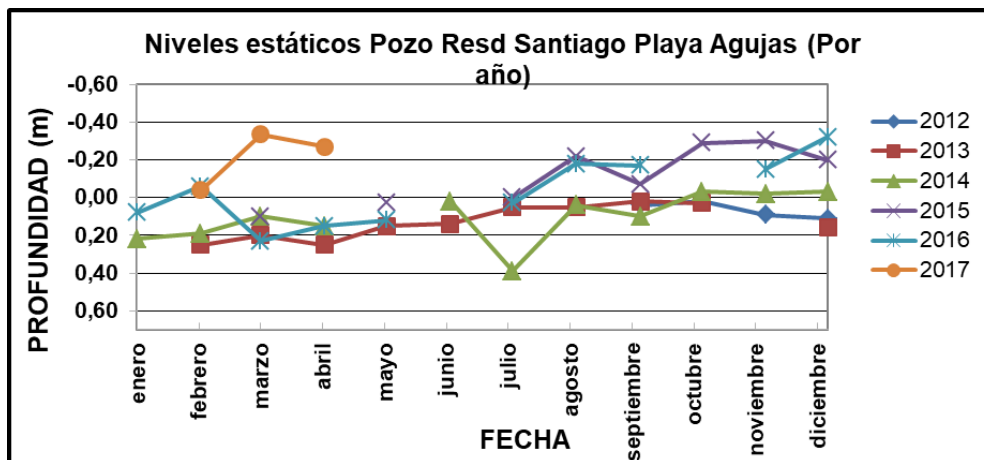


Figura 50: Pozo Resd. Santiago (N.E.)

## 6.2 Prospección geofísica

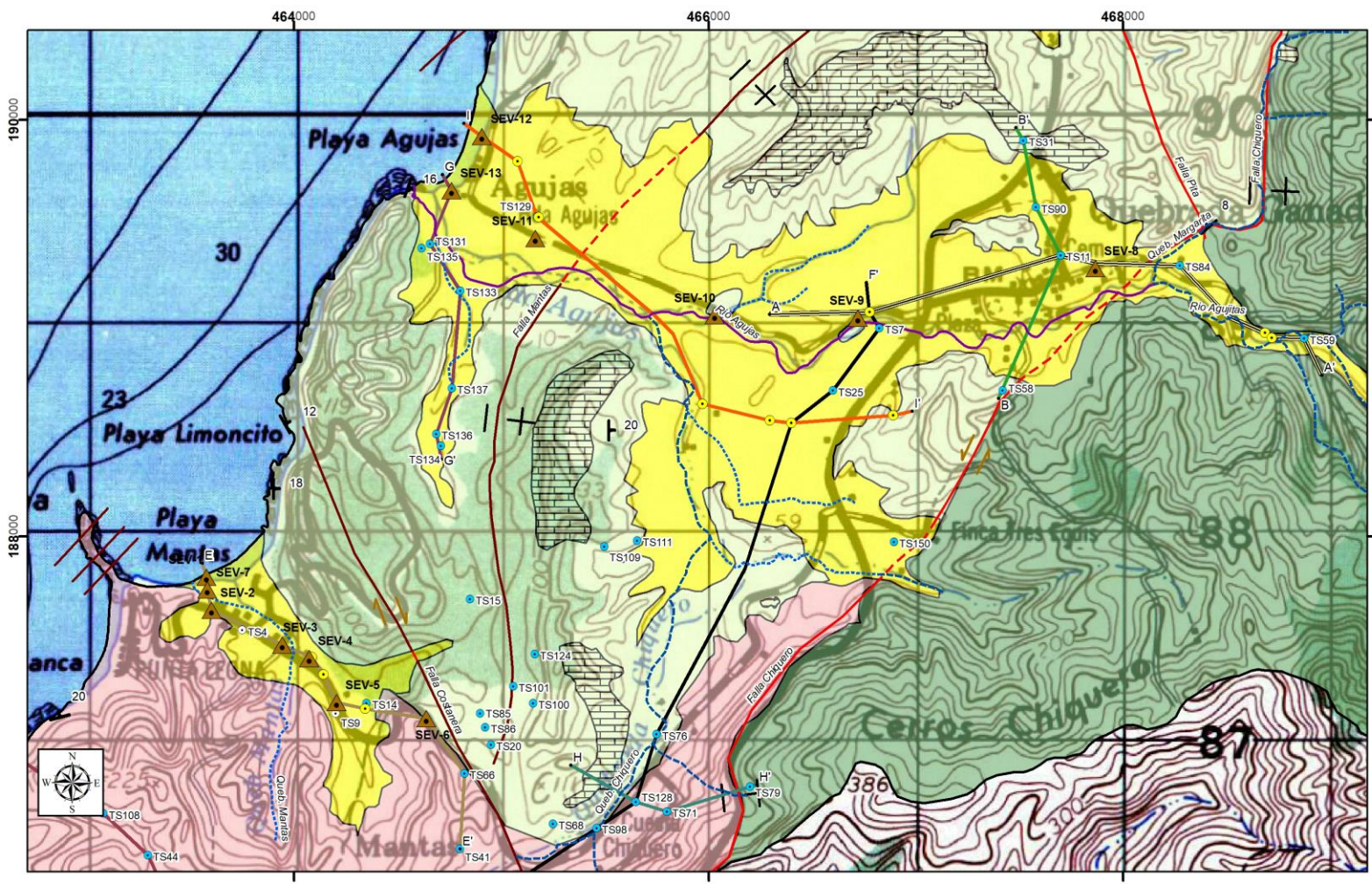
En cuanto a la prospección geofísica se realizaron 13 Sondeos Eléctricos Verticales (Cuadro 20) con un resistivímetro marca Tigre de la Compañía inglesa Allied Associates, empleando el arreglo eléctrico tipo Schlumberger. Para la interpretación de los datos y la definición de las capas geoelectricas se utilizó el software IPI2win, con el cual se ajustaron las curvas de las resistividades aparentes respecto a las curvas de campo de los modelos generados por el programa (ANEXO 7), los cuales se definen a partir de los modelos hidrogeológicos planteados una vez realizados los perfiles hidrogeológicos para cada sector. Dichos perfiles hidrogeológicos se describen más adelante, en donde se incluyen además las profundidades y los espesores de las geocapas eléctricas definidas en este apartado.

Se realizaron varios SEV's desde la línea de costa de las playas Mantas y Agujas hacia el continente (Figura 51) con el fin de visualizar a través de los perfiles hidrogeológicos E-E' (Figura 58), G-G' (Figura 61) y I-I' (Figura 64) la variación de los espesores de las unidades litológicas desde el continente hacia estas playas, además fue posible determinar con mayor exactitud las dimensiones y los espesores de las diferentes capas litológicas que comprenden el modelo hidrogeológico conceptual, principalmente en sectores donde no se contaba con información de pozos.

Cuadro 20: Ubicación de SEV's

Sondeo	X	Y	Sector
SEV-1	463578	187805	Playa Mantas
SEV-2	463601	187647	Playa Mantas
SEV-3	463943	187480	Playa Mantas
SEV-4	464073	187415	Playa Mantas
SEV-5	464206	187203	Playa Mantas
SEV-6	464638	187127	Playa Mantas
SEV-7	463582	187744	Playa Mantas
SEV-8	467866	189287	Playa Agujas
SEV-9	466721	189049	Playa Agujas
SEV-10	466030	189060	Playa Agujas
SEV-11	465164	189430	Playa Agujas
SEV-12	464906	189920	Playa Agujas
SEV-13	464759	189661	Playa Agujas

En el Cuadro 21, Cuadro 22, Cuadro 23, Cuadro 24 y Cuadro 25 siguientes, se muestran los valores de resistividad, espesor y profundidad obtenidos según la interpretación realizada en el software IPI2win de cada una de las geocapas eléctricas definidas, las correlaciones de cada una de las capas geoelectricas se detallan en cada uno de los perfiles hidrogeológicos que se describen en el siguiente apartado.



**Mapa de ubicación de SEV's**  
**Playas Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Modificado de González et al. (2015)  
 Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocoatepeque

**LEYENDA**

- |                   |                                 |                                      |   |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| ▲ SEV's           | <b>Red Hídrica Aguja-Mantas</b> | <b>Unidades estructurales</b>        | <b>Unidades geológicas</b>                      |
| ● Pozos_Monitoreo | — Quebradas                     | — Falla comprobada                   | ■ Unidad de Depósitos Recientes                 |
| ○ Pozos_Final     | — Quebradas intermitentes       | — Falla cubierta                     | ■ Unidad de Areniscas Fosilíferas Aguja         |
| ○ Sin Litología   | — Rios principales              | — Falla inferida                     | ■ Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas           |
| ● Con Litología   | — Buzamientos                   | — Falla transcurrente dextral        | ■ Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado |
|                   | — AA Líneas de perfil           | — Falla transcurrente sinistral      | ■ Unidad de Basaltos Agujitas                   |
|                   |                                 | — Movimiento vertical relativo       |   |
|                   |                                 | □ Delimitación_de_la_zona_de_estudio |   |



Figura 51: Mapa de ubicación de SEV's

Cuadro 21: SEV-1, SEV-2 y SEV-3

SEV-1	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-2	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-3	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica
	3	1	1	Sedimentos marinos salobres		22	1,3	1,3	Suelo		30	0,55	0,55	Suelo
	1,5	3	4	Sedimentos marinos salobres		5	5,7	7	Coluvio-aluvial fino		5	1,05	1,6	Coluvio-aluvial fino
	5	11	15	Roca sedimentaria fracturada		11	43	50	Roca sedimentaria sana		16	6,4	8	Coluvio-aluvial medio
	50	15	30	Roca sedimentaria sana		30			Roca sedimentaria sana		5	34	42	Roca sedimentaria fracturada
	5			Roca sedimentaria fracturada							12			Roca sedimentaria sana

Cuadro 22: SEV-4, SEV-5 y SEV-6

SEV-4	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-5	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-6	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica
	55	0,7	0,7	Suelo		22	1	1	Suelo		23	0,9	0,9	Suelo
	11	3,3	4	Coluvio-aluvial medio		5	5	6	Coluvio-aluvial fino		4	0,4	1,3	Coluvio-aluvial fino
	9	10	14	Coluvio-aluvial fino		10	8	14	Roca sedimentaria sana		33	2,2	3,5	Roca sedimentaria sana
	45	11	25	Roca sedimentaria sana		1,4	17	31	Roca sedimentaria fracturada		9,5	36,5	40	Roca sedimentaria fracturada
	2	10	35	Roca sedimentaria fracturada		20			Roca sedimentaria sana		18			Roca sedimentaria sana
	15			Roca sedimentaria sana										

Cuadro 23: SEV-7, SEV-8 y SEV-9

SEV-7	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-8	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-9	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica
	19	1,1	1,1	Suelo		20	0,4	0,4	Suelo		22	0,6	0,6	Suelo
3,5	1,9	3	Coluvio-aluvial fino	30	14,6	15	Coluvio-aluvial grueso	80	1,4	2	Coluvio-aluvial grueso			
6,5	33	36	Roca sedimentaria fracturada	25	3	18	Coluvio-aluvial grueso	11	8	10	Coluvio-aluvial medio			
31			Roca sedimentaria sana	6	7	25	Roca sedimentaria fracturada	9	12	22	Coluvio-aluvial fino			
				10			Roca sedimentaria sana	5			Roca sedimentaria fracturada			

Cuadro 24: SEV-10, SEV-11 y SEV-12

SEV-10	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-11	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica	SEV-12	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica
	55	0,7	0,7	Coluvio-aluvial grueso		13	2,5	2,5	Suelo		100	1,5	1,5	Suelo gravoso
100	1,8	2,5	Coluvio-aluvial grueso	4	2	4,5	Coluvio-aluvial fino	10	4,5	6	Coluvio-aluvial fino			
60	3,5	6	Roca sedimentaria sana	65	9,5	14	Coluvio-aluvial grueso	50	7	13	Coluvio-aluvial grueso			
11			Roca sedimentaria sana	3	34	48	Roca sedimentaria fracturada	2	7	20	Roca sedimentaria fracturada			
				22			Roca sedimentaria sana	27			Roca sedimentaria sana			

Cuadro 25: SEV-13

SEV-13	Resistividad $\Omega \cdot m$	Espesor (m)	Profundidad (m)	Correlación litológica
	1,4	0,6	0,6	Sedimentos marinos salobres
	12	0,7	1,3	Coluvio-aluvial medio
	1	2,7	4	Sedimentos marinos salobres
	20	41	45	Roca sedimentaria sana
	10			Roca sedimentaria sana

### **6.3 Caracterización de los acuíferos**

A partir de las bases de datos de SENARA y de AyA y de la red de monitoreo establecida en el 2012 por la Comisión Interinstitucional del SENARA-AYA-DIRECCIÓN, se identificaron un total de 65 pozos, cuyos niveles de agua (ANEXO 8) se lograron relacionar para definir los acuíferos a partir de las litologías respectivas (ANEXO 9), además se determinó el gradiente hidráulico y la dirección de flujo del agua subterránea para cada unidad acuífera. En las siguientes figuras se muestran la distribución de las equipotenciales y/o isofreáticas de cada una de las unidades acuíferas, además se muestran los perfiles hidrogeológicos realizados para cada sector del área de estudio:

#### **6.3.1 Unidad de Basaltos Agujitas**

Este acuífero presenta dos niveles regionales de agua, los niveles más someros abarcan varias nacientes ubicadas al este de Quebrada Ganado, en donde se identificaron varias curvas isofreáticas las cuales se delimitaron a partir de la metodología de los autores Davis & De Wiest (1971), en donde las líneas isofreáticas presenta una curvatura hacia afuera en la partes altas de una cuenca debido a que en ese sector la dirección de flujo va desde las laderas hacia el centro de las quebradas o ríos principales, con un gradiente hidráulico entre 0,30 y 0,6 entre las isofreáticas que se encuentran al este de Quebrada Ganado (Figura 52).

A una profundidad mayor se encuentra un nivel regional de agua el cual se extiende a lo largo de la parte alta del cauce del Río Agujas, donde los niveles se encuentran a una elevación entre los 400 y los 90 m.s.n.m., con un gradiente hidráulico entre 0,009 y 0,027 con un rumbo hacia el N-NW. En el sector oeste del Cerro Chiquero el nivel de agua se encuentra a una profundidad de 135 m.b.n.s. (TS-79). Además es posible observar en la figura anterior una recarga lateral tanto del nivel de agua somero hacia el nivel regional del Río Agujas dentro de la Unidad de Basaltos, y también existe una recarga lateral de esta unidad hacia la Unidad de Depósitos Recientes y a la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. La transmisividad según la prueba de bombeo de 24 horas del Pozo 2 QG Castaña fue de 123 m<sup>2</sup>/d, y los caudales de los pozos rondan entre 12,2 y 1 L/s.

Esta unidad se presenta como un acuífero libre en gran parte de su extensión, con excepción de algunos sectores en donde se caracteriza como libre cubierto, tal y como se observa en el perfil hidrogeológico A-A' (Figura 53) en donde se encuentra subyacido por una capa 11 m de depósitos aluviales, o bien en el perfil hidrogeológico H-H' (Figura 54), donde se observa una cobertura de suelo de 15 m sobreyaciendo a los basaltos.

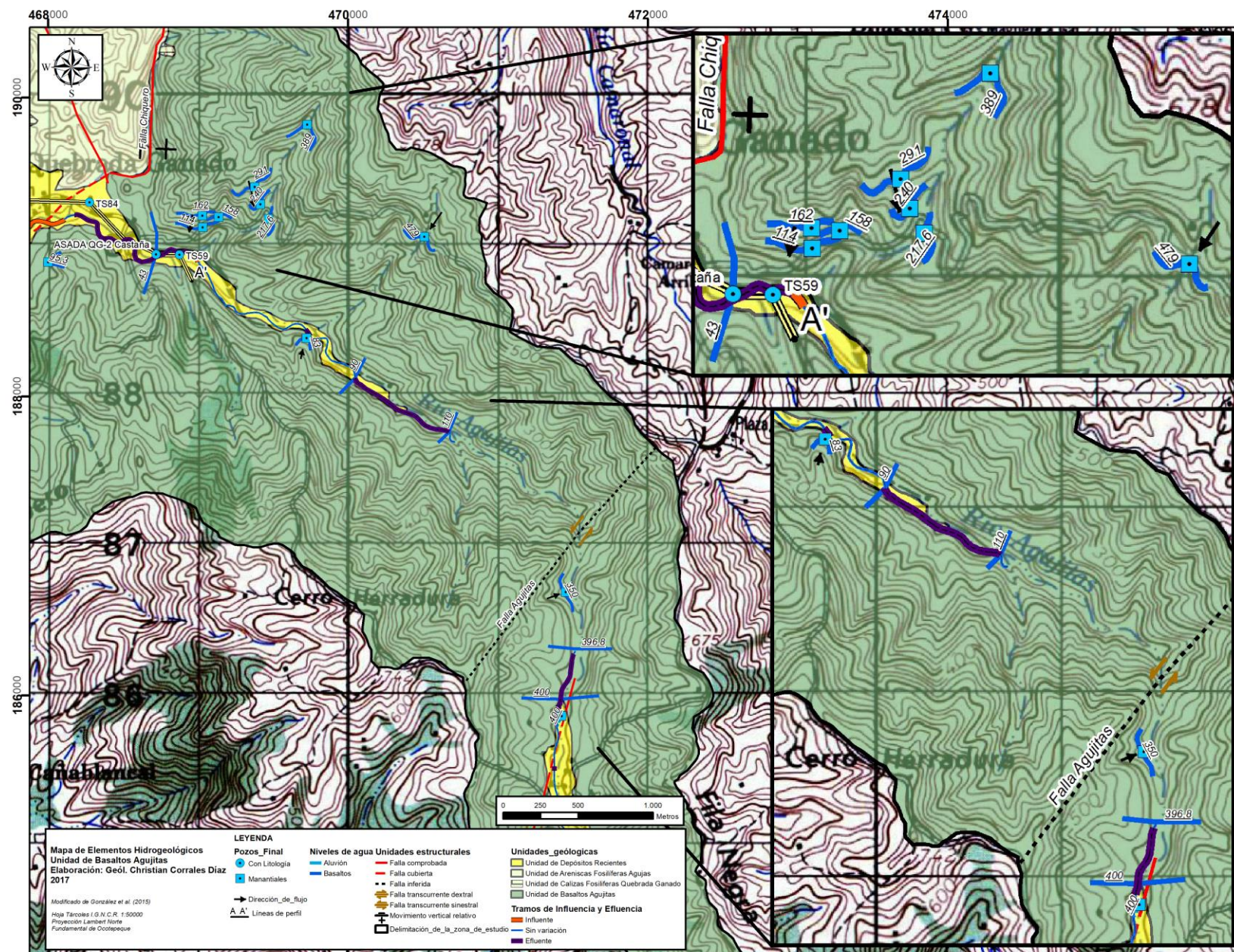


Figura 52: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Basaltos Agujitas

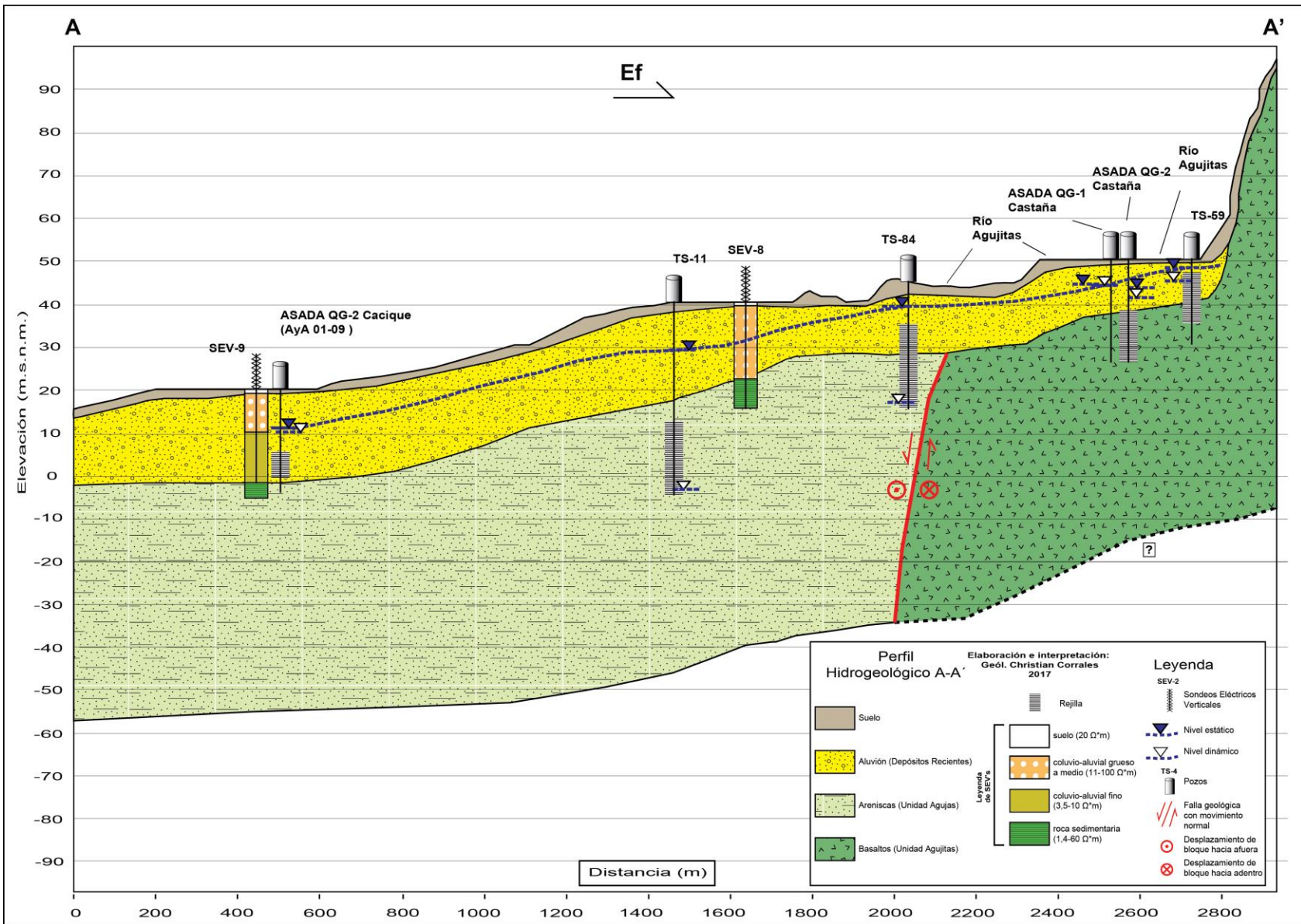


Figura 53: Perfil Hidrogeológico A-A'

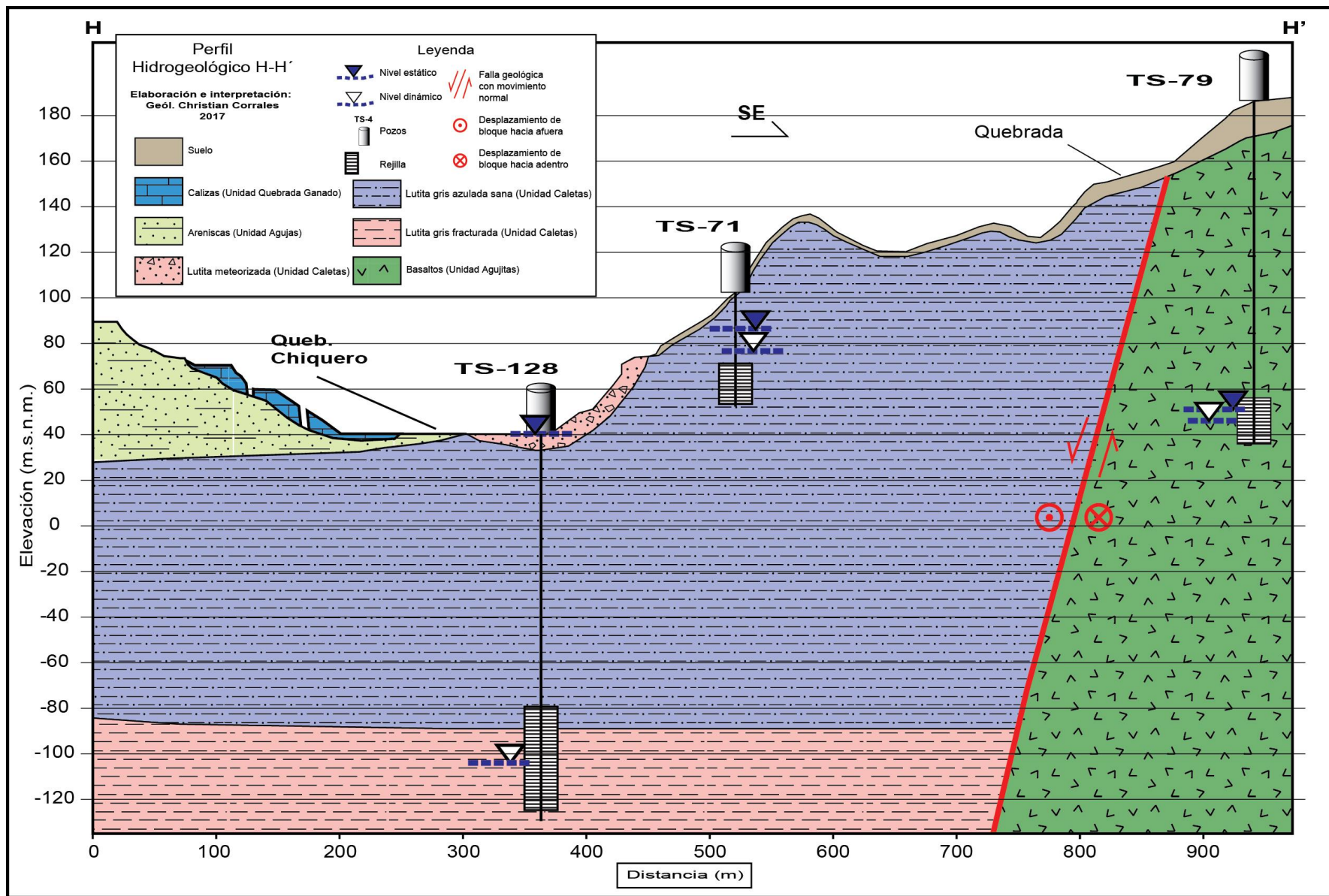


Figura 54: Perfil Hidrogeológico H-H'

### **6.3.2 Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas**

Este acuífero presenta 2 nacientes ubicadas en la parte alta de la Queb. Mantas, y entre Punta Leona y Playa Mantas se identificó en campo un punto de descarga del acuífero, de la misma forma se encontraron 4 puntos de descarga del acuífero entre Playa Blanca y Punta Sucia, esto debido al alto grado de fracturación que presenta esta unidad. Por medio de pozos de las bases de datos del SENARA se identificaron varias isofreáticas con una dirección de flujo hacia el NW principalmente, en donde es posible observar una recarga lateral de esta unidad hacia la Unidad de Depósitos Recientes y a la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, con un gradiente hidráulico entre 0,29 y 0,051 para el sector de Cuesta Chiquero, 0,02 en Playa Mantas, y entre 0,019 y 0,83 en el sector del Hotel Villa Caletas (Figura 55). La transmisividad ronda según las pruebas de bombeo de los pozos TS-128 y TS-44 (12 horas cada una) entre 0,159 y 25,0 m<sup>2</sup>/d, y los caudales de los pozos rondan entre 0,5 y 3 L/s.

En el perfil hidrogeológico C-C' (Figura 56) se observa que el nivel captado por los pozos TS-53, TS-64 y TS-74 se ubica en un tramo de las lutitas que se encuentra fracturado, mientras que por encima de esta capa se ubica un tramo de lutitas sanas y finalmente en la parte más somero de la unidad el tramo meteorizado.

Mientras que en el perfil hidrogeológico D-D' (Figura 57) los pozos TS-44, TS-108 y TS-156 se encuentran captando también el tramo de lutitas fracturadas y además se observa una relación entre el nivel del agua proyectado para estos pozos con un punto de descarga acuífera en la costa.

En cuanto al grado de confinamiento, este acuífero posee un grado de libre para los sectores de Caletas (Figura 56) y Playa Blanca (Figura 57), así como para el sector de Cuesta Chiquero tal y como se observa en la parte derecha del perfil hidrogeológico E-E' (Figura 58) y en la parte izquierda del perfil hidrogeológico F-F' (Figura 59); mientras que para el sector de Playa Mantas tal y como se observa en la parte izquierda del perfil hidrogeológico E-E' (Figura 58), el acuífero se presenta como libre cubierto, de la misma forma como se observa en la parte central del perfil hidrogeológico F-F' (Figura 59).

En el sector de Cuesta Chiquero el nivel se ubica en algunos sectores entre 0,0 m.b.n.s. (TS-128) y 2 m.b.n.s. (TS-42), ambos pozos ubicados muy cerca la Queb. Chiquero, mientras que en la parte alta de Cuesta Chiquero el nivel se ubica 130 m.b.n.s. (TS-103); al SE de Playa Mantas se ubica el pozo TS-66 en donde el nivel también se ubica a 0 m.b.n.s.

En Playa Mantas el nivel del agua se localiza a una profundidad entre 4,3 m.b.n.s. (TS-21) y 10,93 m.b.n.s. (TS-4), sin embargo estos niveles se encuentran a la altura de los depósitos aluviales debido a que el acuífero en este sector se presenta como libre cubierto. Y para el sector de Caletas en la parte alta el nivel se ubica a 154 m.b.n.s. (TS-74).

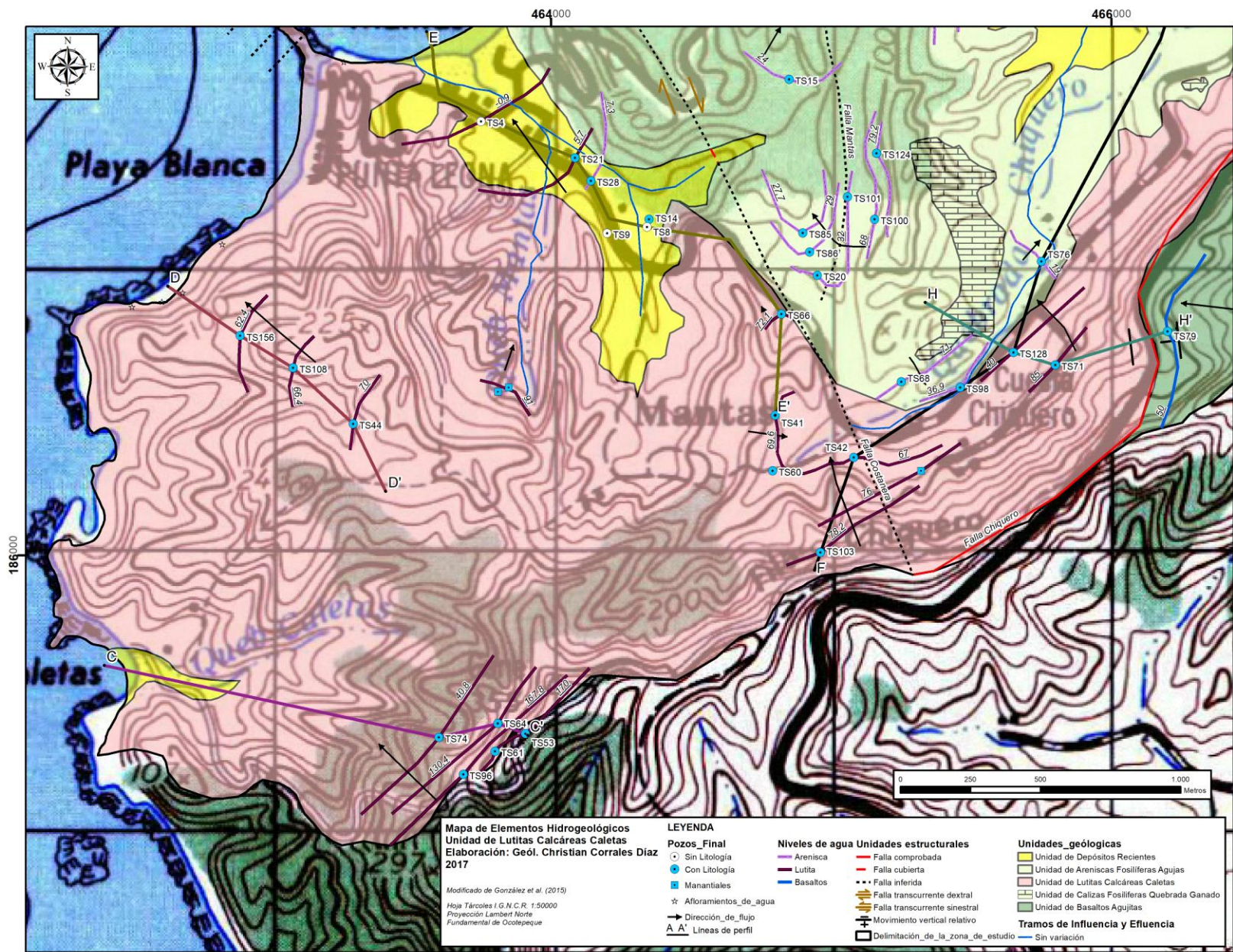


Figura 55: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas

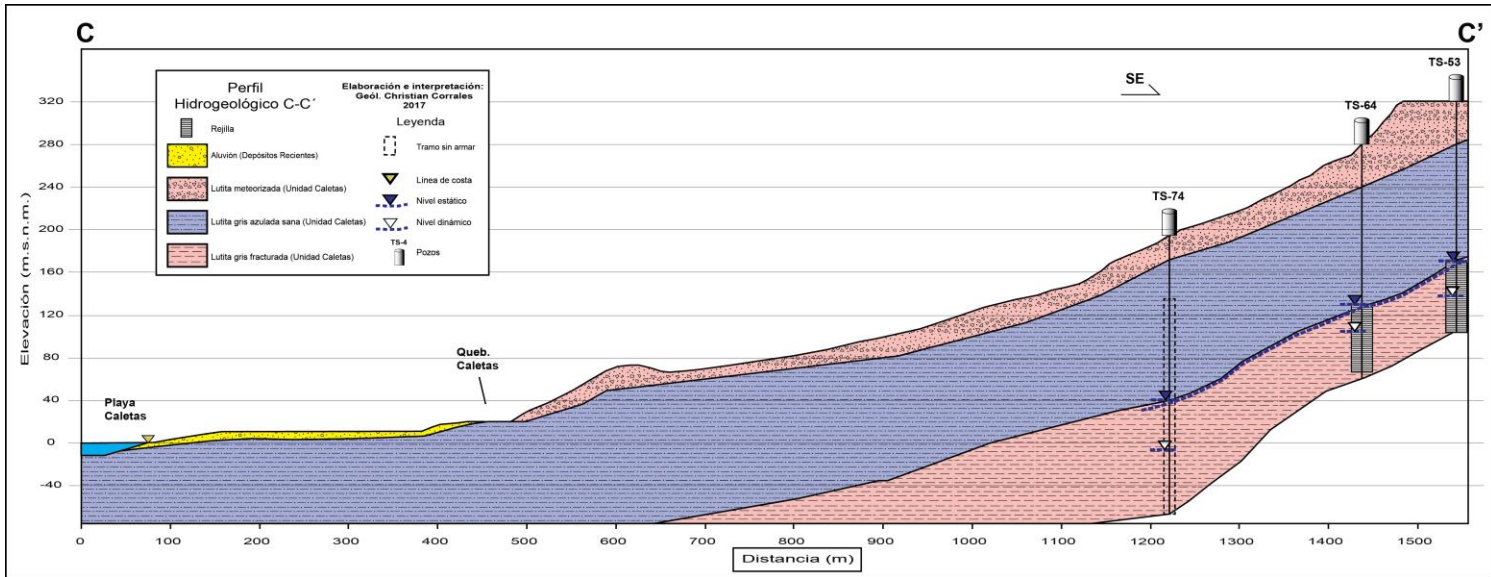


Figura 56: Perfil Hidrogeológico C-C'

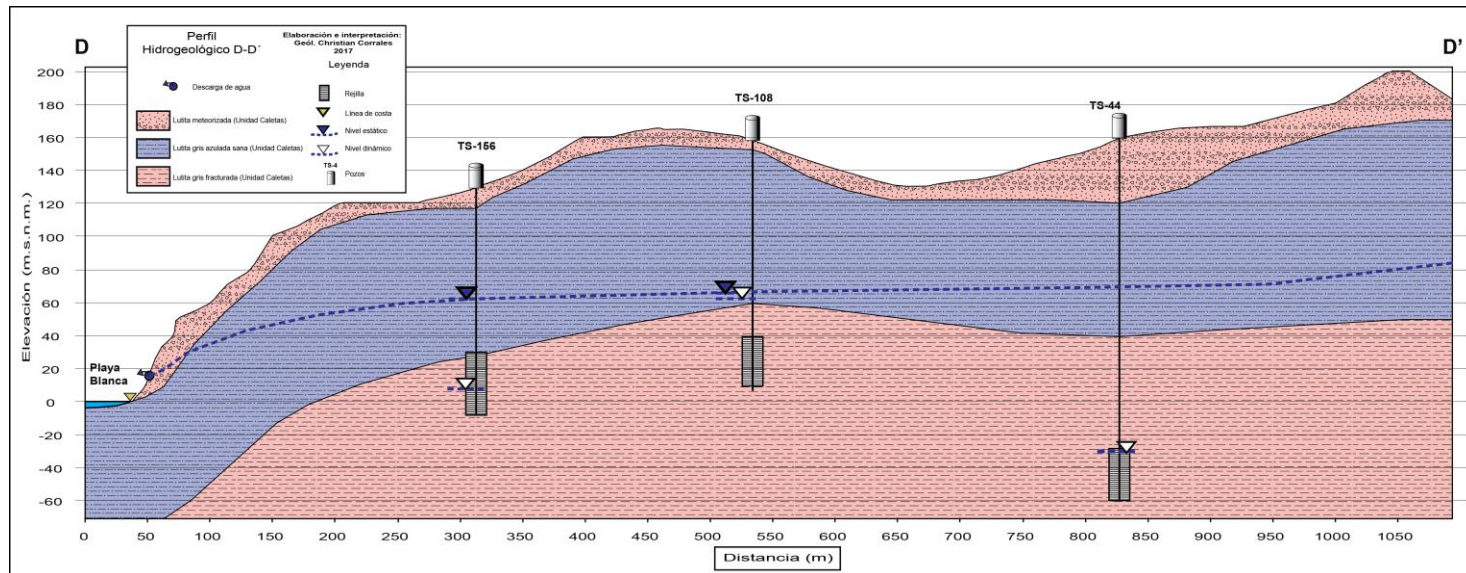


Figura 57: Perfil Hidrogeológico D-D'

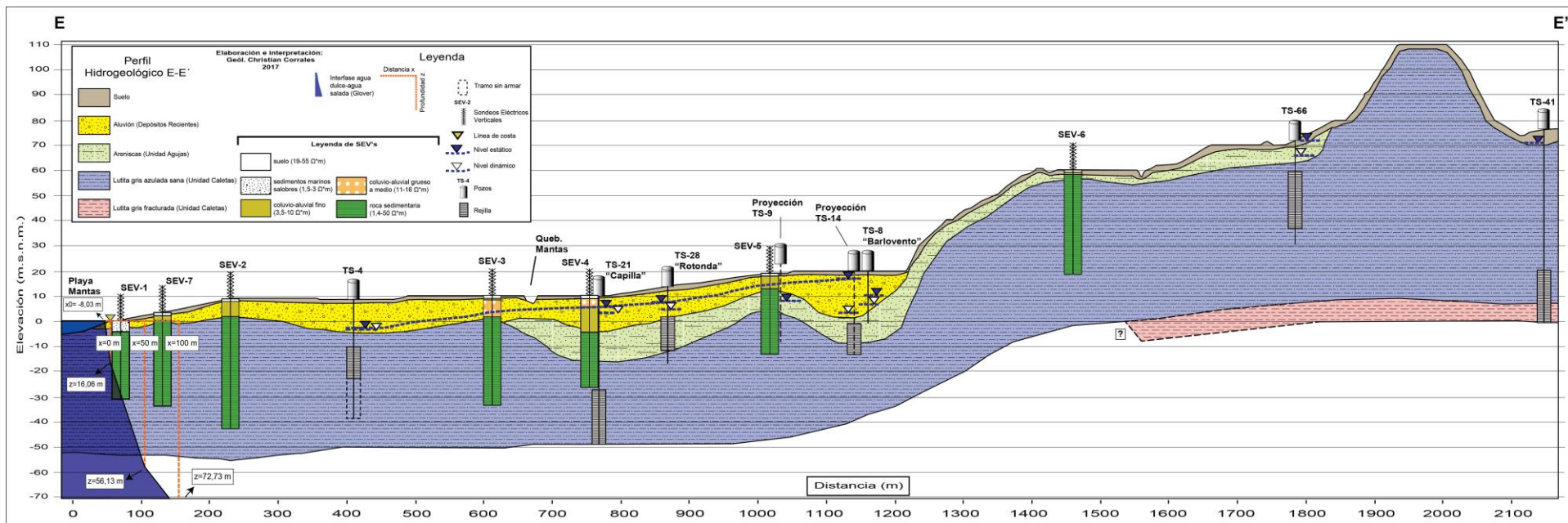


Figura 58: Perfil Hidrogeológico E-E'

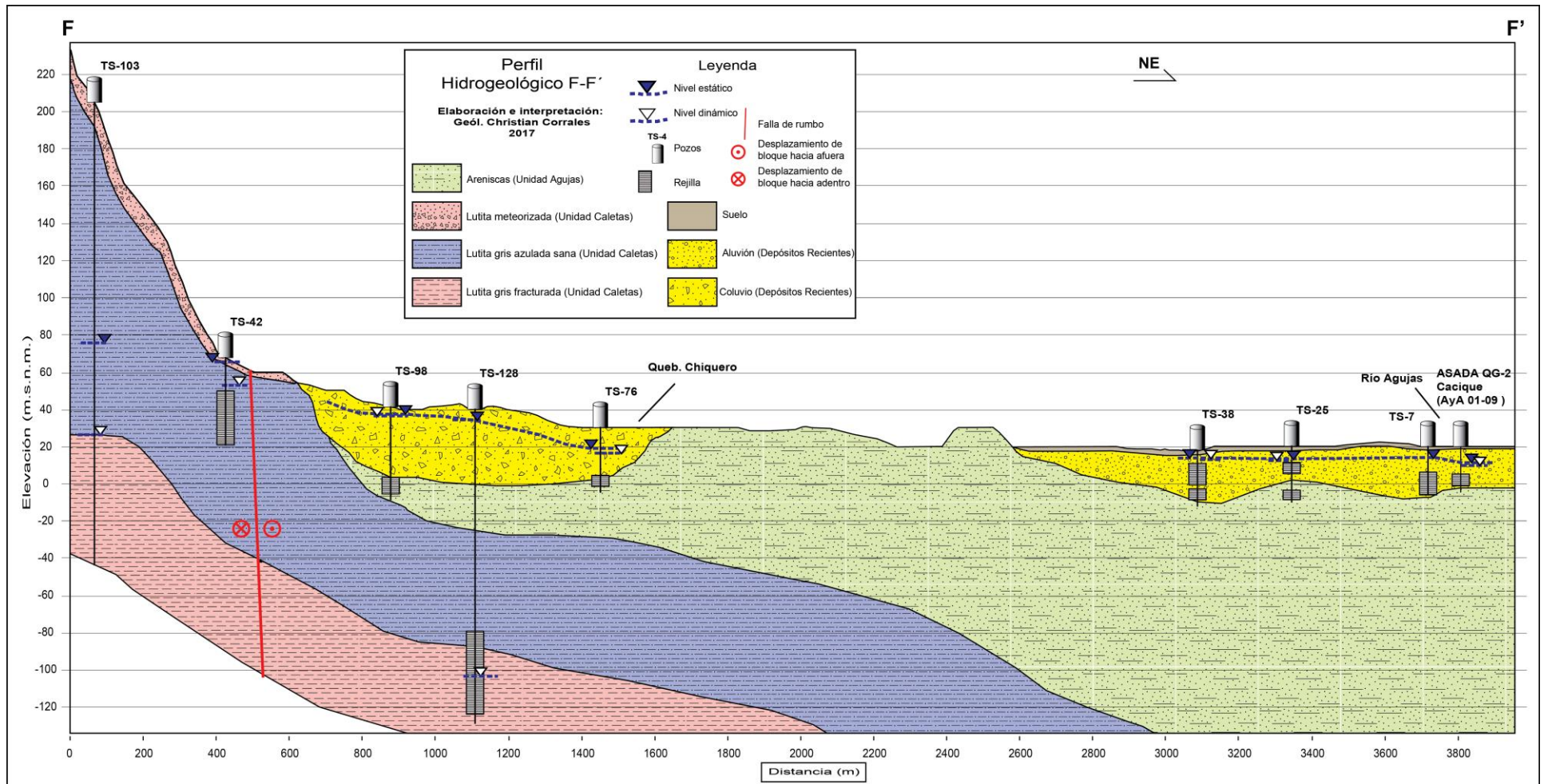


Figura 59: Perfil Hidrogeológico F-F'

### **6.3.3 Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas**

Para este acuífero se identificaron varias curvas isofreáticas al E de Playa Mantas y al SE de Playa Pita, con un gradiente hidráulico entre 0,03 y 0,23 al sureste de Playa Mantas con una dirección de flujo hacia el NW-W, 0,28 y 0,29 para el sector de Quebrada Chiquero con una dirección de flujo hacia el E, y de 0,08 en Playa Pita con una dirección de flujo hacia el SW (Figura 60), en donde es posible observar una recarga lateral de esta unidad hacia la Unidad de Depósitos Recientes de Playa Mantas, Playa Agujas y Playa Pita.

En el perfil hidrogeológico F-F' (Figura 59) se observa que el nivel captado por los pozos TS-98, TS-76 y TS-25 se ubican a la altura de la Unidad de Depósitos Recientes, específicamente a un depósito coluvial, sin embargo esto no se debe a confinamiento, sino más bien a que en este sector se encuentra ubicado en el pie de monte de Cuesta Chiquero, constituyendo una zona de descarga lateral de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. En cuanto al perfil hidrogeológico G-G' (Figura 61) no fue posible identificar niveles de agua ya que las perforaciones en dicha zona no profundizaron más allá de los depósitos recientes. En la mayor parte de su extensión el acuífero se caracteriza como libre, solamente en sectores como en Playa Mantas y el sector comprendido entre el poblado de Quebrada Ganado y Playa Agujas el acuífero se presenta como libre cubierto. La transmisividad ronda según las pruebas de bombeo de los pozos TS-111 y TS-94 (12 horas y 8 horas respectivamente) entre 0,42 y 6,81 m<sup>2</sup>/d, y los caudales de los pozos que captan esta unidad rondan entre 0,32 y 3 L/s.

Para el sector que comprende los cerros ubicados al SE de Playa Mantas (465048/187142), el nivel se ubica entre 2,5 (TS-86) y 26 m.b.n.s. (TS-101). Para la parte alta de la Queb. Chiquero el nivel se ubica entre 4 (TS-98) y 12 m.b.n.s. (TS-109). Para el sector central del poblado de Quebrada Ganado el nivel se ubica a 11 m.b.n.s. (TS-11). Mientras que para Playa Agujas y la parte media del Río Agujas es posible observar que existe una mezcla entre los acuíferos de la Unidad de Depósitos Recientes y la Unidad de Areniscas Agujas, donde el nivel se ubica a 1,2 m.b.n.s. (TS-88) y 0,02 m.b.n.s. (TS-129), pozos cuyas rejillas se encuentran captando tanto a las areniscas como al aluvión, mientras que pozos como el TS-89 y el TS-38 captan solamente la unidad aluvial y presentan niveles de agua ubicados a una elevación similares tal y como se observa en la Figura 64. Respecto al sector de Playa Pita el nivel del agua se ubicó entre 2 (TS-114) y 27 m.b.n.s. (TS-19).

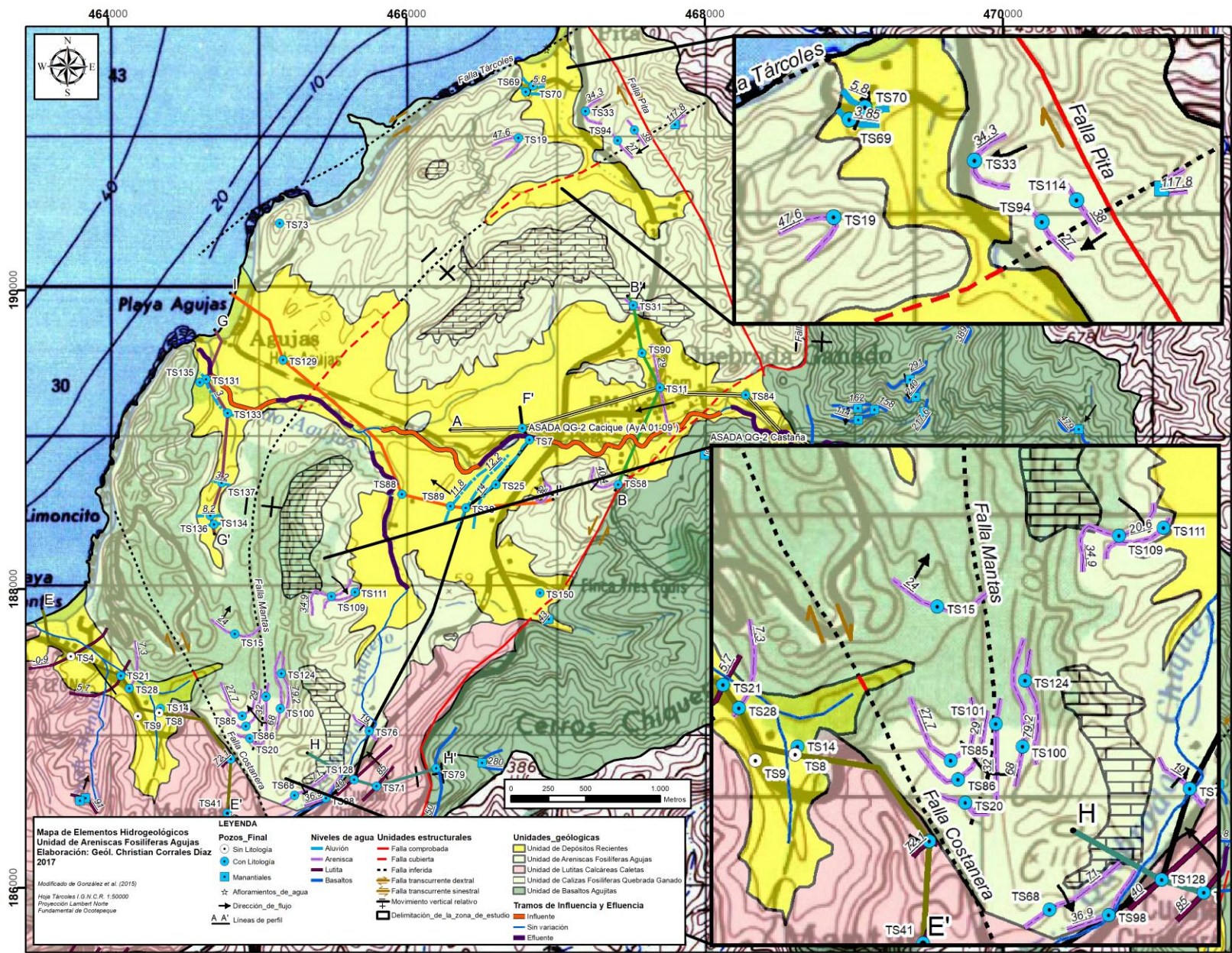


Figura 60: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Areniscas Fosilíferas Aguja

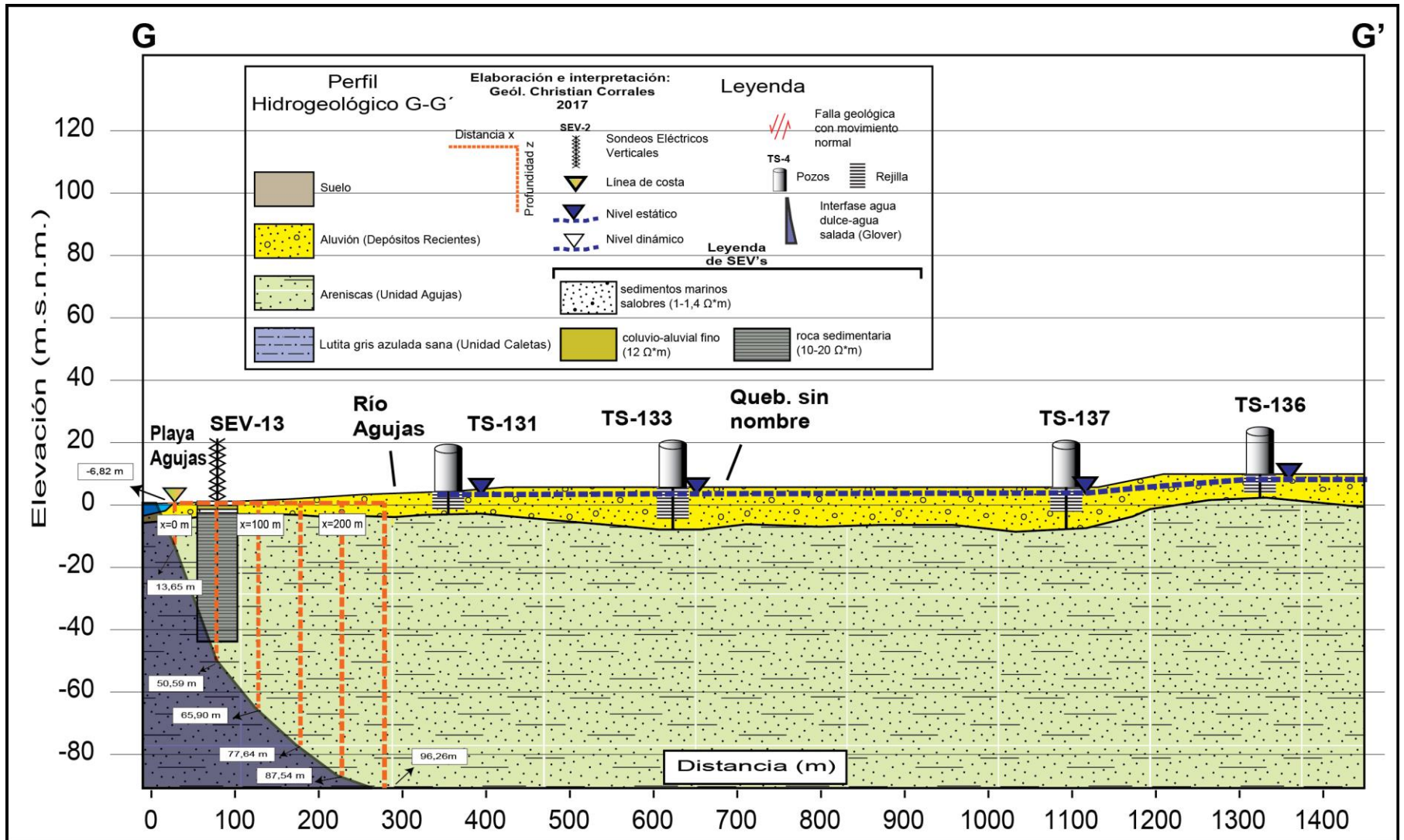


Figura 61: Perfil Hidrogeológico G-G'

#### **6.3.4 Unidad de Depósitos Recientes**

Este acuífero se distribuye en 4 playas dentro de la zona de estudio, sin embargo en Playa Caletas no se identificaron curvas isofreáticas debido a la falta de pozos, por lo que se describirán solamente en este apartado la Unidad de Depósitos Recientes de las playas Agujas, Mantas y Pita. En el sector central de los depósitos aluviales del Río Agujas el gradiente hidráulico ronda entre 0,004 y 0,03, por lo que el gradiente hidráulico para este sector en promedio es de 0,017, con una dirección de flujo hacia el NW (Figura 62). La transmisividad según la prueba de bombeo del pozo TS-89 (72 horas) es de 277 m<sup>2</sup>/d, y los caudales de los pozos que captan esta unidad rondan entre 1,5 y 8 L/s.

En el perfil hidrogeológico B-B' (Figura 63) se observa que el nivel del agua del pozo TS-90 se encuentra captado en dos tramos una de arenisca en la parte inferior y otro en la parte aluvial, cercano a este pozo se ubica el pozo TS-11 el cual capta solamente la arenisca, y es posible observar que ambos niveles se ubican a una altura similar, esto indica que existe una comunicación hidráulica entre ambas unidades. En cuanto al perfil hidrogeológico I-I' (Figura 64) se observa algo similar a lo descrito anteriormente, en este caso en los pozos TS-38, TS-89, TS-88 y TS-129, además se observa una recarga lateral de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas hacia la Unidad de Depósitos Recientes. Tanto en Playa Mantas como en Playa Agujas y Playa Pita este acuífero presenta un grado de libre.

Para el sector de Playa Agujas tal y como se mencionó anteriormente existe una mezcla entre las unidades de depósitos aluviales y areniscas, sin embargo se identificaron varios pozos que se encuentran captando solamente la unidad aluvial en donde el nivel se ubicó entre 4,4 (TS-89) y 5,59 m.b.n.s. (TS-38), esto en la margen derecha de la Queb. Chiquero. Mientras que para el sector central de la cuenca del Río Agujas el nivel se encontró entre 6 (TS-7) y 9,3 m.b.n.s. (ASADA QG-2 Cacique).

Para el sector de Playa Pita se encuentran los pozos (TS-69 y TS-70), los cuales presentan un nivel de agua a una profundidad entre 3,85 y 5,8 m.b.n.s. respectivamente, y atraviesan tanto la unidad aluvial como la de areniscas, y tomando en cuenta la posibilidad de una comunicación hidráulica entre ambas unidades, se determina que el agua para este sector se ubicaría a esa profundidad, a partir de estos dos pozos se obtuvo además un gradiente hidráulico de 0,03 con una dirección de flujo hacia el NE.

En cuanto al sector de Playa Mantas el nivel se ubica entre 2,6 (TS-14) y 10,93 m.b.n.s. (TS-4) sin embargo como se indicó anteriormente este nivel pertenece a las lutitas y en una pequeña parte a las areniscas sobreyacidas por los depósitos aluviales. Mientras que para el sector de Playa Caletas no se encontraron pozos en esta unidad.

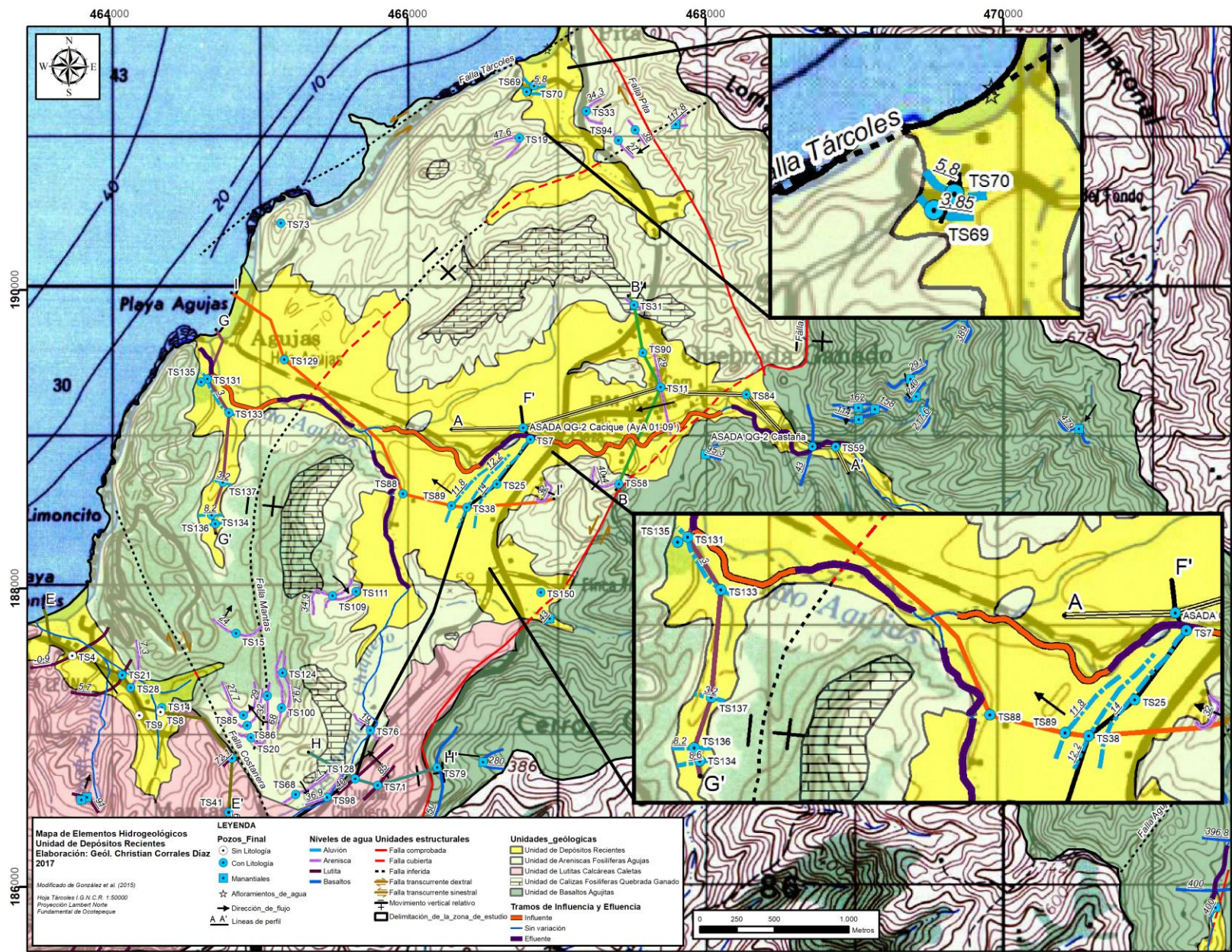
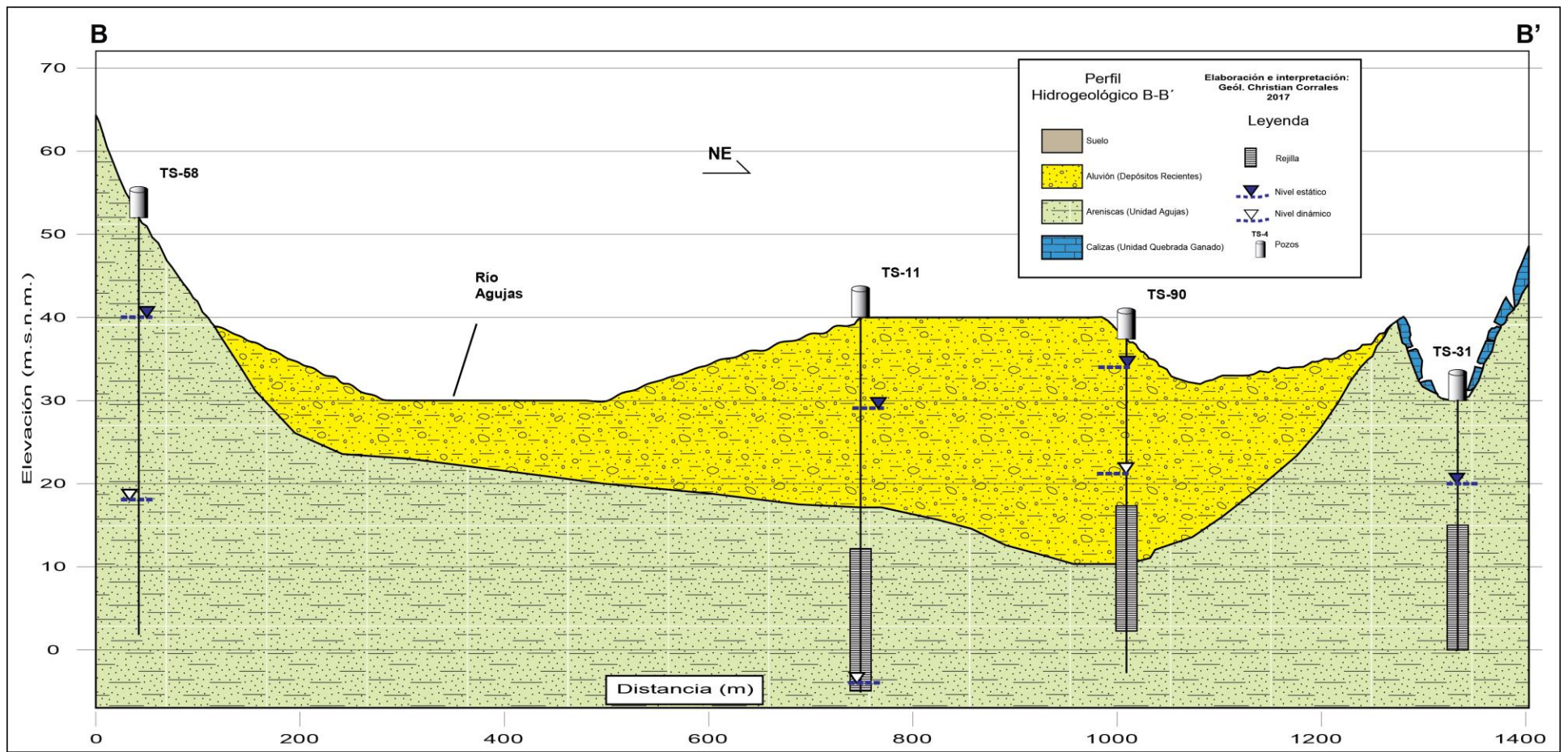


Figura 62: Mapa de Elementos Hidrogeológicos Unidad de Depósitos Recientes



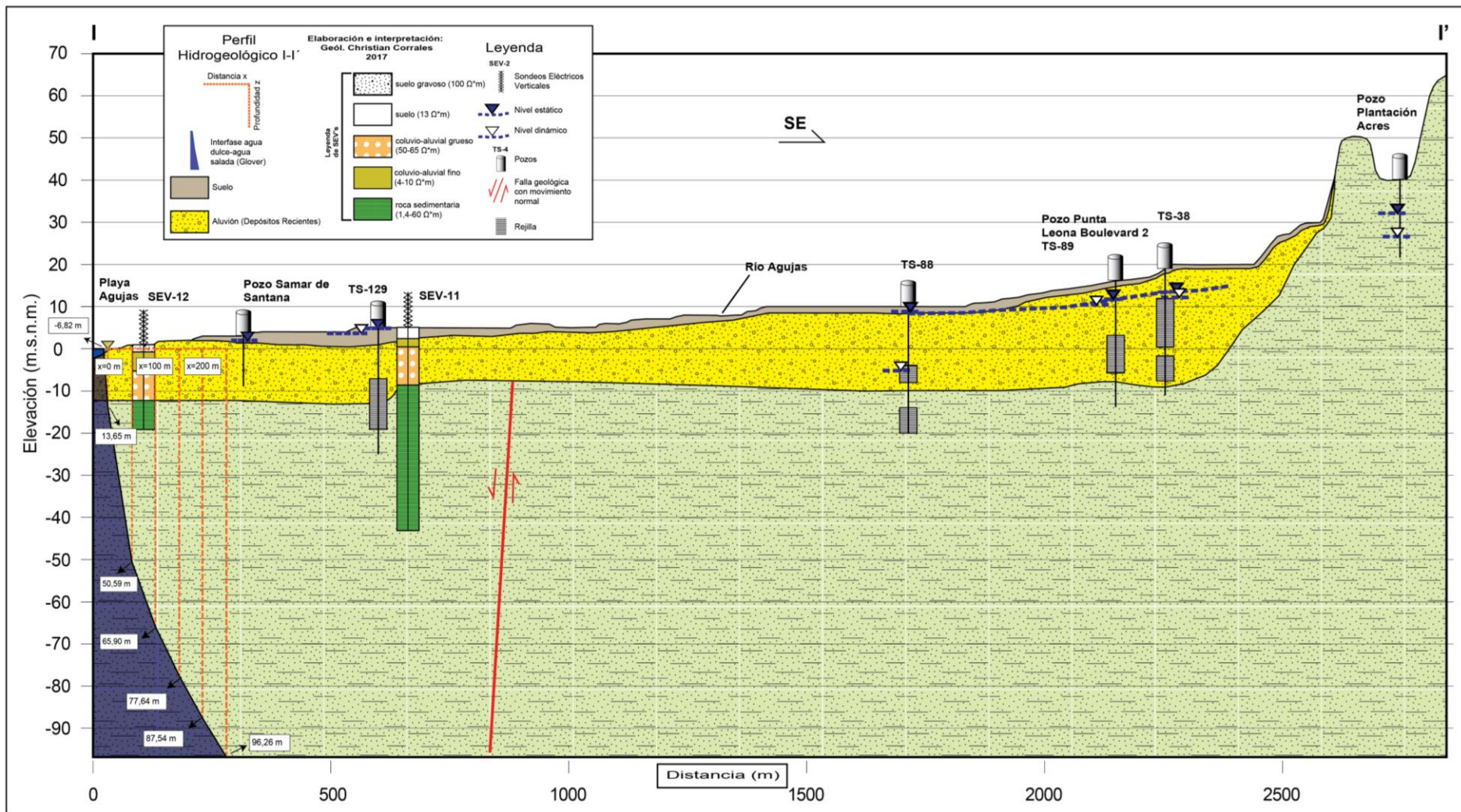


Figura 64: Perfil Hidrogeológico I-I'

## 6.4 Resumen de parámetros hidráulicos de los acuíferos

Se presenta a continuación un resumen de los parámetros hidráulicos descritos anteriormente para cada una de las cuatro unidades hidrogeológicas, estos parámetros son el espesor, la transmisividad y la conductividad hidráulica, a partir de la información suministrada de las bases de datos del SENARA y del AyA, la elaboración de perfiles hidrogeológicos y el análisis de las pruebas de bombeo (ANEXO 10) adjuntas en los informes de cada pozo. A continuación se presenta en el Cuadro 26 un resumen de los parámetros hidráulicos:

Cuadro 26: Resumen de parámetros hidráulicos de los acuíferos

Acuífero	Sector	Espesor (m)	Pozo	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	Conductividad Hidráulica (m/d)
Unidad de Depósitos Recientes	Queb. Chiquero	20	TS-89	277	13,8
	Queb. Chiquero	23			
	Quebrada Ganado	17,5			
	Playa Mantas	14			
	Playa Agujas	12			
Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	SE de Playa Mantas	130	TS-124	1,22	$9,39 \times 10^{-3}$
	Queb. Chiquero	130	TS-111	0,42	$3,23 \times 10^{-3}$
	Playa Pita	220	TS-94	6,81	$3,10 \times 10^{-2}$
	SE de Playa Mantas	130	TS-85	2,75	$2,11 \times 10^{-2}$
	Quebrada Ganado	48			
Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	Punta Sucia	143,9 y 200	TS-156 y TS-44	0,648 y 22,9	$4,50 \times 10^{-3}$ y $1,14 \times 10^{-1}$
	Playa Caletas	240	TS-96	13,7	$5,70 \times 10^{-2}$
	Playa Mantas	62			
	Queb. Chiquero	178			
	Cuesta Chiquero	220,3	TS-128	0,159	$7,24 \times 10^{-4}$
Unidad de Basaltos Agujitas	Quebrada Ganado	150	Pozo 2 QG Castaña	195	1,3
	Cuesta Chiquero	230			

El dato de transmisividad y el de conductividad hidráulica se obtuvieron analizando las pruebas de bombeo de 10 pozos, de los cuales 4 se encuentran captando la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, otros 4 captan la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, uno capta Unidad de Basaltos Agujitas y otro la Unidad de Depósitos Recientes, utilizando el software Aquifer Test 2011.1; todas las 10 pruebas de bombeo se analizaron mediante la técnica de Neuman la cual se aplica a pozos que se encuentren en acuífero libres.

## 6.5 Cálculo de la extracción y la disponibilidad hídrica de los acuíferos

Para el cálculo de las descargas que registran los acuíferos en la zona de estudio se realizaron dos cálculos, el primero utilizando la metodología de cálculo de celda por medio de la ecuación de Darcy (Custodio & Llamas, 1983):

$$Q:T*i*L$$

Donde:

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

T: Transmisividad (m<sup>2</sup>/d).

i: Gradiente hidráulico.

L: Longitud del ancho de la celda, en este caso la Longitud de línea de costa (m).

De esta forma se obtuvo el caudal de salida natural a través de las cinco playas de la zona de estudio (Cuadro 27), cuatro de estas son las playas Caletas, Mantas, Agujas y Pita, todas ubicadas dentro de la Unidad de Depósitos Recientes, y se determinó incluir la playa rocosa de Playa Blanca ya que durante el cartografiado geológico se observaron varios puntos de descarga natural del acuífero hacia el mar, este tramo cae dentro de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (Figura 65).

Cuadro 27: Cuantificación de descarga al mar

Sector	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	Longitud de línea de costa (m)	Gradiente hidráulico	Caudal de descarga (m <sup>3</sup> /d)	Caudal de descarga (L/s)
Playa Caletas	277	250,32	0,020	1386,78	16,05
Playa Blanca	9,85	1315,72	0,019	246,24	2,85
Playa Mantas	277	519,53	0,020	2878,18	33,31
Playa Agujas	277	688,98	0,017	3244,40	37,55
Playa Pita	277	615,84	0,030	5117,65	59,23
<b>Total</b>				<b>12873,25</b>	<b>149,00</b>

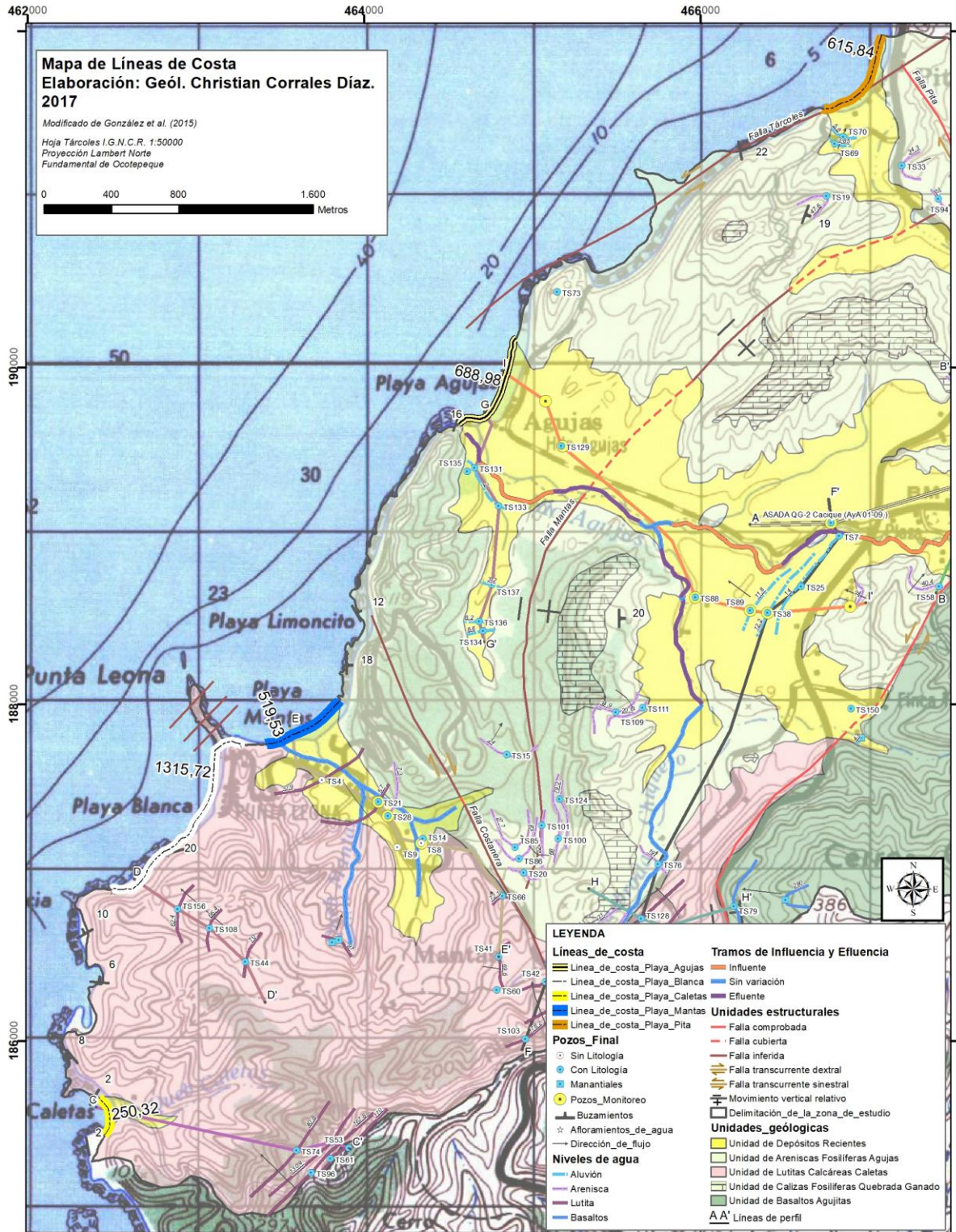


Figura 65: Mapa de líneas de costa

Posteriormente se procedió a determinar la extracción mediante pozos, captaciones de ríos y/o quebradas y nacientes, la cual se cuantifica a través de los registros de concesiones que se encuentran en la base de datos de la Dirección de Agua del MINAE a la fecha del 14 de Mayo del 2017 tal y como se observa en el ANEXO 11, de los cuales varios no poseían valor de caudal de extracción, por lo que se hizo una correlación con la de los pozos del SENARA (ANEXO 12) para así definir un caudal de extracción ya que en varios casos se trataban de concesiones de pozos que aparecían como canceladas o archivadas y mediante el monitoreo de niveles se ha corroborado que actualmente operan, además se aplicó el régimen de bombeo respectivo para cada concesión dependiendo el tipo de uso que le fue asignada, obteniéndose así un caudal en m<sup>3</sup>/año para cada concesión (ANEXO 12), y además se cuantificó el caudal total por Uso tanto en m<sup>3</sup>/año como en L/s tal. La extracción total tanto de pozos como de nacientes y quebradas se resume en el Cuadro 28, en donde la mayor parte de la extracción se da por abastecimiento público; la extracción total es de 87,84 L/s.

Cuadro 28: Concesiones de la Dirección de Agua MINAE

Uso	Régimen (Horas/Día)	Bombeo (Meses)	Número de Concesiones	Caudal por Uso (m3/año)	Caudal por Uso (L/s)
Abast. Público	24	12	14	1.696.531,68	53,79
C. Humano-Doméstico	8	12	15	143.488,80	4,55
Varios	12	12	3	94.134,96	2,98
Sin especificar	12	12	60	836.177,04	26,51
Fuente: Dirección de Agua		Total	92	2.770.332,48	87,84

Finalmente en el Cuadro 29 se observa el cálculo del balance del agua dentro de los acuíferos de la zona de estudio, en donde el total de las descargas es de 236,83 L/s, lo cual equivale a un 35,6 % del total de la recarga potencial por infiltración, es decir que actualmente se cuenta con un 64,4 % del volumen de almacenamiento total del acuífero, esto quiere decir que al acuífero no está sobreexplotado.

Cuadro 29: Volumen de almacenamiento disponible en la zona de estudio

Entradas	Salidas	
Volumen de recarga potencial por infiltración (L/s)	Caudal de extracción por concesión (L/s)	Descarga natural al mar (L/s)
665,04	87,84	149,00
<b>Volumen de almacenamiento disponible en la zona de estudio</b>		<b>428,21</b>

## 7 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA

En este capítulo se muestran los resultados de 7 pozos perforados (Figura 66) donde se tomaron las muestras para análisis físico-químicos, las cuales fueron tomadas en compañía del laboratorio Nacional de Aguas-AyA (ANEXO 13), el día 9 de junio del 2017. Actualmente estos pozos son usados para consumo poblacional y turístico.

A partir de este muestreo se procedió a utilizar el diagrama de Piper, con el objetivo de clasificar el agua a partir de los iones dominantes.

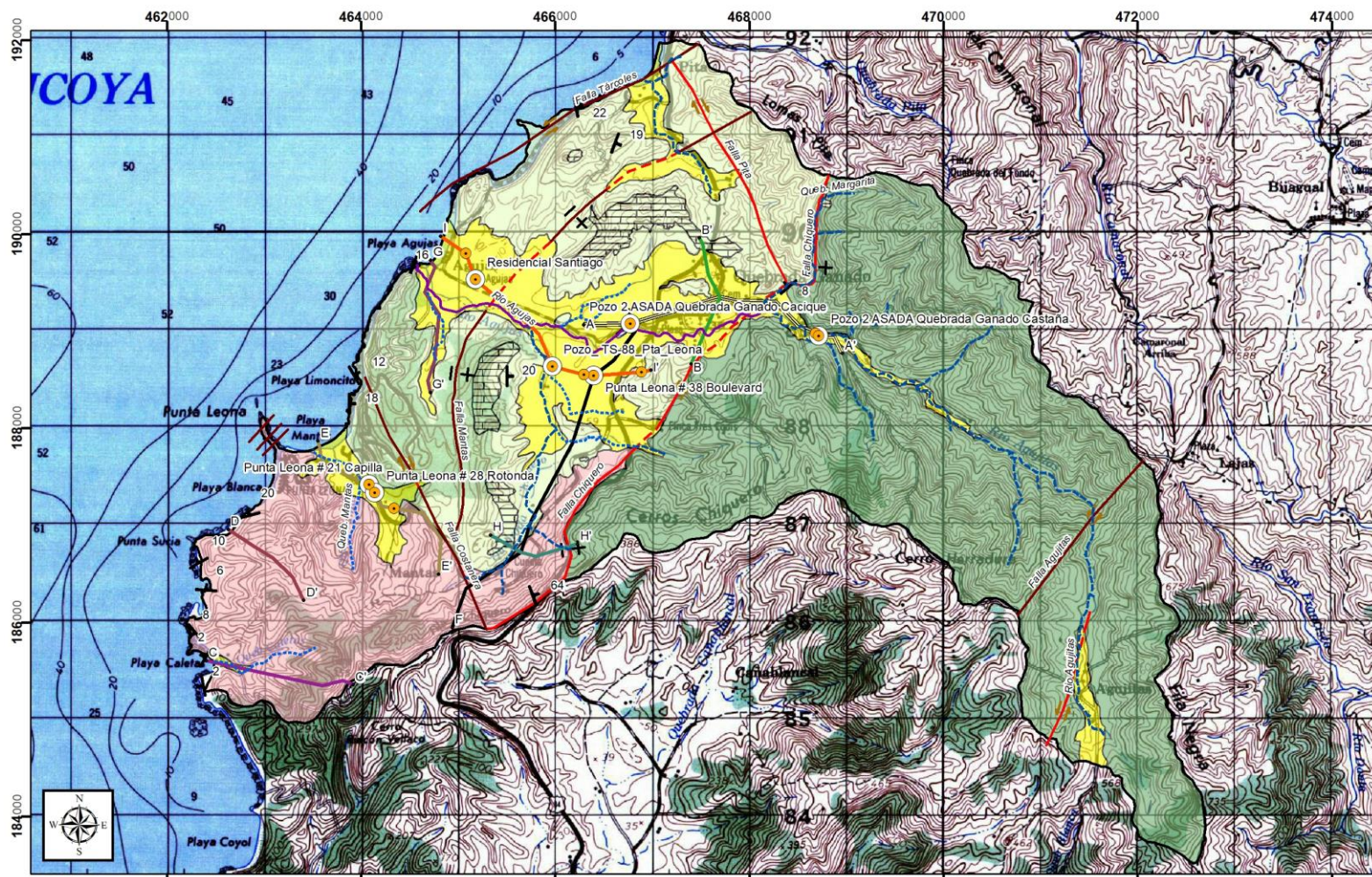
Para todos los pozos de la red de muestreo (7 pozos) se les realizó además mediciones con el equipo multiparámetros marca Oakton del Laboratorio Nacional de Aguas, con el cual se registraron mediciones de Conductividad y pH, en el Cuadro 30 se observan los datos de conductividad, mientras que en el Cuadro 31 se observan los datos de pH. Para el Pozo 2 Boulevard Pta Leona sólo se registró un dato por lo que se excluyó del análisis.

Según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S, los valores de conductividad eléctrica aceptables no deben superar los 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo que se observa en la Figura 67 que el Pozo Residencial Santiago Playa Agujas ronda ese valor permitido, específicamente con el dato del 9 de Junio 2017 (407  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Mientras que los pozos ASADA Queb. Ganado Castaña 1 y 2 y ASADA Queb. Ganado Cacique registraron los valores más bajos de conductividad (entre 321 y 199  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Se observa además un ascenso importante de la Conductividad entre Mayo 2016 y Agosto 2017 (Figura 67) para todos los 8 pozos analizados, el ascenso más importante lo registraron los pozos Pozo TS-38 Pta Leona Boulevard con 126  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique con 106  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el Pozo Resd Santiago Playa Agujas (Saquero) con 97  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cabe indicar que los tres pozos se encuentran en el acuífero de aluvial del sector de Playa Agujas, mientras que los 3 pozos ubicados en los acuíferos sedimentarios del sector de Playa Mantas también mostraron un aumento en la conductividad eléctrica pero menor a los ascensos de los otros pozos, por ejemplo el Pozo 21 Pta Leona Capilla con un aumento de 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el Pozo 28 Pta Leona Rotonda con 85  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y el Pozo 8 Pta Leona Barlovento con 69  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En cuanto al parámetro de pH se observa en Figura 68 que los pozos 21 Pta Leona Capilla, 28 Pta Leona Rotonda y 8 Pta Leona Barlovento registraron los valores más bajos, entre 6,17 y 6,29 específicamente; todos dentro del rango permitido el cual se estableció entre 6 y 8 según el reglamento.

Contrario a lo registrado en la variación de la Conductividad, el pH de los 8 pozos analizados mostraron un descenso entre Mayo 2016 y Agosto 2017 (Figura 68), de los cuales el Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique registró el mayor descenso con 0,63 (Figura 68).



**Mapa de Red de Muestreo  
(Análisis físico-químico)  
Playas Mantas-Agujas  
Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
2017**

Modificado de González et al. (2015)

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
Proyección Ocotepaque Lambert Norte  
Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

- Pozos\_Monitoreo
- Red de muestreo (Análisis físico-químico)
- A A' Líneas de perfil

**Red Hídrica Aguja-Mantas Unidades estructurales**

- Quebradas
- Quebradas intermitentes
- Ríos principales
- Buzamientos
- Falla comprobada
- Falla cubierta
- Falla inferida
- Falla transcurrente dextral
- Falla transcurrente sinistral
- Movimiento vertical relativo
- Delimitación\_de\_la\_zona\_de\_estudio

**Unidades geológicas**

- Unidad de Depósitos Recientes
- Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas
- Unidad de Lutitas Calcareas Caletas
- Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado
- Unidad de Basaltos Agujitas

0 250 500 1.000  
Metros

Figura 66: Mapa de la red de muestreo

Cuadro 30: Valores de Conductividad Eléctrica de la red de muestro

Nombre de Pozo	X	Y	23/05/2016	27/03/2017	09/06/2017	22/08/2017
			Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )
Pozo 21 Pta Leona Capilla	464086	187420	246	284	348	325
Pozo 28 Pta Leona Rotonda	464142	187337	258	290	369	343
Pozo 8 Pta Leona Barlovento	464343	187173	233	s.d.	s.d.	302
Pozo TS-38 Pta Leona Boulevard	466399	188544	239	s.d.	361	365
Pozo 2 Boulevard Pta Leona	466296	188556	s.d.	269	s.d.	s.d.
Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña	468685	188977	199	s.d.	s.d.	292
Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique	466777	189077	215	234	299	321
Pozo Resd Santiago Playa Agujas (Saquero)	465181	189533	287	320	407	384
Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Castaña (Mamón)	468719	188953	200	238	291	290
Datos tomados en campo						
Datos de Laboratorio						

Cuadro 31: Valores de pH de la red de muestro

Nombre de Pozo	X	Y	23/05/2016	27/03/2017	09/06/2017	22/08/2017
			pH	pH	pH	pH
Pozo 21 Pta Leona Capilla	464086	187420	6,46	6,4	6,45	6,17
Pozo 28 Pta Leona Rotonda	464142	187337	6,55	6,59	6,55	6,29
Pozo 8 Pta Leona Barlovento	464343	187173	6,35	s.d.	s.d.	6,32
Pozo TS-38 Pta Leona Boulevard	466399	188544	6,61	s.d.	6,61	6,4
Pozo 2 Boulevard Pta Leona	466296	188556	s.d.	7,44	s.d.	s.d.
Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña	468685	188977	7,06	s.d.	s.d.	7,26
Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique	466777	189077	7,28	6,91	6,86	6,65
Pozo Resd Santiago Playa Agujas (Saquero)	465181	189533	7,1	7,02	7,15	6,86
Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Castaña (Mamón)	468719	188953	7,14	6,99	7,21	s.d.
Datos tomados en campo						
Datos de Laboratorio						

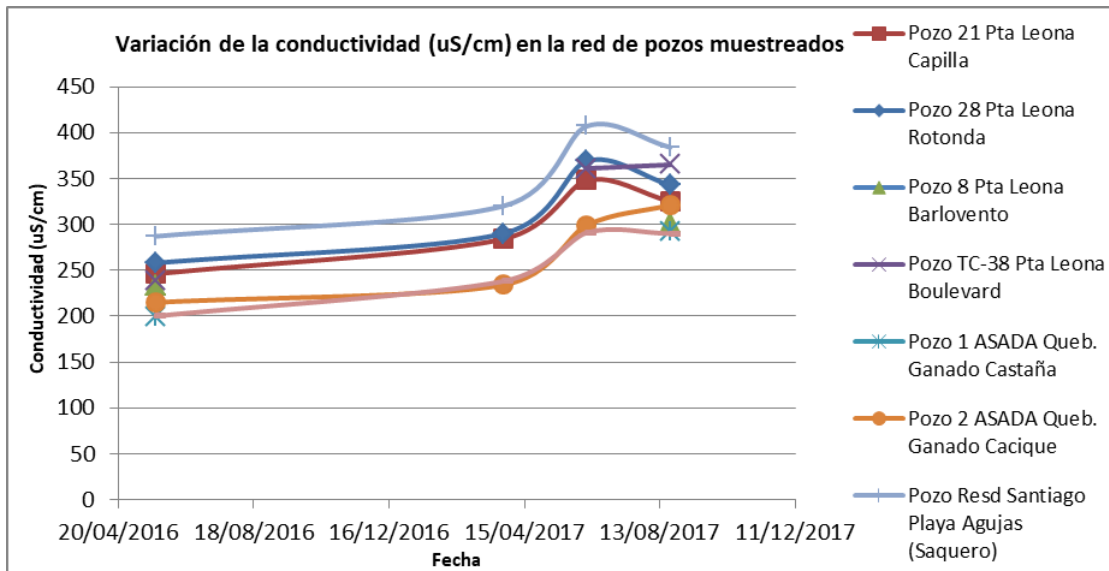


Figura 67: Variación de la conductividad (µS/cm)

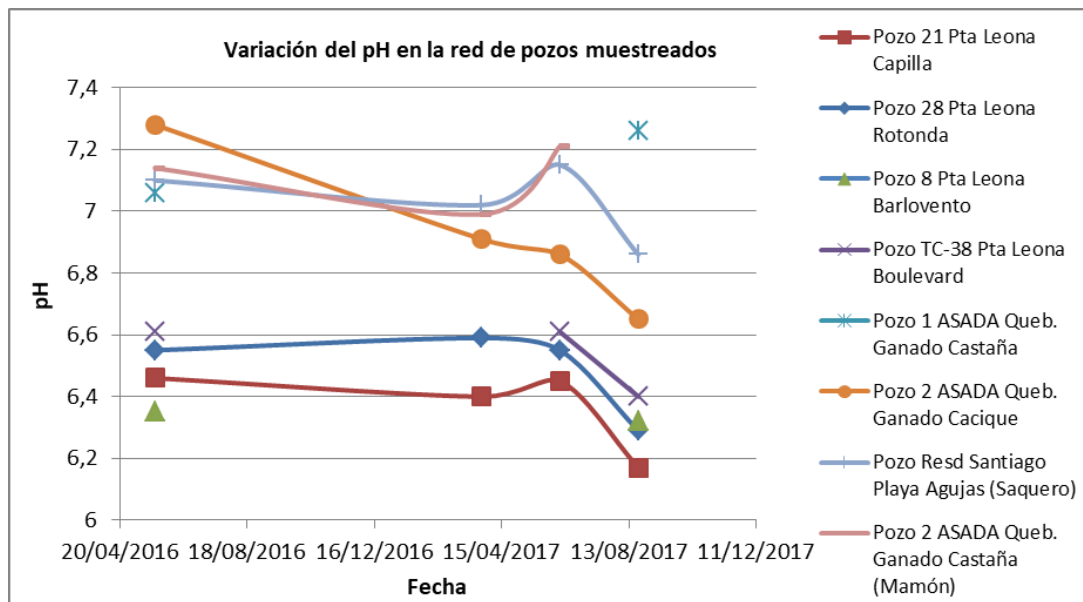


Figura 68: Variación del pH

Para clasificar el tipo de agua según sus características químicas se realizó un balance iónico entre los aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  +  $\text{NO}_3^-$ ), y los cationes mayores ( $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) de cada una de las 7 muestras, en donde primeramente se calcula el miliequivalente total (meq) de cada uno de los iones por medio de su peso molecular representado en gramos y su carga eléctrica, posterior a esto se suman los miliequivalentes de todos los aniones y de todos los cationes para así obtener el porcentaje de Error de Balance de carga, los cuales se muestran en el ANEXO 14.

El porcentaje de error se calcula mediante la ecuación (Freeze & Cherry, 1979):

$$\text{Error \%} = \frac{\sum z \times mc - \sum z \times ma}{\sum z \times mc + \sum z \times ma} * 100$$

En donde:

z = carga del ión

mc = molaridad de un catión ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ )

ma = molaridad de un anión ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ )

En el Cuadro 32 se puede observar que el porcentaje de error oscila entre 2,15 y 4,23 por lo que se encuentran dentro de un rango considerando un límite aceptable del 5% (Freeze & Cherry, 1979). Se procede a eliminar las muestras del Pozo Quebrada Ganado Residencial Santiago y Pozo 38 del Hotel Punta Leona, donde los porcentajes de error fueron 26,35 y 15,15 respectivamente.

Utilizando el software AquaChem 2011.1 se plotearon en el diagrama de Piper los resultados en mg/L de los 5 pozos muestreados, para este análisis se ingresan en el software los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ , y los aniones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , para posicionarse en el diagrama de Piper tal como se observa en la Figura 69, y así finalmente clasificar hidrogeoquímicamente los diferentes tipos de agua, en el Cuadro 33 se indican los dos tipos de agua obtenidas, así como el tipo de roca.

Según la clasificación obtenida con el diagrama de Piper (Cuadro 33) solamente las muestras de los pozos Hotel Pozo 21 y Hotel Pozo 28 ubicados en el sector de Playa Mantas se caracterizaron como Bicarbonatada cálcico-sódica, dichos pozos se encuentran captando la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (Hotel Pozo 21) y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas (Hotel Pozo 28), mientras que las muestras de los demás pozos que se encuentran captando la Unidad de Depósitos Recientes y la Unidad de Basaltos Agujitas se caracterizaron como Bicarbonatada cálcico-magnésica (Figura 69).

Cuadro 32: Determinación % Error

Código LNA	Muestra	Pozo	Fecha	pH	Temperatura	Conductividad	Cl (meq/L)	SO4 (meq/L)	NO3 (meq/L)	HCO3 (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	% de Error
AyA-ID-05501-2017	M-1	Q Ganado Castaña	09/06/2017	7,21	26,40	291,00	0,07	0,07	0,00	2,67	0,86	0,49	0,43	0,00	4,23
AyA-ID-05502-2017	M-2	Q Ganado Cacique	09/06/2017	6,86	26,80	299,00	0,05	0,05	0,00	2,84	0,88	0,53	0,37	0,00	3,36
AyA-ID-05503-2017	M-3	Q Ganado Res. Santiago	09/06/2017	7,15	26,10	407,00	0,10	0,08	0,13	2,25	1,26	0,74	0,51	0,00	26,35
AyA-ID-05504-2017	M-4	Hotel Pozo 21	09/06/2017	6,45	26,70	348,00	0,16	0,31	0,10	2,43	1,16	0,18	0,77	0,05	2,75
AyA-ID-05505-2017	M-5	Hotel Pozo 28	09/06/2017	6,55	26,50	369,00	0,13	0,29	0,08	2,85	1,26	0,19	0,87	0,06	2,35
AyA-ID-05506-2017	M-6	Hotel Pozo 88	09/06/2017	7,11	27,70	361,00	0,11	0,08	0,11	3,24	1,02	0,65	0,41	0,04	2,15
AyA-ID-05507-2017	M-7	Hotel Pozo 38	09/06/2017	6,61	27,60	361,00	0,11	0,08	0,00	2,49	1,15	0,50	0,41	0,04	15,15

Cuadro 33: Clasificación hidrogeoquímica

Código LNA	Muestra	Pozo	Fecha	Geología	Clasificación Hidrogeoquímica	Clasificación Hidrogeoquímica
AyA-ID-05501-2017	M-1	Pozo Q Ganado Castaña	09/06/17	Basaltos	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcico-magnésica
AyA-ID-05502-2017	M-2	Pozo Q Ganado Cacique	09/06/17	Aluvi3n	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcico-magnésica
AyA-ID-05504-2017	M-4	Hotel Pozo 21	09/06/17	Lutitas	Ca-Na-HCO3	Bicarbonatada cálcico-s3dica
AyA-ID-05505-2017	M-5	Hotel Pozo 28	09/06/17	Arenisca	Ca-Na-HCO3	Bicarbonatada cálcico-s3dica
AyA-ID-05506-2017	M-6	Hotel Pozo 88	09/06/17	Aluvi3n y Arenisca	Ca-Mg-HCO3	Bicarbonatada cálcico-magnésica

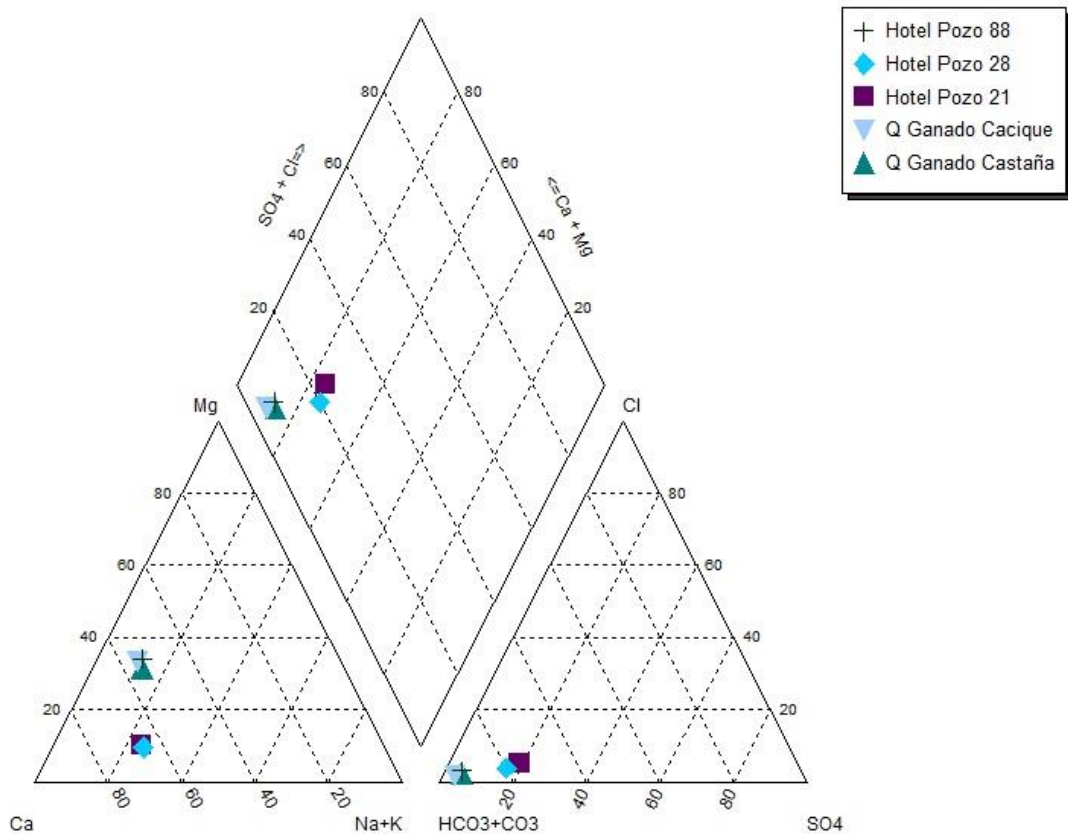


Figura 69: Diagrama de Piper-Red de Muestra

En cuanto a la calidad del agua desde el punto de vista bacteriol3gico, se realiz3 un muestro aparte al muestro para an3lisis f3sico-qu3mico, el cual incluye a todos los pozos mencionados anteriormente excepto el Pozo TS-38 Pta Leona Boulevard, sin embargo se incluye en este muestro el Pozo 2 Boulevard Pta Leona (TS-89); seg3n el an3lisis microbiol3gico del Laboratorio Nacional de Aguas (ANEXO 13) se indica que solamente los pozos: Pozo 1 ASADA Queb. Ganado Castaña, Pozo 2 ASADA Queb. Ganado Cacique, Pozo TS-88 Punta Leona y Pozo 2 Boulevard Pta Leona cumplen con los criterios microbiol3gicos para consumo humano seg3n el reglamento para calidad del agua potable 38924-S.

## 8 EVALUACIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA

Para el cálculo de la intrusión salina se utilizó la metodología de Glover (1959), para esta metodología se calcula la profundidad de la interfase entre el agua salada y el agua dulce, así como la superficie de salida al mar, a diferentes distancias de la costa, utilizando las siguientes fórmulas:

$$z = (Gq_0)/k + [(2Gq_0x/k)]^{1/2}$$

$$x_0 = -Gq_0/2k$$

$$h = [(2q_0x/Gk)]^{1/2}$$

Donde:

$z$  = Profundidad de la interfase bajo el nivel del mar (m).

$x_0$  = Superficie de salida del mar (m).

$h$  = Altura del nivel freático sobre el nivel del mar (m).

$q_0$  = Caudal de agua dulce por unidad de longitud de costa ( $m^3/d/m$ ).

$k$  = Permeabilidad del acuífero (m/d).

$G$  = Relación agua dulce-agua salada.

$x$  = Distancia medida de la costa, a evaluar la profundidad de la interfase (m).

Las líneas de costa (Figura 65) se definieron para cada una de las cuatro playas importantes de la zona de estudio (Playa Caletas-Playa Mantas, Playa Pita, Playa Agujas), además de una quinta playa que conforma los acantilados ubicados al SW de Playa Mantas (Playa Blanca), la cual en el campo se observó una importante descarga de agua hacia el mar, además de que existen varios pozos en la parte alta de esta unidad que se encuentran captando la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. En el cuadro Cuadro 34 se observan los parámetros definidos para cada zona costera evaluada.

Cuadro 34: Parámetros hidrogeológicos-Evaluación según metodología de Glover

Sector	Acuífero	Relación agua dulce-agua salada	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	Longitud de línea de costa (m)	Conductividad Hidráulica (m/d)	Gradiente hidráulico	Caudal de descarga (m <sup>3</sup> /d)	Caudal de descarga $q$ (m <sup>3</sup> /d/m)
Playa Caletas	Unidad de Depósitos Recientes	40	277	250,32	13,80	0,020	1386,78	5,54
Playa Blanca	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	40	9,85	1315,72	0,05	0,019	246,24	0,19
Playa Mantas	Unidad de Depósitos Recientes	40	277	519,53	13,80	0,020	2878,18	5,54
Playa Agujas	Unidad de Depósitos Recientes	40	277	688,98	13,80	0,017	3244,40	4,71
Playa Pita	Unidad de Depósitos Recientes	40	277	615,84	13,80	0,030	5117,65	8,31

Se indica que para las zonas costeras de Playa Mantas y Playa Caletas se emplearon los mismos parámetros, debido a que en ambas playas están constituidas por depósitos aluviales gruesos.

Respecto al análisis efectuado según la metodología de Glover en cada una de las playas (Cuadro 35, Cuadro 36, Cuadro 37 y Cuadro 38), se indica lo siguiente:

- Playa Caletas-Playa Mantas: La ubicación de la cuña de intrusión salina en la línea de costa se considera a una profundidad de 16,06 m. A una distancia de 100 m desde la línea de costa, la profundidad de la interfase z se ubicaría a 72,73 m.b.n.s., con una altura del nivel freático a 1,42 m.s.n.m.
- Playa Pita: La ubicación de la cuña de intrusión salina en la línea de costa se considera a una profundidad de 24,09 m. A una distancia de 100 m desde la línea de costa, la profundidad de la interfase z se ubicaría a 93,49 m.b.n.s., con una altura del nivel freático a 1,74 m.s.n.m.
- Playa Blanca: La ubicación de la cuña de intrusión salina en la línea de costa se considera a una profundidad de 159,28 m. A una distancia de 100 m desde la línea de costa, la profundidad de la interfase z se ubicaría a 337,76 m.b.n.s., con una altura del nivel freático a 4,46 m.s.n.m.
- Playa Agujas: La ubicación de la cuña de intrusión salina en la línea de costa se considera a una profundidad de 13,65 m. A una distancia de 100 m desde la línea de costa el valor de profundidad de la interfase z se ubicaría a 65,90 m.b.n.s., con una altura del nivel freático a 1,31 m.s.n.m.

Cuadro 35: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Caletas

Playa Caletas-Playa Mantas	Distancia x (m)	Profundidad z (m)	h (m)
	-8,03	0,00	0,00
	0,00	16,06	0,00
	50,00	56,13	1,00
	100,00	72,73	1,42
	150,00	85,47	1,74
	200,00	96,20	2,00
	250,00	105,66	2,24
	300,00	114,21	2,45
	350,00	122,08	2,65
	400,00	129,40	2,83
	450,00	136,28	3,01
	500,00	142,78	3,17
	550,00	148,96	3,32
	600,00	154,87	3,47

Cuadro 36: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Pita

Playa Pita	Distancia x (m)	Profundidad z (m)	h (m)
	-12,04	0,00	0,00
	0,00	24,09	0,00
	50,00	73,17	1,23
	100,00	93,49	1,74
	150,00	109,09	2,13
	200,00	122,24	2,45
	250,00	133,83	2,74
	300,00	144,30	3,01
	350,00	153,94	3,25
	400,00	162,90	3,47
	450,00	171,32	3,68
	500,00	179,29	3,88
	550,00	186,86	4,07
	600,00	194,10	4,25

Cuadro 37: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Blanca

Playa Blanca	Distancia x (m)	Profundidad z (m)	h (m)
	-79,64	0,00	0,00
	0,00	159,28	0,00
	50,00	285,48	3,16
	100,00	337,76	4,46
	150,00	377,87	5,46
	200,00	411,69	6,31
	250,00	441,48	7,06
	300,00	468,41	7,73
	350,00	493,18	8,35
	400,00	516,24	8,92
	450,00	537,89	9,47
	500,00	558,37	9,98
	550,00	577,85	10,46
	600,00	596,46	10,93

Cuadro 38: Estimación de profundidad de la interfase-Playa Agujas

Playa Agujas	Distancia x (m)	Profundidad z (m)	h (m)
	-6,82	0,00	0,00
	0,00	13,65	0,00
	50,00	50,59	0,92
	100,00	65,90	1,31
	150,00	77,64	1,60
	200,00	87,54	1,85
	250,00	96,26	2,07
	300,00	104,15	2,26
	350,00	111,40	2,44
	400,00	118,15	2,61
	450,00	124,48	2,77
	500,00	130,48	2,92
	550,00	136,18	3,06
	600,00	141,63	3,20

En cuanto a Playa Mantas, donde se ubican los sondeos SEV #1 y #7, se ha definido que no hay presencia de intrusión salina en las formaciones correspondientes a los Depósitos recientes y en las lutitas calcáreas, como se comprobó en la metodología de Glover en el Cuadro 35.

Respecto a los pozos aprovechados para uso poblacional cercanos a la línea de costa, se indica que los pozos ubicados en esta playa, como lo son el TS-21 (ubicado a 595 m de la línea de costa), TS-28 (ubicado a 695 m de la línea de costa) y TS-8 (ubicado a 948 m de la

línea de costa), presentaron valores de conductividad eléctrica dentro del rango permitido por el reglamento para la calidad del agua potable N° 38924-S.

En referencia a Playa Agujas donde se ubican los sondeos SEV #12 y #13, se ha definido que no existe intrusión salina en las formaciones correspondientes a los Depósitos recientes y a las areniscas fosilíferas, como también ha sido demostrado por medio de la metodología de Glover en el Cuadro 38. Además, se indica que el Pozo Residencial Santiago (ubicado a 465 m de la línea de costa), según el laboratorio Nacional de Aguas, cumple con el Reglamento de calidad de aguas.

## 9 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN SEGÚN METODOLOGÍA GOD

Para determinar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación en la zona de estudio, se procederá a emplear la metodología GOD propuesta por Foster et al. (2002) (Figura 70):

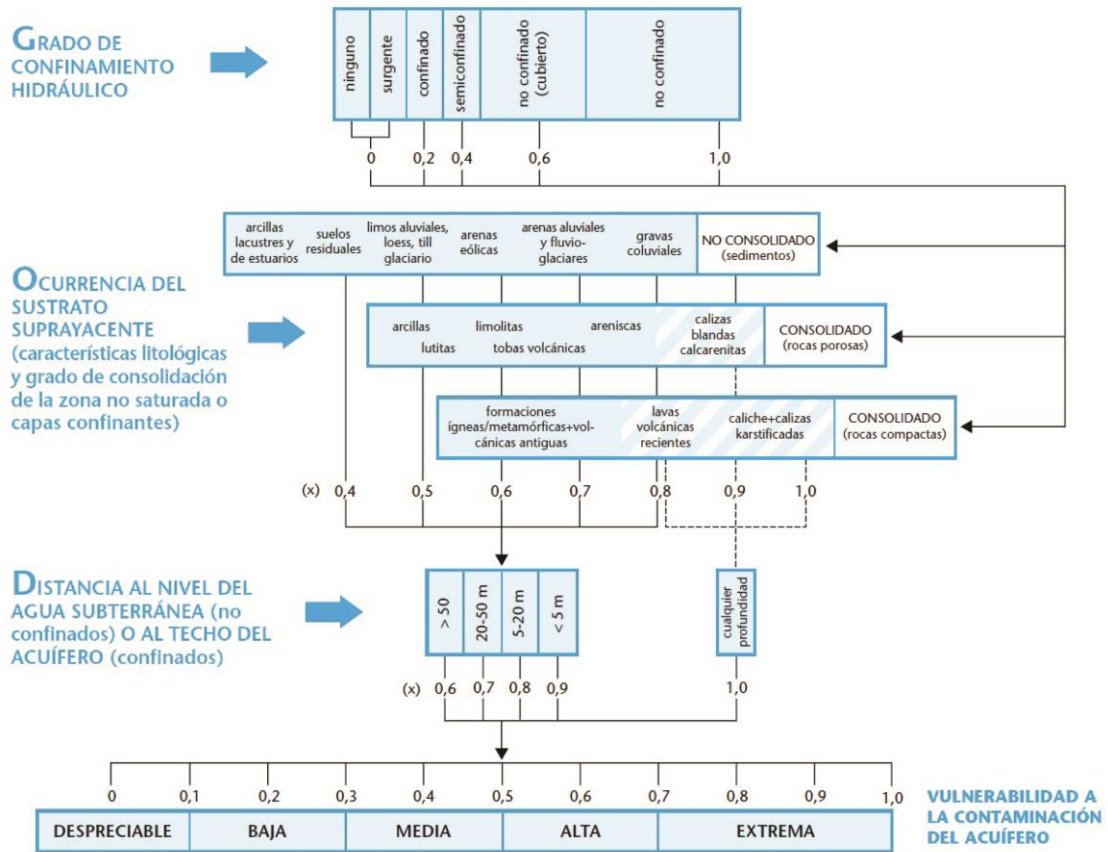


Figura 70: Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos (Tomado de Foster et al., 2002).

Para este estudio los parámetros se consideran de la siguiente manera:

- Parámetro G se tomó en cuenta el modelo hidrogeológico definido a partir de los perfiles hidrogeológicos.
- Parámetro O se tomaron en cuenta las litologías que se encontraran en la zona no saturada basándose en los perfiles hidrogeológicos.
- Parámetro D se tomaron en cuenta los niveles de agua de pozos que se encontraran captando cada una de las unidades litológicas.

Para la zona de estudio se procederá a realizar esta valoración a partir de las Subunidades Geológicas de Recarga de la zona de estudio (Cuadro 39).

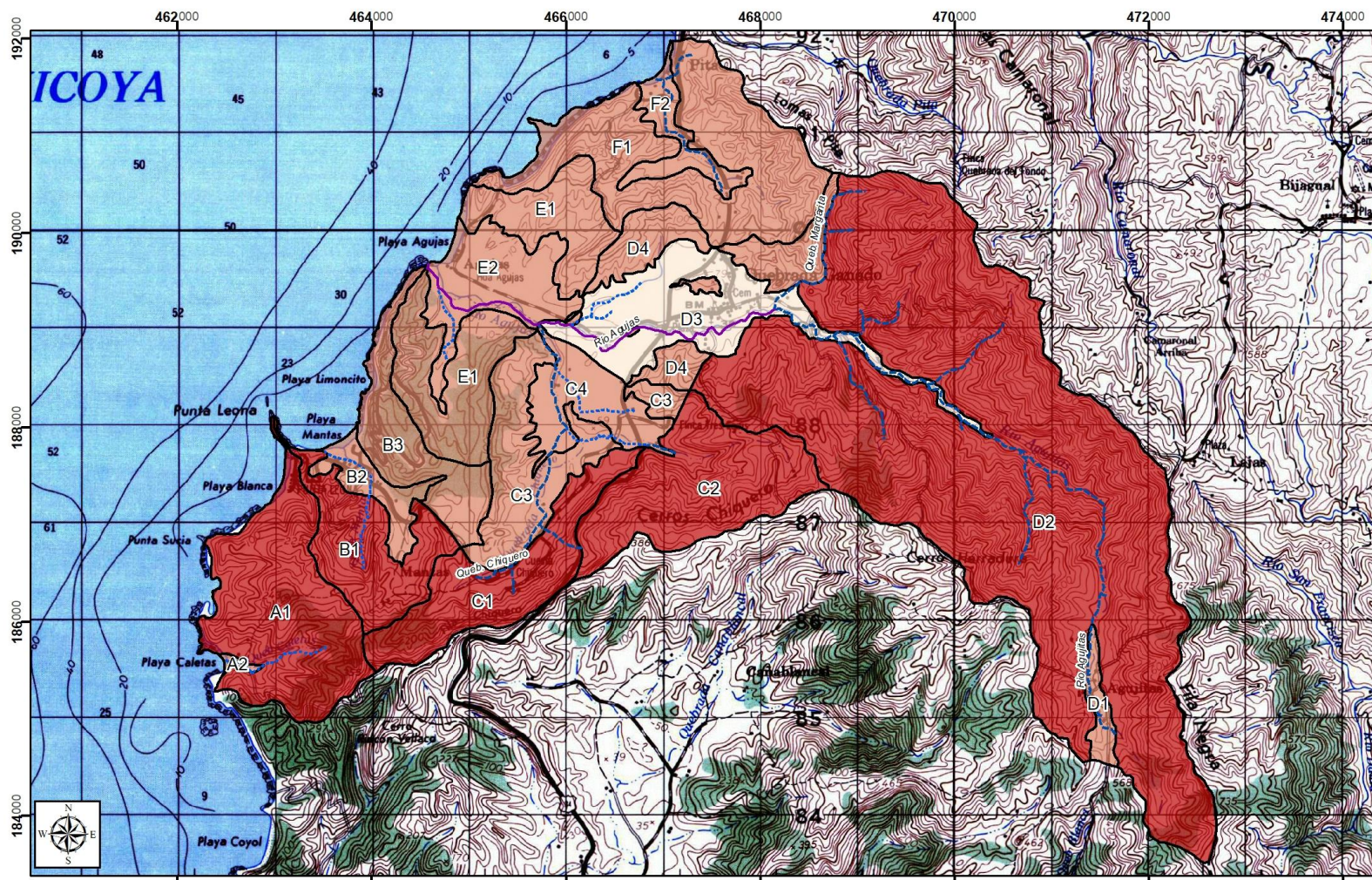
Cuadro 39: Índices de vulnerabilidad GOD

Subunidades Geológicas de Recarga	Unidades Geológicas	Grado de Confinamiento	Ocurrencia del sustrato	Distancia al nivel	GOD	Clasificación
A2	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,80	0,90	0,648	Alta
D1	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,80	0,90	0,648	Alta
C2	Unidad de Basaltos Agujitas	1,00	0,60	1,00	0,600	Alta
D2	Unidad de Basaltos Agujitas	1,00	0,60	1,00	0,600	Alta
B3	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	0,90	0,75	0,80	0,540	Alta
C3	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	0,90	0,75	0,80	0,540	Alta
D4	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	0,90	0,75	0,80	0,540	Alta
E1	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	0,90	0,75	0,80	0,540	Alta
F1	Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas	0,90	0,75	0,80	0,540	Alta
B2	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,50	0,90	0,405	Media
C4	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,50	0,85	0,383	Media
E2	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,50	0,85	0,383	Media
F2	Unidad de Depósitos Recientes	0,90	0,50	0,85	0,383	Media
C1	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	1,00	0,50	0,75	0,375	Media
D3	Unidad de Depósitos Recientes	0,70	0,55	0,85	0,327	Media
A1	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	1,00	0,50	0,65	0,325	Media
B1	Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas	1,00	0,50	0,65	0,325	Media

Utilizando la herramienta de álgebra de mapas con el software ArcGIS 10.1 a partir de la multiplicación de los 3 mapas insumos los cuales serían el de Grado de Confinamiento (Figura 71), el de Ocurrencia del Sustrato Suprayacente (Figura 72) y el de Distancia al Nivel del Agua Subterránea (Figura 73), es posible obtener el Mapa de Vulnerabilidad del Acuífero a la Contaminación (Figura 74).

En la Figura 74, se observa la clasificación de los grados de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad alta: Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas (subunidades B3, C3, D4, E1 y F1), Unidad Basaltos Agujitas (Subunidades C2 y D2) y la Unidad de Depósitos Recientes (A2 y D1).
- Vulnerabilidad media: Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (subunidades A1, B1 y C1), y la Unidad de Depósitos Recientes (subunidades D3, C4, E2, F2 y B2).



**Mapa de Grado de Confinamiento (G)**  
**Playa Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G. N.C.R. 1:50000  
 Proyección Ocotepaque Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

**Red Hídrica Agujas-Mantas**

--- Quebradas

--- Quebradas intermitentes

--- Rios principales

□ Subunidades Geológicas de Recarga

**Grado de Confinamiento (G)**

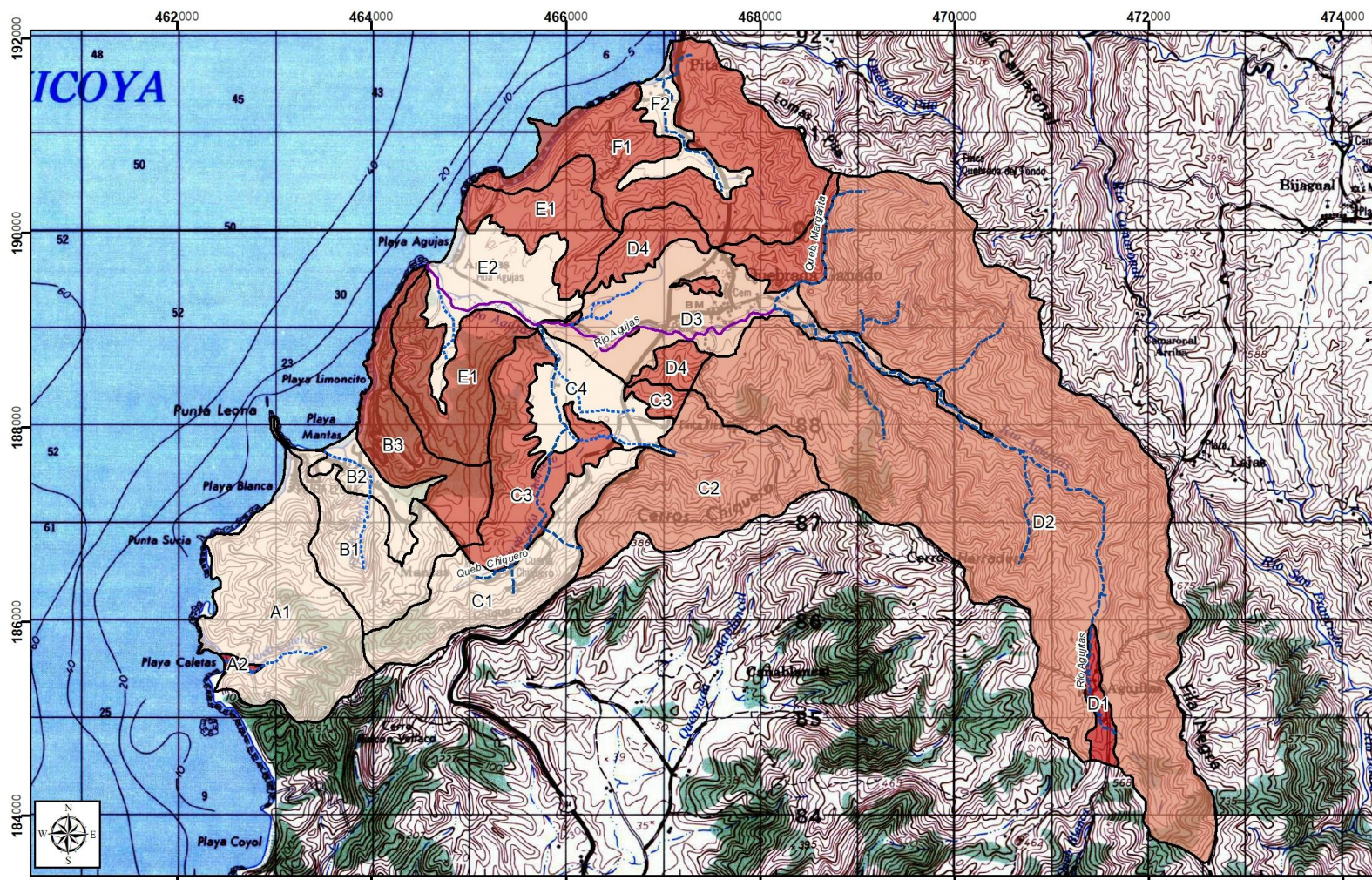
0,7

0,9

1

0 250 500 1.000  
 Metros

Figura 71: Mapa de Vulnerabilidad – Grado de Confinamiento



**Mapa de Ocurrencia del Sustrato Suprayacente (O)**  
**Playa Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G. N.C.R. 1:50000  
 Proyección Ocotepaque Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

**Red Hídrica Agujas-Mantas**

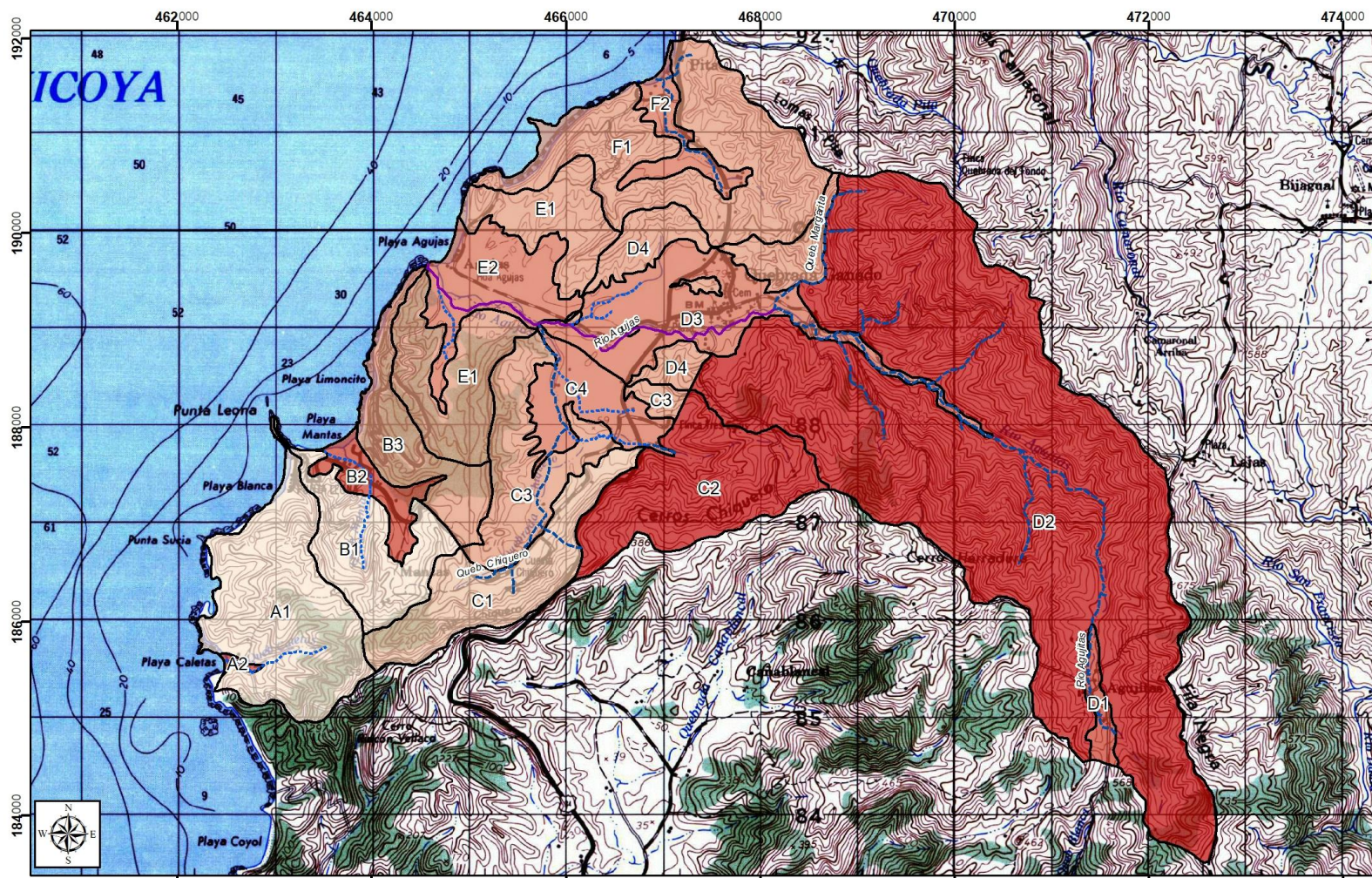
- Quebradas
- Quebradas intermitentes
- Ríos principales
- Subunidades Geológicas de Recarga

**Ocurrencia del Sustrato Suprayacente (O)**

- 0,5
- 0,55
- 0,6
- 0,75
- 0,8

0 250 500 1.000  
 Metros

Figura 72: Mapa de Vulnerabilidad – Ocurrencia del Sustrato



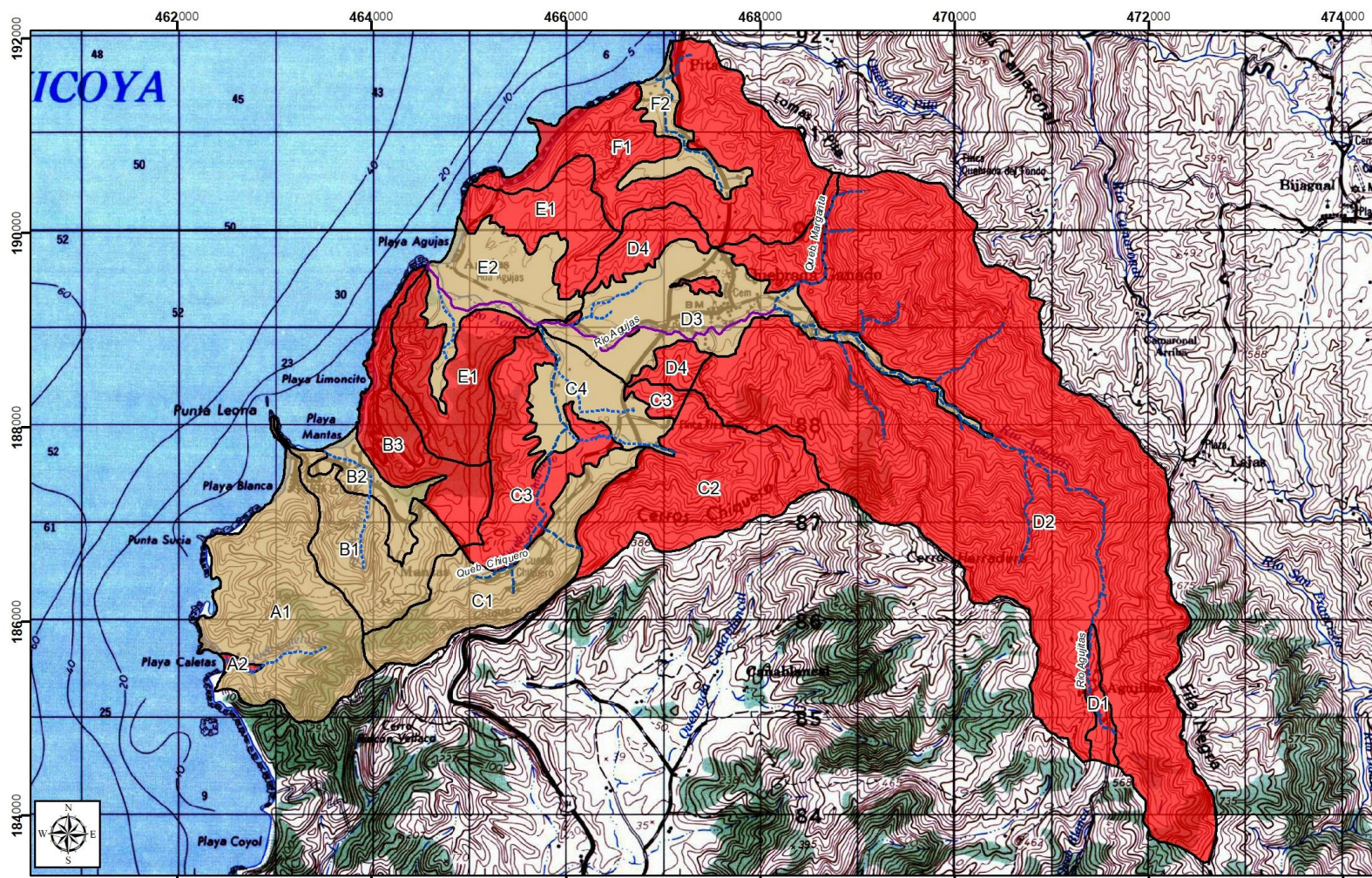
**Mapa de Distancia al Nivel del Agua Subterránea (D)**  
**Playa Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

Red Hídrica Agujas-Mantas	Distancia al Nivel del Agua Subterránea (D) 0,65	0 250 500 1.000 Metros
Quebradas	0,75	
Quebradas intermitentes	0,8	
Rios principales	0,85	
Subunidades Geológicas de Recarga	0,9	
	1	

Figura 73: Mapa de Vulnerabilidad – Distancia del Nivel del Agua Subterránea



**Mapa de Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero GOD**  
**Playa Mantas-Agujas**  
 Elaboración: Geól. Christian Corrales Díaz  
 2017

Hoja Tárcoles I.G.N.C.R. 1:50000  
 Proyección Lambert Norte  
 Fundamental de Ocotepaque

**LEYENDA**

**Red Hídrica Agujas-Mantas**

- Quebradas
- - - - Quebradas intermitentes
- Ríos principales
- Subunidades Geológicas de Recarga

**GOD**

**Tipo de Vulnerabilidad**

- Vulnerabilidad Alta (0,540-0,648)
- Vulnerabilidad Media (0,325-0,405)

0 250 500 1.000  
 Metros

Figura 74: Mapa de Vulnerabilidad (GOD)

## 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El área de estudio se conforma por un basamento de rocas basálticas correspondientes con la Unidad de Basaltos Agujitas, los cuales se encuentran sobreyacidos por rocas sedimentarias de granulometría variable que a su vez se agrupan en dos unidades, la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, y de manera discordante estas dos unidades se encuentran sobreyacidas por calizas fosilíferas color salmón de la Unidad de Calizas Fosilíferas Quebrada Ganado, y por último se encuentran cubriendo la Unidad de Depósito Recientes.
2. En la zona de estudio se da la presencia de varios sistemas de fallas, entre ellas las Fallas Chiquero, Mantas, Pita, Agujitas, Tárcoles y Costanera; además se presentan dos tendencias principales de buzamiento a lo largo de la línea de costa, una de ellas entre el sector Oeste de Playa Mantas y Playa Caletas en donde se presentan tendencias de buzamiento con direcciones entre NW y Nf en los estratos de la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas con buzamientos entre 2° y 20°. Mientras que entre el sector Este de Playa Mantas y Playa Pita, la tendencia de buzamiento varía entre NE y SE con buzamientos entre 12° y 22° aproximadamente en los estratos de la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas.
3. En la zona de estudio la precipitación promedio anual es de 2479,57 mm/año según la estación meteorológica Punta Leona del I.M.N. con un período de registro de 1990 al 2014, en donde el período seco se presenta entre los meses de Diciembre y Marzo con promedios mensuales entre 63,22 y 13,77 mm respectivamente, mientras que el período lluvioso se extiende entre los meses de Abril y Noviembre con promedios mensuales entre 91,57 mm y 220,85 mm, en donde la precipitación máxima es de 484,2 mm para el mes de Octubre.
4. La evapotranspiración potencial (ETP) se obtuvo empleando la metodología de Hargreaves (1981) a partir de los datos de la estación meteorológica Damas del I.M.N, en donde se determinó que el mes con mayor evapotranspiración es el de Marzo con 163,73 mm, mientras que Noviembre posee el menor valor con 117,26 mm.
5. A partir de los aforos se detectaron sectores donde se registraron ascensos en el caudal indicando un aporte de agua del acuífero hacia el río, como se determinó en la parte alta del río Agujas, en donde existe un aporte lateral de los basaltos hacia este río con un caudal de 48,21 L/s entre los puntos R.A.#1 y R.A.#32. Para la parte media y baja del Río Agujas se registró un aporte total de los depósitos aluviales hacia el río de 24,36 L/s, y dentro de este sector se registraron en varios tramos un comportamiento influente en donde el río aportó hacia el acuífero un caudal de 126,36 L/s, mientras que en otro tramos se registró un aporte de caudal de 150,72 L/s del acuífero hacia el río. En cuanto a la Quebrada Chiquero en el sector constituido por depósitos aluviales se registró un aporte del acuífero hacia el río de 29,08 L/s, mientras que para el sector compuesto por areniscas no se registraron mediciones de caudal, de la misma forma no se registraron mediciones de caudal para los depósitos aluviales de la Quebrada Mantas. Un aporte importante de los tramos con comportamiento efluente en el río fue que a partir de estos se definieron curvas isofreáticas para el acuífero de la Unidad de Basaltos Agujitas en sectores donde no se identificaron pozos.

6. Para la delimitación de las zonas de recarga se procedió a delimitar las diferentes subcuencas que hay en cada una de las cuatro unidades geológicas, definiéndose así un total 17 zonas, a las cuales se les denominó como “Subunidades Geológicas de Recarga”, con el fin de evaluar de forma más detallada la recarga potencial y el volumen de recarga de cada una de ellas.
7. A partir de las pruebas de infiltración se calcularon las infiltraciones básicas para cada una de las 17 Subunidades Geológicas de Recarga, obteniéndose los valores más altos para las subunidades A2, C1, B2, y D1, las cuales se encuentran conformadas por depósitos aluviales (B2, A2 y D1) y por lutitas (C1); mientras que las infiltración básicas más bajas se registraron en las Subunidades F1, F2, B1 y C4, las cuales se encuentran conformadas por areniscas (F1 y F2), además de lutitas (B1) y depósitos aluviales (C4).
8. Respecto al uso del suelo, a partir de imágenes satelitales de Google Earth (2007 CNES/Airbus) se determinaron cinco diferentes tipos de cobertura los cuales fueron:
  - Terrenos cultivados, con un área de 0,12 km<sup>2</sup>.
  - Pastizal, con un área de 6,36 km<sup>2</sup>.
  - Bosque, con un área de 28,44 km<sup>2</sup>.
  - Zacate con más del 75%, con un área de 0,01 km<sup>2</sup>.
  - Zonas sin cobertura (áreas urbanas), con un área de 3,26 km<sup>2</sup>.
9. Para el cálculo de la recarga potencial se determinaron los siguientes valores clasificados por unidad geológica:
  - La Unidad de Areniscas Fosilíferas, con un valor de recarga potencial promedio de 2.871,7366 mm/año.
  - La Unidad de Depósitos Cuaternarios, con un valor de recarga potencial promedio de 2.473,7589 mm/año.
  - La Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, con un valor de recarga potencial promedio de 1.824,3201 mm/año.
  - La Unidad de Basaltos Agujitas, con un valor de recarga potencial promedio de 1.111,6431 mm/año.
10. Para el cálculo de volumen de recarga se determinaron los siguientes valores clasificados por unidad geológica:
  - La Unidad de Areniscas Fosilíferas, con un valor de volumen de recarga de 184,91 L/s.
  - La Unidad de Depósitos Cuaternarios, con un valor de volumen de recarga de 73,69 L/s.
  - La Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas, con un valor de volumen de recarga de 115,42 L/s.
  - La Unidad de Basaltos Agujitas, con un valor de volumen de recarga de 291,02 L/s.
11. Para toda la zona de estudio la recarga potencial promedio calculada fue de 549,66 mm/año, es decir un 22,17 % de la precipitación promedio anual la cual es de 2.479,57 mm/año.

infiltra promedio fue 1.723,63 mm/año, es decir un 69,51 % del total de la precipitación en la zona.

12. En cuanto a la variación de niveles de agua anual para cada una de las unidades geológicas se indica lo siguiente:

- Para la Unidad de Basaltos Agujitas el nivel del agua desciende entre los meses de Abril y Mayo, mientras que la recarga se registra para los meses de Diciembre.
- Para las unidades de Lutitas Calcáreas Caletas y Areniscas Fosilíferas Agujas el nivel del agua desciende para los meses de Abril, mientras que la recarga se registra para los meses de Octubre.
- Para la Unidad de Depósitos Recientes en el sector de Playa Agujas el nivel del agua desciende para los meses de Abril, mientras que la recarga se registra para los meses de Noviembre. Por otro lado para la parte media de este acuífero el nivel del agua desciende entre los meses de Abril y Mayo, mientras que la recarga se registra para los meses de Setiembre y Octubre.

13. Respecto a las unidades hidrogeológicas se indican los siguientes parámetros hidráulicos:

- Unidad de Basaltos Agujitas: Este acuífero presenta dos niveles importantes de agua, los niveles de agua más someros abarcan varias nacientes ubicadas al este de Quebrada Ganado, mientras que el nivel regional de agua se extiende a lo largo de la parte alta del cauce del Río Agujas; esta unidad recarga de manera lateral hacia la Unidad de Depósitos Recientes y a la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas. Presenta además un valor de transmisividad de 123 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 12,2 y 1 L/s, y con un espesor entre 150 y 230 m.
- Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas: Ubicada en la parte sur y suroeste de la zona de estudio, la cual recarga lateralmente a la Unidad de Depósitos Recientes y a la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas, presenta además valores de transmisividad entre 0,159 y 25,0 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 0,5 y 3 L/s, y con un espesor que varía dependiendo del sector que ronda entre 62 y 240 m.
- Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas: Ubicada en la parte central y norte de la zona de estudio, la cual recarga lateralmente a la Unidad de Depósitos, la cual posee valores de transmisividad que rondan entre 0,42 y 6,81 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 0,32 y 3 L/s, y un espesor entre 48 y 220 m.
- Y por último la Unidad de Depósitos Recientes, la cual se distribuye principalmente entre la parte media y bajas de la Quebrada Chiquero y Río Agujas, y en las playas Pita, Agujas, Mantas y Caletas, y se le calculó un valor de transmisividad de 277 m<sup>2</sup>/d, con caudales de pozos entre 1,5 y 8 L/s, y con espesores que varían entre 12 y 23 m.

14. Para la descarga por extracción de pozos, ríos y/o quebradas, y nacientes, se calculó contabilizando el caudal concesionado en los registros de la base de datos de la Dirección de Agua del MINAE, en donde se obtuvo un caudal de extracción total 2.770.332,48 m<sup>3</sup>/año, es decir unos 87,84 L/s.
15. En cuanto al cálculo del volumen de almacenamiento disponible en la zona de estudio, se procedió a contabilizar los valores de descarga tanto natural como de extracción por concesión, obteniéndose un valor de 236,84 L/s, y a partir del volumen de recarga potencial el cual fue de 665,04 L/s se obtuvo finalmente un valor de caudal disponible de 428,21 L/s, lo cual es un 64,4 % del volumen de almacenamiento total del acuífero.
16. Según la clasificación obtenida con el diagrama de Piper solamente las muestras de los pozos Hotel Pozo 21 y Hotel Pozo 28 ubicados en el sector de Playa Mantas se caracterizaron como Bicarbonatada cálcico-sódica, dichos pozos se encuentran captando la Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (Hotel Pozo 21) y la Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas (Hotel Pozo 28), mientras que las muestras de los demás pozos que se encuentran captando la Unidad de Depósitos Recientes y la Unidad de Basaltos Agujitas se caracterizaron como Bicarbonatada cálcico-magnésica.
17. En cuanto a la evaluación de la intrusión salina mediante la metodología de Glover se indica que en Playa Mantas no hay presencia de intrusión salina en las formaciones correspondientes a los depósitos recientes y a las lutitas calcáreas. De la misma forma se indica que no existe intrusión salina en las formaciones correspondientes a los depósitos recientes y a las areniscas fosilíferas en Playa Agujas.
18. Según los resultados físico-químicos del Laboratorio Nacional de Aguas a la fecha de elaboración de este estudio, en cuanto a los pozos aprovechados para uso poblacional cercanos a la línea de costa, se indica que los pozos ubicados en esta playa, como lo son el TS-21 (ubicado a 595 m de la línea de costa) y TS-28 (ubicado a 695 m de la línea de costa), presentaron valores de conductividad eléctrica dentro del rango permitido por el reglamento para la calidad del agua potable N° 38924-S. De igual forma el Pozo Residencial Santiago (ubicado a 465 m de la línea de costa), según el Laboratorio Nacional de Aguas, cumple con el Reglamento de calidad de aguas.
19. A partir del análisis de vulnerabilidad intrínseca a la fecha de elaboración de esta investigación mediante la metodología GOD, se clasificaron los grados de vulnerabilidad de las 17 subunidades geológicas de recarga de la siguiente manera:
  - Vulnerabilidad alta: Unidad de Areniscas Fosilíferas Agujas (subunidades B3, C3, D4, E1 y F1), Unidad Basaltos Agujitas (Subunidades C2 y D2) y la Unidad de Depósitos Recientes (A2 y D1).
  - Vulnerabilidad media: Unidad de Lutitas Calcáreas Caletas (subunidades A1, B1 y C1), y la Unidad de Depósitos Recientes (subunidades D3, C4, E2, F2 y B2).

Se debe indicar en referencia a las Subunidades Geológicas de Recarga E2, B2 y F2 que a pesar de que muestren según la metodología GOD una vulnerabilidad media, se deberá velar que no se autoricen perforaciones de alto caudal y cercanas a la línea de costa, que puedan propiciar el ingreso de la intrusión salina.

A partir del presente estudio se indican las siguientes recomendaciones:

1. Mantener el estado de la cobertura vegetal tal y como se encuentra actualmente, ya que de ser modificada parcial o totalmente, esto afectará el valor de la infiltración en el suelo, y por lo tanto la recarga a los acuíferos en sí.
2. Según la zonas de vulnerabilidad calculadas para esta investigación, se recomienda seguir las indicaciones establecidas por la matriz de vulnerabilidad del SENARA según el grado de vulnerabilidad calculado para cada una de las subunidades geológicas de recarga.
3. Se recomienda llevar un control de las nuevas concesiones de pozos tomando en cuenta el volumen de almacenamiento disponible en este estudio
4. Continuar con el monitoreo de parámetros de conductividad eléctrica y pH de los pozos ubicados en las dos principales playas, Agujas y Mantas, ya que los pozos de uso poblacional se ubican muy cercanos a la línea de costa, por ejemplo en Playa Mantas, como lo son el TS-21 (ubicado a 595 m de la línea de costa), TS-28 (ubicado a 695 m de la línea de costa) y TS-8 (ubicado a 948 m de la línea de costa), así como en Playa Agujas como lo es el Pozo Residencial Santiago (ubicado a 465 m de la línea de costa), como medida de prevención y protección del acuífero.
5. Continuar el monitoreo mensual de pozos realizado por la instituciones competentes de velar por la protección del recurso hídrico, que se ha venido realizando desde Setiembre del 2012 a la fecha, con el fin de verificar si existen descensos más significativos en los gráficos de variación de niveles estáticos y dinámicos de cada uno de los pozos.
6. Se recomienda que esta investigación sea utilizada como referencia por la Municipalidad de Garabito para la respectiva gestión en materia del recurso hídrico subterráneo.

## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS, O; 1992: Manejo automatizado de datos estructurales y su aplicación en la geología estructural de Costa Rica. Escuela Centroamericana de Geología. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica: 171 págs.
- ARIAS, O., & DENYER, P., 1991a: Estructura geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Carraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central, 12: 61-74 págs.
- ARIAS, O., 2000: Geología y petrología magmática del Bloque Herradura (Cretácico Superior-Eoceno, Costa Rica).- 186 págs. Univ. De Lausanne, Suiza [Tesis Ph.D.].
- ARIAS, O; 2003: Redefinición de la formación Tulín (Maastrichtiano-Eoceno Inferior) del Pacífico Central de Costa Rica. Rev. Geól. América Central, 28: 47-68 págs.
- ARIAS, M.E; 2002a: La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología. Rev. Geól. Amér. Central, 27: 21-26 págs.
- ARIAS, M.E; 2002b: Aplicaciones geofísicas a la hidrogeología en Costa Rica. Rev. Geól. Amér. Central, 27: 11-20 págs.
- ARIAS, M.E; 2007: Modelización directa y comparación de los principales dispositivos geoelectricos. –Ciencia y Tecnología, 25 (1-2): 7-23 págs.
- AUGE, M; 2008: Métodos Geoelectricos para la Prospección de Agua Subterránea. Buenos Aires.
- AVILA, G.A; 1985: Geología de Punta Leona, Cerros Chiquero, y alrededores. - 25 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- BARRANTES, M; 1991: Comentarios petrográficos de algunas rocas aflorantes en la Región Central de Costa Rica. Rev. Geól. América Central, 12: 75-82 págs.
- BAUMGARTNER, P.O; MORA, C; BUTTERLIN, J; SIGAL, J; GLACON, G; AZEMA, J. & BOURGOIS, J; 1984: Sedimentación y Paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica. Rev. Geol. Amer. Central 1: 57-136 págs.
- BUTLER, S., 1957: Engineering Hydrology.- 356 págs. Prentice Hall Inc. EE.UU.
- CERVANTES, J.F; 1985: Estudio Geológico de la zona de Tárcoles y Alrededores. – págs 57. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R; 1983: Hidrología subterránea. -2350 págs. Editorial Omega, Barcelona, España. 2 Vol.

- DAVIS, S. & DE WIEST, R; 1971: Hidrogeología. Ediciones Ariel, Barcelona. 563 págs.
- DENGO, G; 1960: Notas de la geología de la parte central del Pacífico de Costa Rica. Inf. Sem, Inst. Geogr. Nac; 43-58 págs.
- DENGO, G., 1962b: 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. Amér. Central, 12:1-59 págs.
- DENYER, P; AGUILAR, T & ALVARADO, G. E; 2003: Geología y estratigrafía de la hoja Barranca, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central 29: 105-125 págs. San José, Costa Rica.
- DeBOER, J; DRUMOND, M.S; BORDELON, M.J; DEFANT, M.J; BELLON, H. & MAURI, R.C; 1995: Cenozoic magmatic phases of the Costa Rican island arc (Cordillera de Talamanca). Geol. Soc. Amer. Special Paper 295: 35-55 págs.
- DUNHAM, R.J., 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture.- En: HAM, E.W. (ed.): Classification of carbonate rocks, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-121.
- FETTER, C.W., 2001: Applied Hydrogeology (4ta. Edición). – 598 págs. Prentice Hall, Inc. New Jersey, EE. UU.
- FISCHER, R; 1980: Recent tectonic movements of the Costa Rican Pacific Coast. Tectonophysics. 70: T25-T33.
- FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D; D'ELIA, M. & PARIS, M; 2002: Protección para la calidad del agua subterránea. -115 págs. Banco Mundial, Washington, D.C.
- FOLK, R.L., 1959: Practical petrographic classification of limestones.- American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 43: 1-38.
- FREEZE, R.A., & CHERRY, J.A., 1979: Groundwater: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall. -604 págs.
- GLOVER, R.E; 1959: The pattern of freshwater flow in a coastal aquifer. Journal of Geophysical Research 64 (4).
- GONZÁLEZ, L. P., JIMÉNEZ, M. F., JIMÉNEZ, J.M. & PICADO, C. A., 2015: Práctica Geológica 2015, Cuenca del Río Agujas y Quebrada Mantas. - 54 págs. AyA. San José [Inf. Interno].

- GURSKY, H.J. & SCHMIDT-EFFING, R; 1982: Sedimentology of Radiolarites within the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica, Central America. En: Ijima, Hein, Siever (Eds.) Siliceous Deposits in the Pacific Region: Developments in Sedimentology 36, Amsterdam.
- HARGREAVES, G.H. & SAMANI, Z.A; 1985: Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agriculture; 1(2): 96-99 págs.
- HAUFF, S.F; 1998: Age and geochemical constraints on The Origin of Oceanic Basement Complex in Costa Rica and Caribbean large Igneous province. Tesis. Kiel: Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, 155 págs.
- HERRERA, D; 1985: Estudio geológico de la zona comprendida entre el pueblo Quebrada Ganado y Cerros Chiquero. Provincia de Puntarenas. – 38 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- HENNINGSSEN, D. & WEYL, R., 1967: Ozeanische kruste im Nicoya Komplex von Costa Rica (Mittelamerika). Geol. Rundsch., 57: 33-47 págs.
- KUIJPERS, E; 1979 a: La Geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica. Inst. Geogr. Nac; 25, Inf. Semestr. Julio-Dic: 15-75 págs.
- KUIJPERS, E; 1979 b: Análisis Sedimentológico de la Formación Punta Carballo (Mioceno), Costa Rica. Inst. Geogr. Nac; 25, Inf. Semestr. Julio-Dic: 77-85 págs.
- LAURITO. C., 1988: Análisis sedimentológico de las formaciones El Fraile, en la costa suroeste de Nicaragua, Carmen y Punta Carballo, en la costa Pacífica de Costa Rica.- 117 págs. Univ. Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- LEANDRO, C.E; 1985: Geología del Cerro Rincón Vellaco, Valle de Herradura y Alrededores. - 31 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- LINSLEY, R., KOHLER, M. & PAULUS, L., 1958: Hydrology for engineers.- 340 págs. McGraw Hill, Nueva York.
- MADRIGAL, J.E; 1970: Geología del mapa básico “Barranca”. San José, Ministerio de Industria, Energía y Minas: 59 págs.
- MALAVASSI, E. & MADRIGAL, R; 1965: Mapa geológico, hoja Carraigres N°3345-II. San José, Ministerio de Industria, Energía y Minas.
- MALAVASSI, E; 1967: Informe geológico de la hoja Candelaria. MEIC Inf. Agosto: 16 págs.
- MONTERO, W; 1994: Neotectonics and related stress distribution in a subduction-collisional zone: Costa Rica. Profil 7: 125-141.

- ONU, 1972: Manual de instrucciones, estudios hidrológicos.- 540 págs. ONU Publ. N° 70, San José, Costa Rica.
- PETTIJOHN, F.P., POTTER, P.E. & SIEVER, R., 1973: Sand and sandstones.- 618 págs. Springer- Verlag, New York.
- RIVIER, F. & CALVO, C; 1988: Terciario del Sur del Valle Central: sección estratigráfica del Cerro Carraigres, provincia de San José, Costa Rica. Rev. Geol. Amér. Central. 9: 61-74 págs.
- SCHMIDT-EFFING, R; 1980: Rasgos fundamentales de la historia del Complejo de Nicoya (América Central Meridional). Brenesia, 18: 231-252 págs.
- SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55 págs.
- SCHOSINSKY, G.; 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. – Rev. Geol. Amér. Central 34-35: 13-30 págs.
- SEYFRIED, H. & SPRECHMANN, P; 1985: Acerca de la formación del puente istmo Centroamericano, con énfasis en el desarrollo acaecido desde el Campaniense al Eoceno. Rev. Geol. Amér. Central 2: 63-87 págs.
- SOTO, G; 1985: Estudio Geológico entre la Pita y Río Camaronal, Provincias de Puntarenas y San José. – 40 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Inf. Campaña Geol.].
- SPRECHMANN, P., 1984: Manual de Geología de Costa Rica.- 320pags. Ed. UCR, San José.
- SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., CALVO, C., & FERNÁNDEZ, A., 1993: Cuadro sinóptico de correlación estratigráfica de las cuencas sedimentarias de Costa Rica.- Programas y resúmenes de ponencias IV Congreso Geológico Nacional 28 junio-3 julio, San José: 7-16.
- SPRECHMANN, P., ASTORGA, A., CALVO, C., & FERNÁNDEZ, A., 1994: Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America.- Profil, 7: 427-433.
- TOURNON, J. & ALVARADO, G., 1997: Carte Geologique du Costa Rica/Mapa geológico de Costa Rica. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 77 págs.

## **12 ANEXOS**

### **12.1 ANEXO 1**

#### **DESCRIPCIÓN DE SECCIONES PETROGRÁFICAS**

**Numero de muestra: JM-01-06**  
**Nombre de la roca: Basalto andesítico**  
**Coordenadas 470 216 N y 186295 E**  
**Procedencia: Quebrada Ganado**  
**Recolectado por: José Manuel Jiménez**

#### **Descripción macroscópica:**

Roca con textura afanítica porfirítica con pequeños cristales de ferromagnesianos menores a 1 mm, difícilmente distinguible en muestra de mano, en una matriz de vidrio. La roca sana es de un color gris claro y la superficie se presenta como patinas de óxidos de hierro. Se clasifica macroscópicamente como un basalto.

#### **Descripción microscópica:**

Textura: hipocristalina hipidiomórfica granular de grano fino con fenocristales de plagioclasa de 0,24 mm x 0,05 mm en un 55%, de augita de 0,1 mm de diámetro en un 40% y vidrio en un 5%, con pequeñas vetas de cuarzo de 0,03 mm de espesor.

#### **Descripción mineralógica:**

Plagioclasas: cristales idiomórficos con tamaños aproximados de 0,24 mm x 0,05 mm dispuestos sin ninguna orientación particular con maclas de Karlsbad levemente sericitizadas incoloros a nicoles paralelos.

Augita: cristales xenomórficos con tamaños aproximados de 0,1 mm de diámetro algunos con extinción oblicua y no presenta una dirección de exfoliación preferencial.

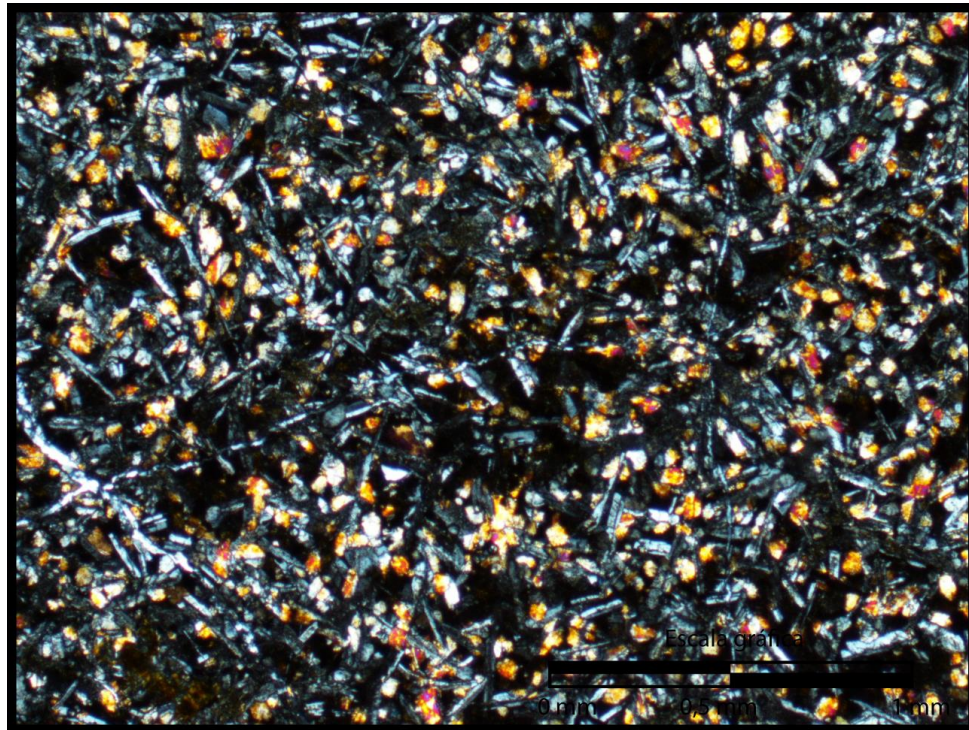
#### **Composición modal**

#	Plagioclasa	Augita	Vidrio
1	50	35	15
2	62	30	8
3	59	35	6
4	67	25	8
5	62	32	6
6	47	47	6
7	60	35	5
8	45	50	5
9	45	45	10
10	52	40	8
Total %	54,90 %	37,40 %	7,70 %

## Índices

Mineral	Original	Normalizado
Q	0 %	0 %
A	0 %	0 %
P	54,9 %	100 %
F	0 %	0 %

**Campo: 10 b**  
**Nombre Basalto**



Aumento 4X NX

**Numero de muestra: JM-05-14**  
**Nombre de la roca: Basalto**  
**Coordenadas: 472397 N y 185071 E**  
**Procedencia: Agujitas**  
**Recolectado por: José Manuel Jiménez**

### **Descripción macroscópica:**

Roca con textura afanítica porfirítica con fenocristales de piroxenos de 1mm los más grandes y de plagioclasas sanas de hasta los 2 mm de tamaño en una matriz de vidrio. Presenta muchas vetas de sílice con longitudes de hasta 5 cm y anchos de 1 mm. El color de la roca es gris claro en las partes sanas y con patinas de color beige.

### **Descripción microscópica:**

Textura: hipocristalina hipidiomórfica porfirítica con fenocristales de plagioclasa con tamaños de 1,5 mm y 0,5 mm en un 35 % en una matriz microlítica de plagioclasa, augita, zeolitas como vetas y de calcita secundaria y con opacos en un 65%.

### **Descripción mineralógica:**

Plagioclasas: cristales idiomórficos a hipidiomórficos con tamaños de 1,5 mm x 0,5 mm con textura cribosa dispuestos sin ninguna orientación particular levemente sericitizada con maclas de Karlsbad levemente sericitizadas incoloros a nicoles paralelos y zonación normal aproximadamente un 60% del área total.

Augita: cristales xenomórficos con tamaños aproximados de 0,7 mm de diámetro y no presenta una dirección de exfoliación preferencial aproximadamente un 30% del área total.  
Secundarios: Calcita secundaria con tamaños aproximadamente de 0,75 mm, ceolita en vetas con dimensiones de 0,625 mm de ancho y 2 cm de largo, pirita, magnetita y fantasmas de olivino.

### **Composición modal**

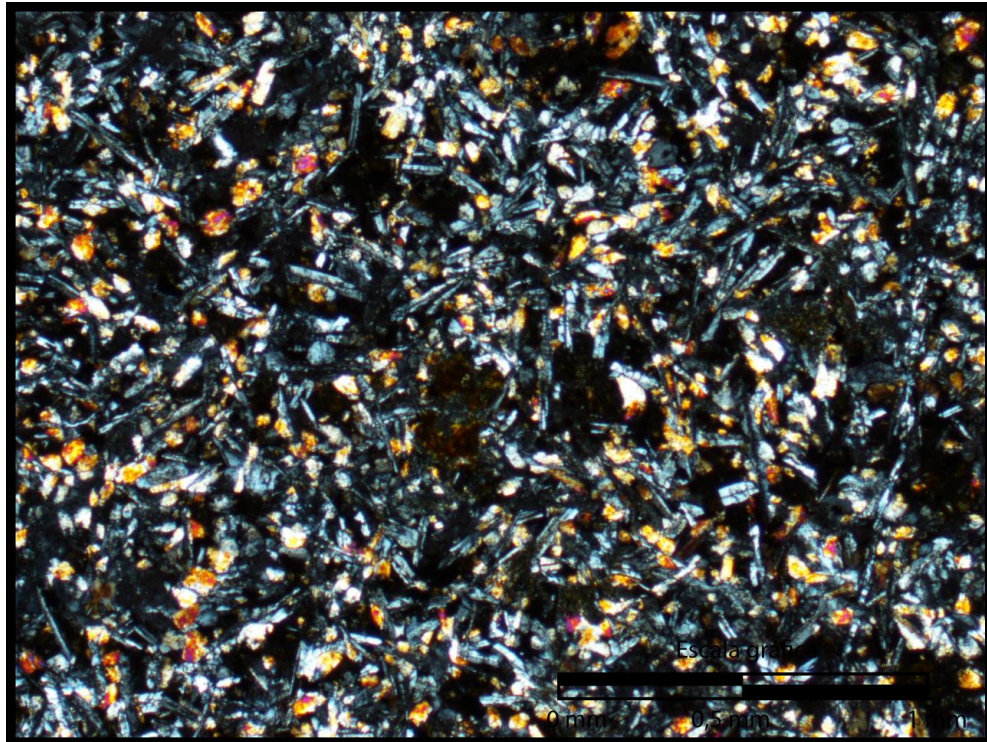
#	Plagioclasa	Augita	opacos	calcita
1	45	30	10	15
2	54	26	6	14
3	60	20	12	8
4	52	30	8	10
5	60	30	4	6
6	58	30	4	8
7	52	40	4	4
8	48	38	6	8
9	49	42	2	5
10	54	34	4	8
Total %	53,40 %	32,00 %	6,00 %	8,60 %

## Índices

Mineral	Original	Normalizado
Q	0 %	0 %
A	0 %	0 %
P	53,20 %	100 %
F	0 %	0 %

**Campo: 10 b**

**Nombre Basalto**



Aumento 4X NX

**Numero de muestra: MC-02-14**

**Nombre de la roca: Basalto-Dolerítico**

**Coordenadas: 472302 N y 185978 E**

**Procedencia: Fila Negra**

**Recolectado por: Cristian Picado Ureña**

### **Descripción macroscópica:**

Roca de fanerítica granular de grano medio color gris oscuro. Apariencia brillante. Minerales de plagioclasa con tamaños máximos de 1mm. Minerales de pirta.

### **Descripción microscópica:**

Textura holocristalina hipidiomórfica a xenomórfica granular. Posee cristales de vidrio color cafezusco muy alterados.

### **Descripción mineralógica:**

Plagioclasas: Plagioclasa con tamaños máximos de 0,15mm de largo y mínimo de 0,01mm, con formas hipidiomórficos a xenomórficos.

Augita: Cristales desde idiomórficos hasta xenomórficos, con tamaños mínimos de 0,005 por 0,005mm y máximo de 0,05 por 0,125mm.

Piroxenos: Cristales desde idiomórficos a hipidiomórficos, tamaños desde 0,05mm por 0,005 como mínimo hasta 0,0125 a 0,5mm como máximo, muy fracturados y alterados.

Minerales secundarios: se presentan minerales de calcita principalmente en vetillas.

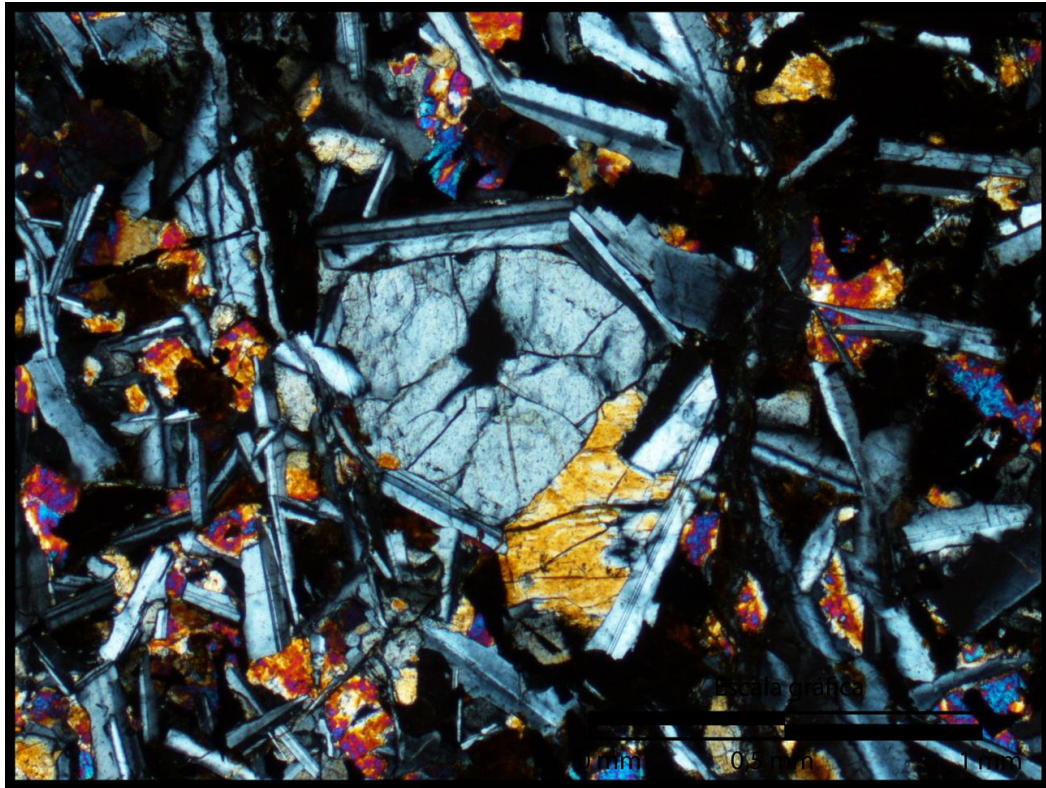
### **Composición modal**

#	Plagioclasa	Augita	opacos	Calcita	Vidrio
1	60	15	5	5	15
2	60	15	10	5	10
3	70	10	5	5	10
4	70	10	10	5	5
Total	65	12,5	7,5	5	10

### **Índices**

Mineral	Original	Normalizado
Q	0 %	0 %
A	0 %	0 %
P	65,00 %	100 %
F	0 %	0 %

**Campo: 10 b**  
**Nombre Basalto Dolerítico**



Aumento 4X NX

**Muestra: MF 03-13**

**Nombre de la roca: Arenisca media**

**Coordenadas: 187 737 N y 465 841 E**

**Procedencia: Quebrada Chiquero**

**Recolectado por: María Fernanda Jiménez**

### **Descripción macroscópica**

Arenisca media constituidas por cristales de cuarzo, calcita secundaria y plagioclasa alteradas e hinchados, clastos líticos de angulares a subangulares (3 mm) de color negro, blanco, café y verdes debido a la alteración, poco retrabajados, en una matriz gris claro (40%), con una pátina de óxidos de hierro color naranja herrumbre (5 cm) y presenta reacción al HCL (10%).

### **Descripción microscópica**

Roca con textura clástica compuesta por clastos líticos redondeados y esféricos de origen volcánico, con cristales de plagioclasa redondeados y baja esfericidad. Presenta un sorteo moderado donde los tamaños varían entre los 0,125 mm y 4,125 mm. En una matriz con cemento calcáreo color beige.

### **Composición porcentual**

Clastos líticos: ocupan un 25% del volumen total

Clastos andesíticos con textura hipocristalina porfirítica con fenocristales de plagioclasa y matriz alterada.

Clastos holocristalinos granulares de grano fino con cristales de plagioclasa.

Clastos hipocristalinos afanítico-porfiríticos con reemplazamiento por calcita

Plagioclasa: 20% del volumen total, fenocristales hipidiomórficos tabulares.

Matriz: 10% del volumen total, compuesto por fragmentos muy pequeños imposibles de identificar bajo el microscopio.

Componentes biogénicos: en su mayoría son algas, además briozoos y macro foraminíferos. En algunas ocasiones se observaron reemplazados por calcita. Representan un 10% del volumen total.

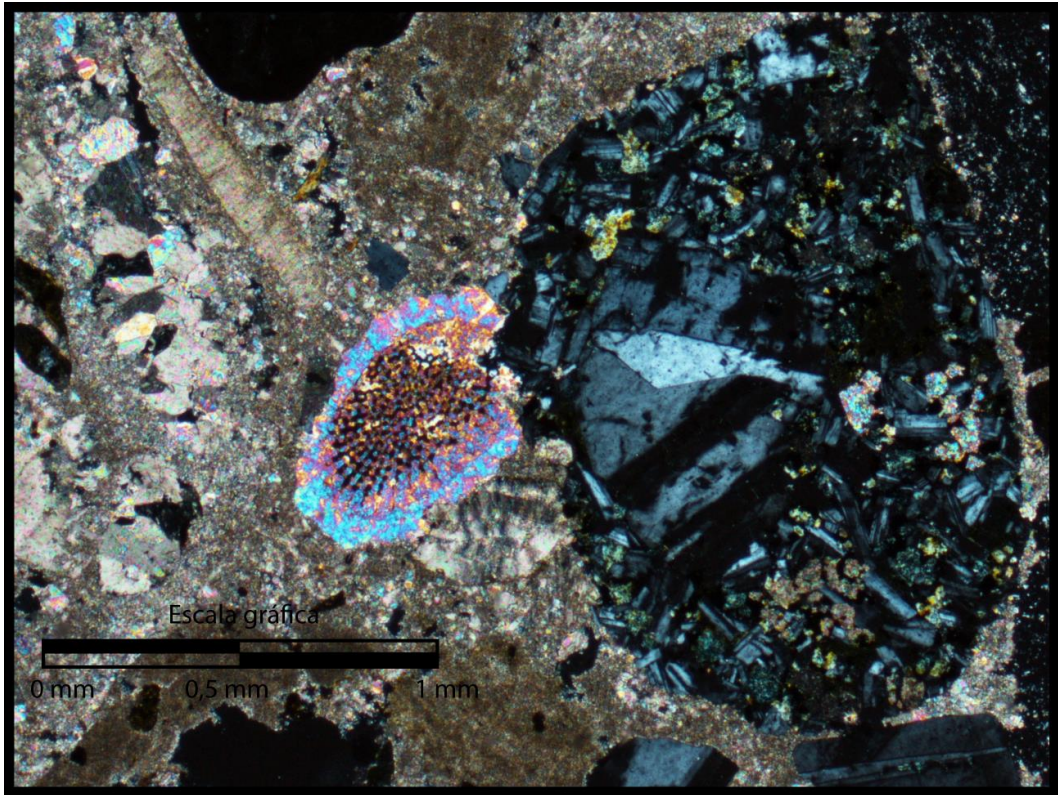
Cuarzo: 5% xenomórfico

Minerales accesorios: circón

Minerales de alteración: calcita

**Nombre textural: arenisca media (Udden)**

**Nombre composicional: Litoarenita feldespática (Folk, 1968) / Volcarenita (Pettijohn et al., 1973)**



Aumento4X NX

**Muestra: CH-1****Nombre de la roca: Arenisca fina****Coordenadas: 188603N y 470101E****Procedencia: Margen derecha (subiendo) del río Agujitas****Recolectado por: Christian Corrales****Descripción macroscópica**

Roca con una superficie sana color gris oscuro y una alterada gris café, con una granulometría principalmente fina, la cual cuenta con un 45% de granos de arena finos, 39% muy finos, 10% medios, 5% gruesos y 1% muy grueso, con un sorteo regular, angulares y de esfericidad alta, sin estratificación visible contacto principal de los granos flotante, puntual, longitudinal y una composición principal de feldespatos, minerales pesados (ferromagnesianos y pirita) y tal vez algo de cuarzo. No se presentan fósiles visibles al ojo humano.

**Descripción microscópica**

Presencia principal de granos finos de arenas, en un total de 50% del total de la roca, limos en un 35% y una matriz arcillosa del 15%. Los granos son 78% de feldespatos, 12% minerales pesados y 10% de cuarzo. Éstos son en su mayoría subangulosos, lo que indica poco transporte desde su área fuente, con fósiles de macroforaminíferos muy fragmentados y presencia de micrita secundaria rellenando fracturas, por esto, se indica que su depositación se dio con alta energía en la zona abisal lo que expulsó la mayor parte de los carbonatos.

**Textura**

Orientación de los granos	Tamaño de grano modal	Contacto entre grano	Sorteo	Porcentaje
No	2>Muy grueso>1,25 mm		Flotante	Bueno 50 Arena
	1,25>Grueso>0,63	X	Puntual	X Regular 35 Limo
Matriz (influencia en la fábrica)	5% 0,63>Medio>0,4	X	Longitudinal	Malo 15 Arcilla
20 % (arcilla silícica)	50% 0,4>Fino>0,2		Cóncavo-Convexo	
	45% 0,2>Muy fino>0,08		Saturado	

**Mineralogía**

Terrígenos					
	Porcentaje	Orientación	Tamaño grano máx.	Tamaño grano med.	Morfología
Cuarzo, variedades	10%	No	0,075 mm	0,025 mm	subanguloso
Feldespatos	78%	No	0,45 mm	0,125 mm	anguloso
Minerales pesados (augitas y magn.)	12%	No	0,25 mm	0,08 mm	subanguloso

Aloquímicos					
	Porcentaje	Orientación	Tamaño grano máx.	Tamaño grano med.	Morfología
Sedimentos carb. (micrita)	20%	No			Fract. Rellenando
Otros (fragm. Foram.)	80%	No			

### Interpretación

Área fuente: Roca inmadura, debido a su alto contenido de matriz y al poco transporte de los granos.

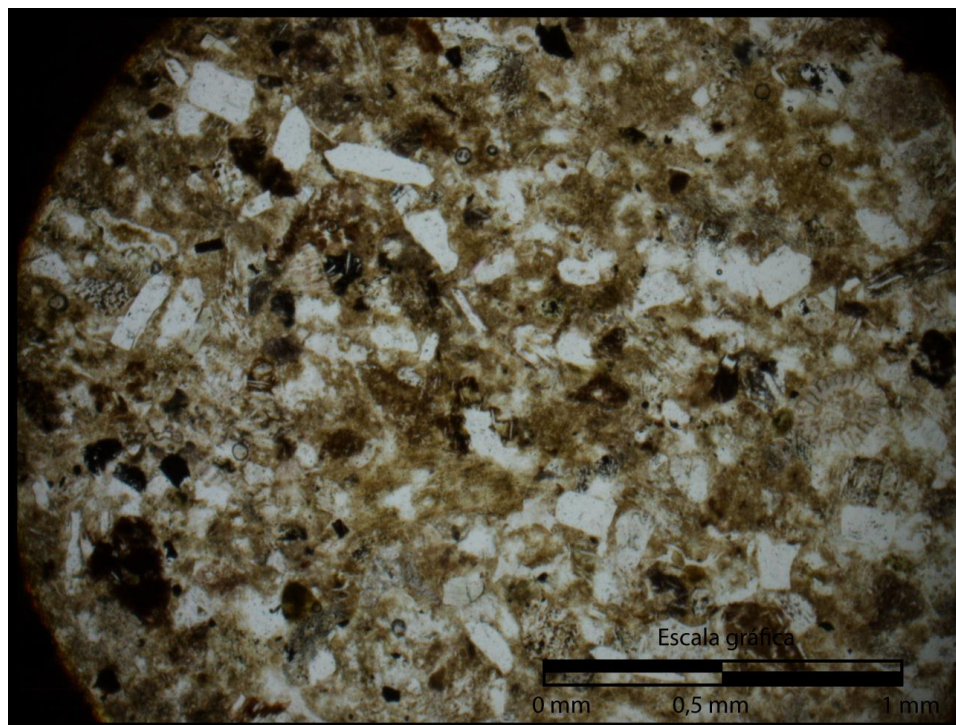
Tipo de transporte: Poco transporte desde su área fuente.

Ambiente depositacional: Ambiente posiblemente abisal de depositación con alta energía que expulsó la mayor parte de los carbonatos, con presencia de un constante depósito de material que trituró el material fosilífero.

Diagénesis: Ha alcanzado un III grado de diagénesis, en el cual se han formado arcillas en la matriz, con un poco de depositación de sedimentos calcáreos secundarios.

**Nombre: Grauvaca feldespática (Pettijohn et al., 1973).**

**Nombre textural: Arenisca limo arcillosa.**



Aumento 4X N//

**Muestra: CH-2**  
**Nombre de campo: Arenisca fina**  
**Coordenadas: 192030 N y 467107 E**  
**Procedencia: SW de Pita**  
**Recolectado por: Christian Corrales**

### Descripción macroscópica

Roca de superficie sana gris verde oscuro y alterada gris café amarillenta, con granulometría principalmente media a muy fina, con 30% de granos de arena media, 25% muy finos, 20% fino, 15% gruesos y 10% muy gruesos, principalmente subredondeados y poco esféricos, sin estratificación observable, contactos principalmente flotante, puntual y longitudinal y de composición en su mayoría feldespática y minerales pesados (ferromagnesianos). No se presentan fósiles visibles al ojo humano.

### Descripción microscópica

35% de granos de arena principalmente finos a medios con un 60% de fragmentos de roca, 35% feldespatos, 4% de minerales pesados y 1% de cuarzo, principalmente subredondeados a subangulosos, 25% limos, con presencia de sedimentos calcáreos secundarios y macroforaminíferos fragmentados, en un 40% de matriz de arcilla silícica, por lo que su ambiente depositacional fue de alta energía, posiblemente de hemipelágico a somero, con poco transporte de los granos.

### Textura

Orientación de los granos	Tamaño de grano modal	Contacto entre grano	Sorteo	Porcentaje	
No	2>Muy grueso>1,25 mm	Flotante	Bueno	35	Arena
	10% 1,25>Grueso>0,63	X Puntual	X Regular	25	Limo
Matriz (influencia en la fábrica)	35% 0,63>Medio>0,4	X Longitudinal	Malo	40	Arcilla
30 % (arcilla silícica)	30% 0,4>Fino>0,2	X Cóncavo-Convexo			
	25% 0,2>Muy fino>0,08	Saturado			

## Mineralogía

Terrígenos					
	Porcentaje	Orientación	Tamaño grano máx.	Tamaño grano med.	Morfología
Cuarzo, variedades	1%	No	0,075 mm	0,075 mm	subanguloso
Feldespatos	35%	No	0,75 mm	0,25 mm	subanguloso
Fragmentos de roca	60%	No	0,75 mm	0,5 mm	subredondeado
Minerales pesados (augitas y magn.)	4%	No	0,225 mm	0,125 mm	subredondeado
Aloquímicos					
	Porcentaje	Orientación	Tamaño grano máx.	Tamaño grano med.	Morfología
Sedimentos carb. (micrita)	55%	No			Rellenando
Otros (fragm. Foram.)	45%	No			Fragmentados
Ortoquímicos					
	Porcentaje	Orientación	Tamaño grano máx.	Tamaño grano med.	Morfología
Cemento calcáreo	10%				
Cemento silíceo	90%				

## Interpretación

Área fuente: La roca es considerada inmadura, debido a su alto contenido de matriz y sus granos poco transportados.

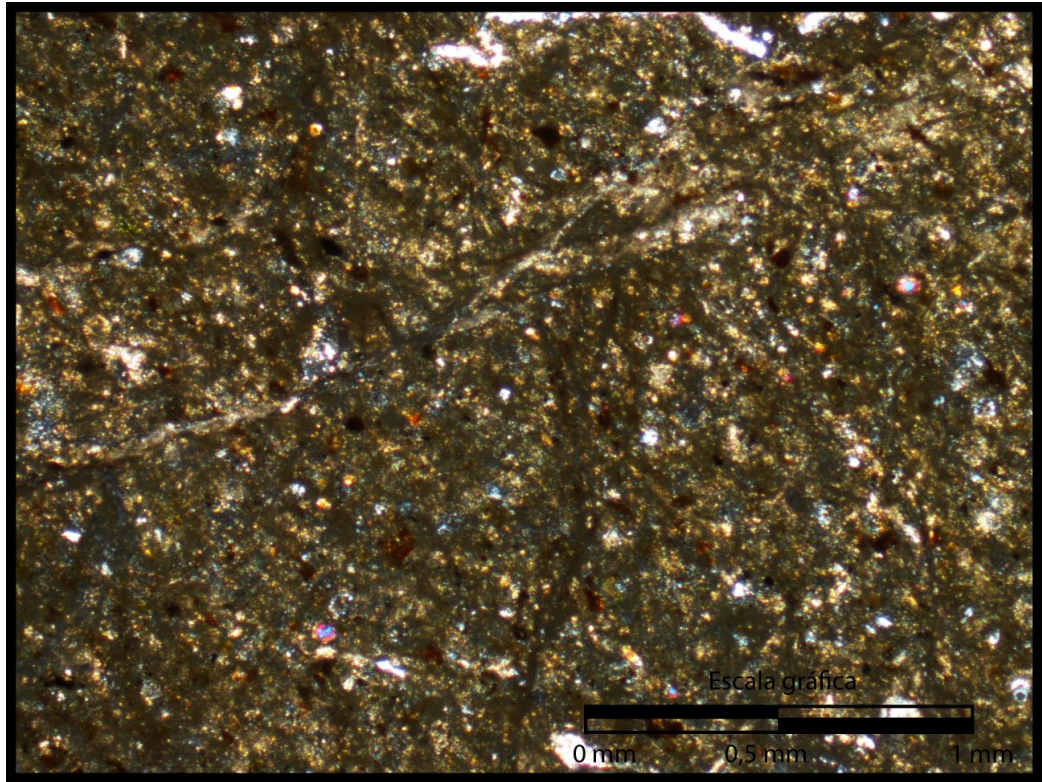
Tipo de transporte: Granos principalmente con poco transporte.

Amiente depositacional: Ambiente de depositación de alta energía, posiblemente hemipelágico a marino somero, con presencia de sedimentos calcáreos secundarios, depositados también un poco en el cemento, se presentan fósiles de macroforaminíferos fragmentados.

Diagénesis: Ha sufrido una diagénesis de III grado, en la cual del material original se han formado arcillas en la matriz y un poco de cementación calcárea que ha sido secundaria.

**Nombre: Grauvaca lítica (Pettijohn et al., 1973).**

**Nombre textural: Arenisca limo arcillosa.**



Aumento 4X NX

**12.2 ANEXO 2**  
**DATOS DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA**



**12.3 ANEXO 3**  
**AFOROS DIFERENCIALES**

**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

**UEN GESTIÓN AMBIENTAL - ESTUDIOS BÁSICOS**

**CAMPAÑA DE MEDICIÓN DE CAUDALES DIFERENCIALES EN SUBCUENCA DEL RIO AGUJITAS Y QUEBRADA MANTAS  
QUEBRADA DE GANADO - JACÓ - PROVINCIA DE PUNTARENAS ( 90-00-04 )**

<b>COD</b>	<b>NOMBRE DEL PUNTO DE AFORO</b>	<b>LAT</b>	<b>LON</b>	<b>ELEV (MSNM)</b>	<b>HOJA CARTOGRÁFICA</b>	<b>Q EN L/S</b>	<b>FECHA DEL AFORO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>CAUDAL CALCULADO (SIN 5% DE ERROR) EN L/S</b>
R.A.#1	RÍO AGUJITAS # 1	184523	471949	503	TÁRCOLES	6,00	24/02/2015	450 MTRS APROX. AGUAS ARRIBA DE PUENTE CAMINO AGUJITAS - JACÓ	5,70
R.A.#2	RÍO AGUJITAS # 2	184946	471509	420	TÁRCOLES	5,12	24/02/2015	AGUAS ARRIBA DEL PUENTE CAMINO AGUJITAS - JACÓ	4,86
R.A.#3	RÍO AGUJITAS # 3 ( QUEBRADA AFLUENTE # 1 )	185043	471499	420	TÁRCOLES	0,96	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON RIO AGUJITAS -MARGEN DERECHA	0,91
R.A.#4	RÍO AGUJITAS # 4	185051	471481	418	TÁRCOLES	7,31	24/02/2015	AGUAS ABAJO UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 1	6,94
R.A.#5	RÍO AGUJITAS # 5	185293	471404	418	TÁRCOLES	9,52	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 2	9,04
R.A.#6	RÍO AGUJITAS # 6 ( QUEBRADA AFLUENTE # 2 )	185293	471395	417	TÁRCOLES	2,40	24/02/2015	ANTS DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	2,28
R.A.#7	RÍO AGUJITAS # 7 ( QUEBRADA AFLUENTE # 3 )	185308	471392	417	TÁRCOLES	0,33	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN IZQUIERDA	0,31
R.A.#8	RÍO AGUJITAS # 8	185321	471400	417	TÁRCOLES	12,80	24/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 3	12,16
R.A.#9	RÍO AGUJITAS # 9	185456	471372	416	TÁRCOLES	13,64	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 4	12,96
R.A.#10	RÍO AGUJITAS # 10 ( QUEBRADA AFLUENTE # 4 )	185459	471380	416	TÁRCOLES	1,43	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	1,36
R.A.#11	RÍO AGUJITAS # 11	185496	471357	416	TÁRCOLES	12,76	24/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 4 Y ANTES DE LA UNIÓN CON Q. AFLUENTE 5	12,12
R.A.#12	RÍO AGUJITAS # 12 ( QUEBRADA AFLUENTE # 5 )	185499	471361	416	TÁRCOLES	1,19	24/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	1,13
R.A.#13	RÍO AGUJITAS # 13	185526	471370	415	TÁRCOLES	19,80	24/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 5	18,81
R.A.#13	RÍO AGUJITAS # 13	185526	471370	415	TÁRCOLES	18,00	25/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 5	17,10
R.A.#14	RÍO AGUJITAS # 14	185915	471403	396	TÁRCOLES	16,73	25/02/2015		15,89
R.A.#15	RÍO AGUJITAS # 15	186275	471528	390	TÁRCOLES	27,67	25/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE - 6	26,29
R.A.#16	RÍO AGUJITAS # 16 ( QUEBRADA AFLUENTE # 6 )	186275	471543	390	TÁRCOLES	4,88	25/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RÍO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	4,64

R.A.#17	RÍO AGUJITAS # 17	186279	471538	389	TÁRCOLES	29,94	25/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE 6	28,44
R.A.#18	RÍO AGUJITAS # 18	187698	470709	106	TÁRCOLES	52,75	25/02/2015		50,11
R.A.#20	RÍO AGUJITAS # 20	187711	470687	103	TÁRCOLES	54,80	25/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 8	52,06
R.A.#21	RÍO AGUJITAS # 21 ( QUEBRADA AFLUENTE # 8 )	187746	470710	103	TÁRCOLES	4,02	25/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	3,82
R.A.#22	RÍO AGUJITAS # 22	187763	470673	102	TÁRCOLES	59,68	25/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE 8	56,70
R.A.#23	RÍO AGUJITAS # 23	188124	470087	82	TÁRCOLES	74,00	25/02/2015	PUNTO INTERMEDIO	70,30
R.A.#24	RÍO AGUJITAS # 24	188409	469776	74	TÁRCOLES	74,00	25/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE -9	70,30
R.A.#24	RÍO AGUJITAS # 24	188409	469776	74	TÁRCOLES	73,00	26/02/2015	PUNTO DE AMARRE DÍA ANTERIOR	69,35
R.A.#25	RÍO AGUJITAS # 25 ( QUEBRADA AFLUENTE # 9 )	188425	469763	73	TÁRCOLES	4,66	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN IZQUIERDA	4,43
R.A.#26	RÍO AGUJITAS # 26	188451	469729	72	TÁRCOLES	86,00	26/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE -9	81,70
R.A.#27	RÍO AGUJITAS # 27	188910	469031	53	TÁRCOLES	84,00	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE - 10	79,80
R.A.#28	RÍO AGUJITAS # 28 ( QUEBRADA AFLUENTE # 10 )	188954	469015	52	TÁRCOLES	4,68	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	4,45
R.A.#29	RÍO AGUJITAS # 29	188964	468965	50	TÁRCOLES	64,66	26/02/2015	DES'PUES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE 10	61,43
AF 11	QUEBRADA AFLUENTE 11	188939	468762	48	TÁRCOLES	0,00	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN IZQUIERDA CAUCE SECO	0,00
R.A.#30	RÍO AGUJITAS # 30	188222	468175	41	TÁRCOLES	99,98	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE -12	94,98
R.A.#31	RÍO AGUJITAS # 31 ( QUEBRADA AFLUENTE # 12 )	189224	468153	41	TÁRCOLES	6,27	26/02/2015	QUEBRADA MARGARITA ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN DERECHA	5,96
R.A.#32	RÍO AGUJITAS # 32	189189	468105	40	TÁRCOLES	108,58	26/02/2015	DESÚES DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA AFLUENTE 12	103,15

R.A.#33	RÍO AGUJITAS # 33	188964	467379	33	TÁRCOLES	92,64	26/02/2015	AGUAS ABAJO DEL 'PUENTE DETRÁS DEL SALON COMUNAL DE QUERBARDA GANADO	88,01
R.A.#34	RÍO AGUJITAS # 34	189008	466884	28	TÁRCOLES	66,00	26/02/2015	AGUAS ABJO DEL PUENTE CARRETERA PACIFRICA FERNDADDEZ	62,70
R.A.#35	RÍO AGUJITAS # 35	188828	466484	23	TÁRCOLES	74,00	26/02/2015	PUNTO INTERMEDIO	70,30
AF 13	QUEBRADA AFLUENTE 13	189060	466085	17	TÁRCOLES	0,00	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUITAS - AMRGEN DERECHA CAUCE SECO	0,00
R.A.#36	RÍO AGUJITAS # 36	189059	465829	12	TÁRCOLES	12,00	26/02/2015	ANTS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE 14	11,40
R.A.#37	RÍO AGUJITAS # 37- QUEBRADA AF. 14 ( QUEBRADA CHIQUERO # 43	188929	465775	12	TÁRCOLES	30,18	26/02/2015	QUEBRADA CHIQUERO ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS - MARGEN IZQUIERDA	28,67
R.A.#38	RÍO AGUJITAS # 38	189100	465665	12	TÁRCOLES	38,86	26/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA CHIQUERO	36,92
R.A.#39	RÍO AGUJITAS # 39	189255	465125	8	TÁRCOLES	150,00	26/02/2015	PUNTO INTERMEDIO	142,50
R.A.#40	RÍO AGUJITAS # 40	189448	464711	1	TÁRCOLES	121,57	26/02/2015	AGUAS ARRIBA DE LA UNIÓN CON LA QUEBRADA -15	115,49
R.A.#41	RÍO AGUJITAS # 41 ( QUEBRADA AFLUENTE 15 )	189505	464643	1	TÁRCOLES	9,44	26/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJAS - MARGEN IZQUIERDA	8,97
R.A.#42	RÍO AGUJITAS # 42	189602	464582	1	TÁRCOLES	162,00	26/02/2015	DESPUÉS DE LA UNIÓN CON LA QUEB. AFLUENTE-15 A 40 MTS APROX. DE LA PLAYA	153,90
Q.CH. # 43	QUEBRADA CHIQUERO # 43	188929	465775	12	TÁRCOLES	31,77	27/02/2015	AFORO DE AMARRE DÍA ANTERIOR	30,18
Q.CH. # 44	QUEBRADA CHIQUERO # 44	188634	465896	14	TÁRCOLES	6,75	27/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON EL RIO AGUJITAS	6,41
Q. AF. 16	QUEBRADA AFLUENTE 16 - MARGEN IZQUIERDA	188631	465897	14	TÁRCOLES	1,16	27/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON QUEB. CHIQUERO	1,10
Q.CH. # 45	QUEBRADA CHIQUERO # 45	188620	465916	14	TÁRCOLES	8,61	27/02/2015	ANTES DE LA UNIÓN CON QUEB. AFLUENTE 16	8,18
Q.CH. # 46	QUEBRADA CHIQUERO # 46	187998	466029	18	TÁRCOLES	0,00	27/02/2015	PUNTO FRENTE A UNIÓN DEL CAUCE SECO DE QUEB. AFLUENT 17 - MARGEN DERECHA	0,00
Q.CH. # 47	QUEBRADA CHIQUERO # 47	187409	465813	19	TÁRCOLES	0,00	27/02/2015	CAUCE SECO	0,00
Q.CH. # 48	QUEBRADA CHIQUERO # 48	186465	465071	48	TÁRCOLES	0,00	27/02/2015	CAUCE SECO	0,00
Q.M. # 1	QUEBRADA MANTAS # 1	186862	464287	43	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	125 MTS APROX. AGUAS ARRIBA DE LA CALLE	0,00

A.F. # 1	AFLUENTE # 1 - MARGEN IZQUIERDA	187306	463983	33	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	100 MTS APROX. AGUAS ARRIBA DE LA CALLE	0,00
A.F. # 2	AFLUENTE # 2 - MARGEN DERECHA	187373	464556	28	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	400 MTS APROX AGUAS ARRIBA DE LA UNIÓN CON EL CAUCE CENTRAL	0,00
Q.M. # 2	QUEBRADA MANTAS # 2	187541	463888	12	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	400 MTS APROX ANTES DE LA DESEMBOCADURA AL MAR	0,00
Q.M. # 3	QUEBRADA MANTAS # 3	187804	463685	1	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	ANTIGUA DESEMBOCADURA AL MAR SEGÚN MAPA TOPOGRÁFICO	0,00
Q.M. # 4	QUEBRADA MANTAS # 4	187721	463621	2	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	150 MTS APROX ANTES DE LA DESEMBOCADURA AL MAR JUNTO AL PUENTE SALÓN DE EVENTOS	0,00
Q.M. # 5	QUEBRADA MANTAS # 5	187748	463521	1	TÁRCOLES	0,00	16/03/2015	NUEVA DESEMBOCADURA AL MAR JUNTO A PEQUEÑA LADERA.	0,00

**NOTAS:**

1- EL TRAMO QUE CORRESPONDE DE R.A.# 17 HASTA R.A.# 18 CON UNA LONGITUD APROXIMADA DE 1.5 KILOMETROS, FUE RECORRIDO PERO NO SE ENCONTRÓ SITIO ADECUADO PARA AFORAR. EN ESTE TRAMO SE ENCUENTRAN VARIAS CASCADAS CON SECCIONES DE RIO MUY REDUCIDAS, ADEMÁS DE PENDIENTES FUERTES Y CON LA CANTIDAD DE ROCAS, PRODUCEN FLUJOS TURBULENTOS CON GRANDES DIFICULTADES PARA REALIZAR UNA MEDICIÓN ADECUADA.

2- NO SE ENCONTRÓ AGUA EN LA QUEBRADA MANTAS NI EN NINGUNO DE LOS AFLUENTES.

3- DESDE LOS PUNTOS 4 AL 5 DE QUEBRADA MANTAS EL CAUCE FUE MODIFICADO.

4- LA ANTIGUA DESEMBOCADURA AL MAR DE LA QUEBRADA MANTAS ESTA TOTALMENTE PERDIDA E INTEGRADO COMO PLAYA ( Q.M.# 3 )

5- DESDE EL PUNTO QUEBRADA MANTAS 4 AGUAS ABAJO DE UN PUENTE DE MADERA QUE ESTÁ JUNTO AL SALÓN DE ENENTOS O ANFITEATRO Y HASTA LA DESEMBOCADURA DE LA QUEBRADA MANTAS, EN UN TRAMO DE APROXIMADAMENTE 150 MTS HABIA AGUA ESTANCADA, TURBIA, SIN SALIDA AL MAR.

COORDINÓ: JAVIER JIMENEZ GARCÍA. COLABORARON: ADONAY CARRILLO GUEVARA, JOHNNY MATA ESQUIVEL, MARIO PRADO FALLAS Y GERARDO ROJAS SALAZAR.

**12.4 ANEXO 4**  
**PRUEBAS DE INFILTRACIÓN**

### Cuadro resumen de pruebas de infiltración realizadas

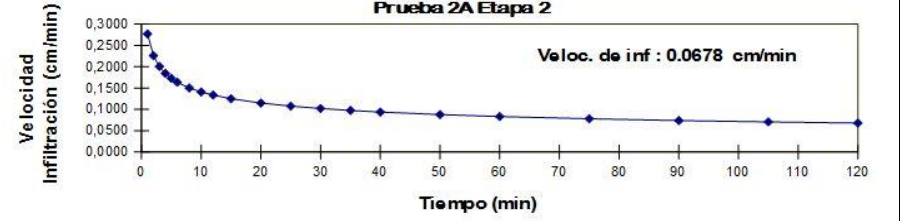
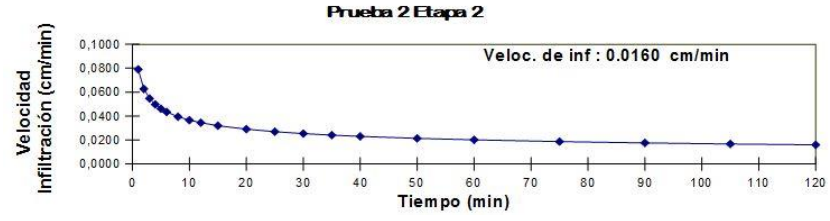
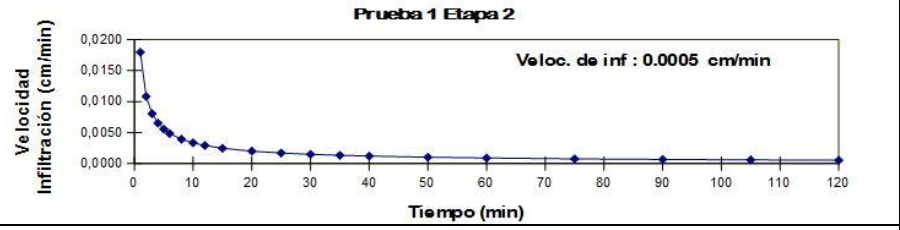
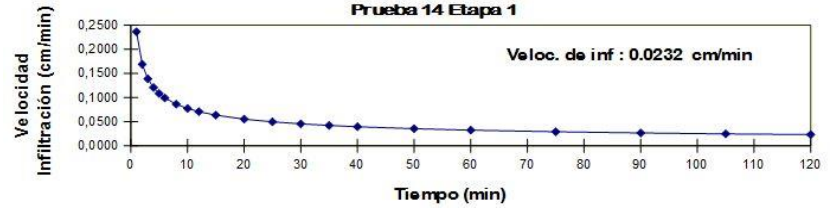
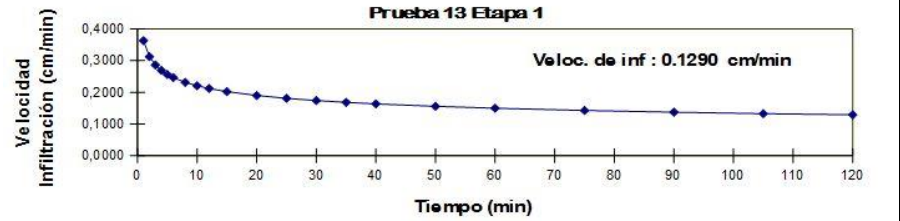
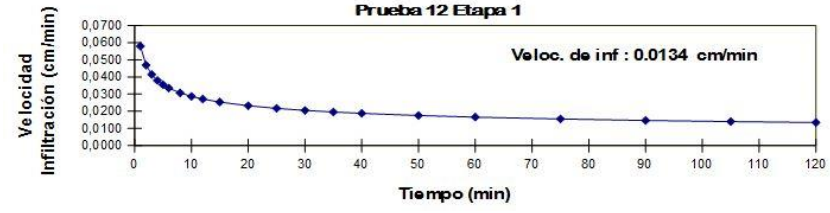
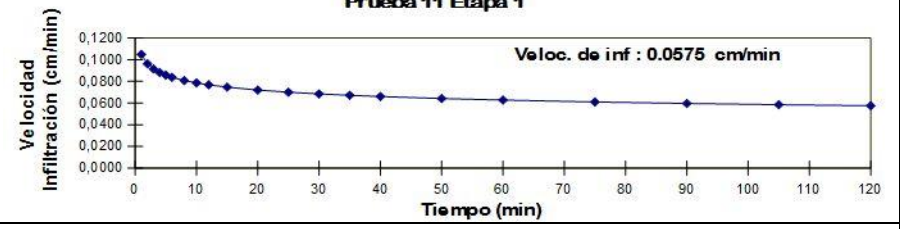
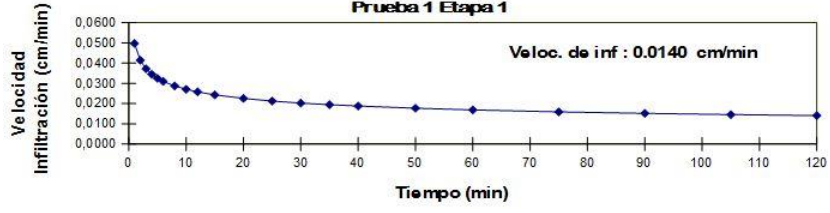
ETAPA	PI	X	Y	INF. (cm/min)	INF. (cm/s)
ETAPA 1	PI-1	471701	188136	0,0140	2,33E-04
	PI-11	469680	187182	0,0575	9,58E-04
	PI-12	470172	186563	0,0134	2,23E-04
	PI-13	470267	186266	0,1290	2,15E-03
	PI-14	471357	185705	0,0232	3,87E-04
ETAPA 2	PI-1	467118	191341	0,0005	8,33E-06
	PI-2	467602	190646	0,0160	2,67E-04
	PI-2A	468290	189380	0,0678	1,13E-03
	PI-3	467325	189670	0,0512	8,53E-04
	PI-3A	468754	189072	0,0712	1,19E-03
	PI-4	466549	188399	0,0002	3,33E-06
	PI-4A	469000	188700	0,0817	1,36E-03
	PI-5	465845	189153	0,0023	3,83E-05
	PI-5A	469725	188469	0,0134	2,23E-04
	PI-6	465139	190174	0,0821	1,37E-03
	PI-6A	469400	189157	0,1074	1,79E-03
	PI-8	464139	189157	0,0515	8,58E-04
	PI-9	466400	188898	0,0011	1,83E-05
	PI-9A	469318	188230	0,0028	4,67E-05
	PI-10	466374	190962	0,0150	2,50E-04
	PI-10A	468627	188876	0,0007	1,17E-05
PI-11	467380	187834	0,0128	2,13E-04	
ETAPA 3	PI-2	464498	187044	0,0142	2,37E-04
	PI-3	465314	186454	0,0036	6,00E-05
	PI-4	465893	187303	0,0202	3,37E-04
	PI-6	462515	185631	0,3033	5,06E-03
	PI-7	466371	187770	0,2852	4,75E-03
	PI-7A	463964	187648	0,1206	2,01E-03
	PI-10	469716	187572	0,0651	1,09E-03
	PI-11	464515	185540	0,4768	7,95E-03
	PI-13	462809	185351	0,1143	1,91E-03
ETAPA 4	PI-15	463276	187248	0,0765	1,28E-03
	PI-17	465611	186834	0,0020	3,33E-05
	PI-4	471051	184856	0,0443	7,38E-04
	PI-5	471540	184706	0,2062	3,44E-03
	PI-6	471644	185747	0,0149	2,48E-04
	PI-7	472169	186315	0,0028	4,67E-05
	PI-8	472181	187237	0,1143	1,91E-03
	PI-9	468154	187846	0,0001	1,67E-06
	PI-12	467725	189222	0,0002	3,33E-06
	PI-14	465446	189163	0,0980	1,63E-03
	PI-15	464875	189598	0,0026	4,33E-05
ETAPA 5	PI-19	464479	188400	0,1389	2,32E-03
	PI-20	464392	189210	0,0719	1,20E-03
	PI-A	464623	186258	0,0071	1,18E-04
	PI-D	463620	185125	0,0679	1,13E-03
	PI-G	465954	188862	0,0221	3,68E-04
	PI-M	471095	188505	0,0031	5,17E-05
	PI-T	466863	189059	0,0165	2,75E-04
	PI-P	471471	185128	0,0074	1,23E-04
ETAPA 5	PI-W	466194	187228	0,0534	8,90E-04
	PI-X	466674	187673	0,0488	8,13E-04
	PI-Z	465365	185975	0,4879	8,13E-03

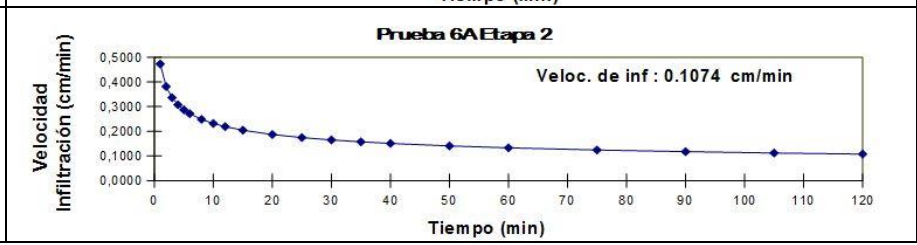
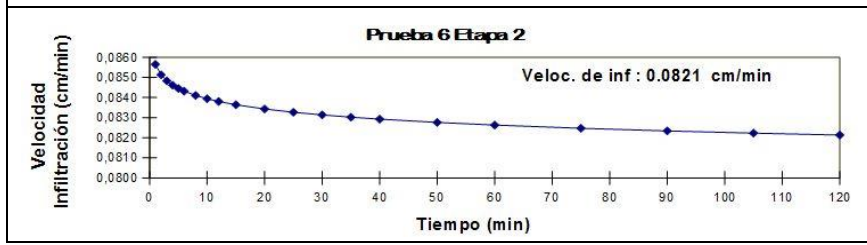
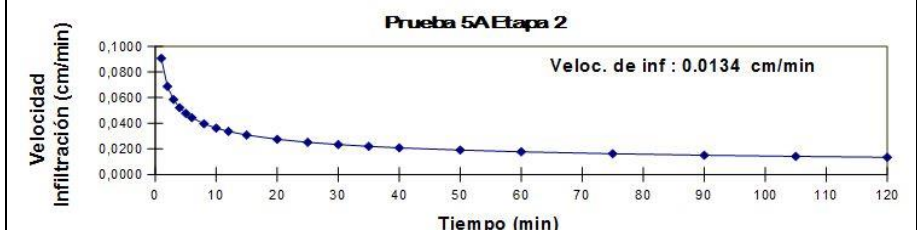
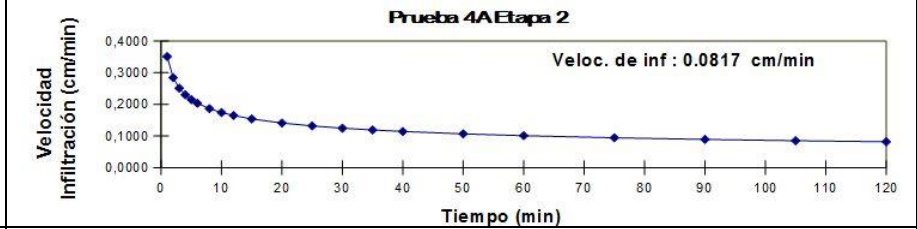
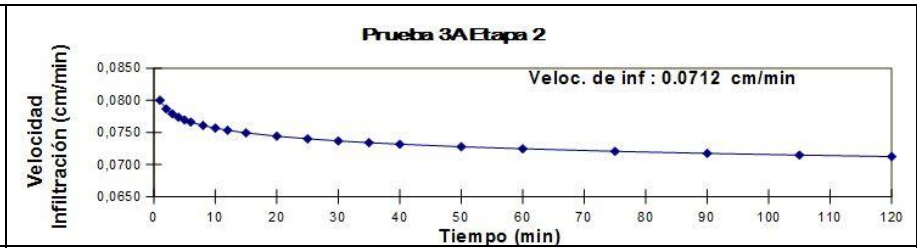
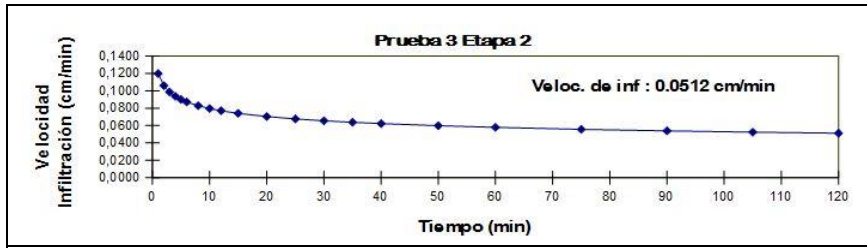
Cuadro de correlación de valores de infiltración con las Subunidades Geológicas de Recarga

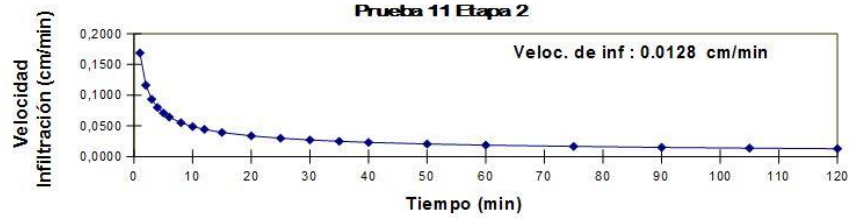
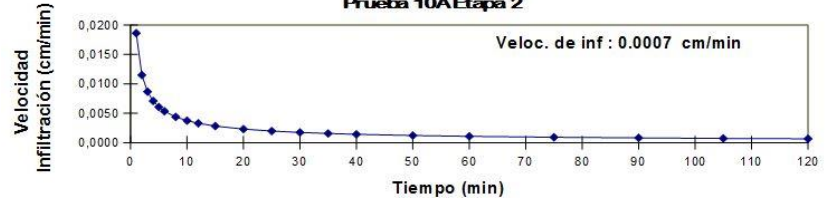
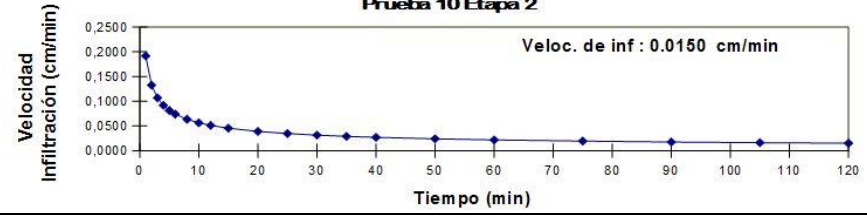
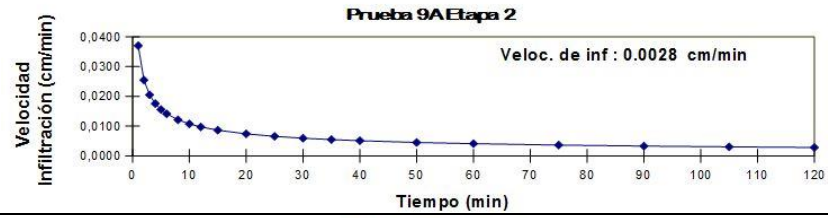
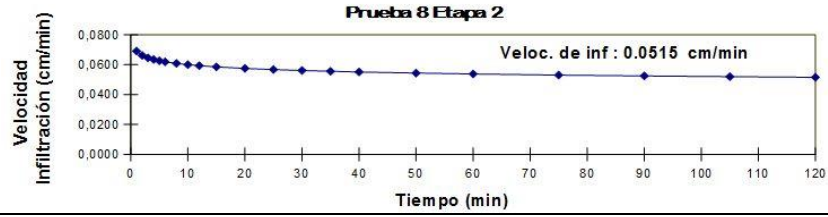
ETAPA	PI	X	Y	fc (cm/min)	fc (cm/s)	fc (mm/d)	Litología	Kfc	Unidad de Recarga	Kfc Promedio
ETAPA 5	PI-D	463620	185125	0,0679	1,13E-03	977,76	Lutitas	0,9648	A1	<b>0,981</b>
ETAPA 3	PI-15	463276	187248	0,0765	1,28E-03	1101,60	Lutitas	0,9776	A1	
ETAPA 3	PI-13	462809	185351	0,1143	1,91E-03	1645,92	Lutitas	1	A1	
ETAPA 3	PI-6	462515	185631	0,3033	5,06E-03	4367,52	Aluvión	1	A2	<b>1,000</b>
ETAPA 3	PI-2	464498	187044	0,0142	2,37E-04	204,48	Lutitas	0,6661	B1	<b>0,666</b>
ETAPA 3	PI-7A	463964	187648	0,1206	2,01E-03	1736,64	Aluvión	1	B2	<b>1,000</b>
ETAPA 2	PI-8	464139	189157	0,0515	8,58E-04	741,60	Arenisca	0,9273	B3	<b>0,927</b>
ETAPA 3	PI-3	465314	186454	0,0036	6,00E-05	51,84	Lutitas	0,3232	C1	<b>0,779</b>
ETAPA 5	PI-A	464623	186258	0,0071	1,18E-04	102,24	Lutitas	0,4968	C1	
ETAPA 5	PI-X	466674	187673	0,0488	8,13E-04	702,72	Lutitas	0,919	C1	
ETAPA 5	PI-W	466194	187228	0,0534	8,90E-04	768,96	Lutitas	0,9328	C1	
ETAPA 3	PI-11	464515	185540	0,4768	7,95E-03	6865,92	Lutitas	1	C1	
ETAPA 5	PI-Z	465365	185975	0,4879	8,13E-03	7025,76	Lutitas	1	C1	
ETAPA 4	PI-9	468154	187846	0,0001	1,67E-06	1,44	Basalto	0,0013	C2	
ETAPA 2	PI-11	467380	187834	0,0128	2,13E-04	184,32	Basalto	0,6415	C2	<b>0,666</b>
ETAPA 3	PI-17	465611	186834	0,0020	3,33E-05	28,80	Arenisca	0,1698	C3-D4	<b>0,639</b>
ETAPA 3	PI-4	465893	187303	0,0202	3,37E-04	290,88	Arenisca	0,7469	C3-D4	
ETAPA 3	PI-7	466371	187770	0,2852	4,75E-03	4106,88	Arenisca	1	C3-D4	
ETAPA 2	PI-4	466549	188399	0,0002	3,33E-06	2,88	Aluvión	0,0027	C4	<b>0,385</b>
ETAPA 5	PI-G	465954	188862	0,0221	3,68E-04	318,24	Aluvión	0,7667	C4	
ETAPA 2	PI-10A	468627	188876	0,0007	1,17E-05	10,08	Basalto	0,0093	D2	<b>0,666</b>
ETAPA 2	PI-9A	469318	188230	0,0028	4,67E-05	40,32	Basalto	0,2578	D2	
ETAPA 4	PI-7	472169	186315	0,0028	4,67E-05	40,32	Basalto	0,2578	D2	
ETAPA 5	PI-M	471095	188505	0,0031	5,17E-05	44,64	Basalto	0,2844	D2	
ETAPA 1	PI-12	470172	186563	0,0134	2,23E-04	192,96	Basalto	0,6524	D2	
ETAPA 4	PI-6	471644	185747	0,0149	2,48E-04	214,56	Basalto	0,6774	D2	
ETAPA 1	PI-1	471701	188136	0,0140	2,33E-04	201,60	Basalto	0,6627	D2	
ETAPA 1	PI-14	471357	185705	0,0232	3,87E-04	334,08	Basalto	0,7772	D2	
ETAPA 4	PI-4	471051	184856	0,0443	7,38E-04	637,92	Basalto	0,9031	D2	
ETAPA 1	PI-11	469680	187182	0,0575	9,58E-04	828,00	Basalto	0,9435	D2	
ETAPA 3	PI-10	469716	187572	0,0651	1,09E-03	937,44	Basalto	0,9598	D2	
ETAPA 2	PI-3A	468754	189072	0,0712	1,19E-03	1025,28	Basalto	0,9701	D2	
ETAPA 2	PI-4A	469000	188700	0,0817	1,36E-03	1176,48	Basalto	0,9836	D2	
ETAPA 2	PI-6A	469400	189157	0,1074	1,79E-03	1546,56	Basalto	0,9996	D2	
ETAPA 4	PI-8	472181	187237	0,1143	1,91E-03	1645,92	Basalto	1	D2	
ETAPA 1	PI-13	470267	186266	0,1290	2,15E-03	1857,60	Basalto	1	D2	

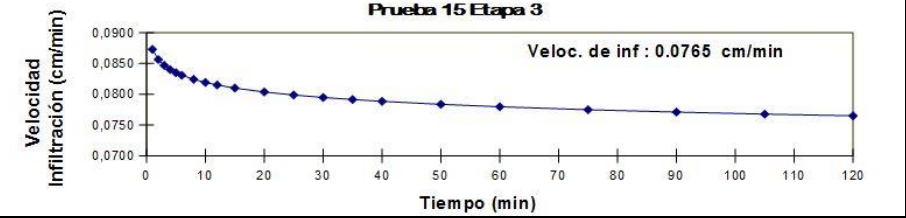
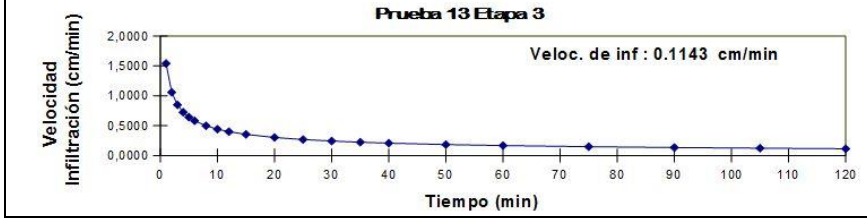
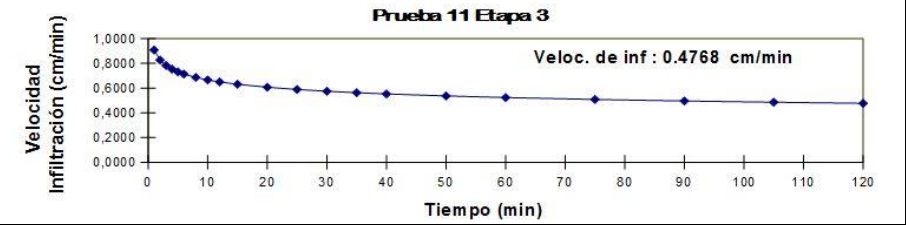
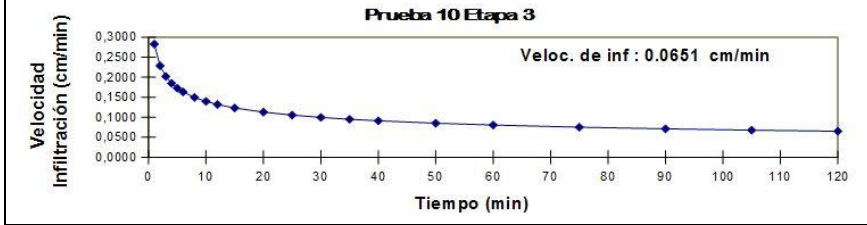
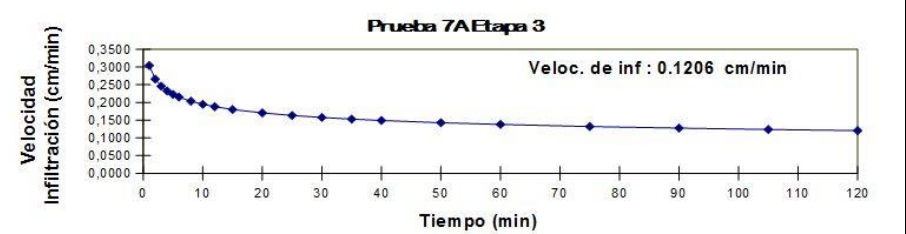
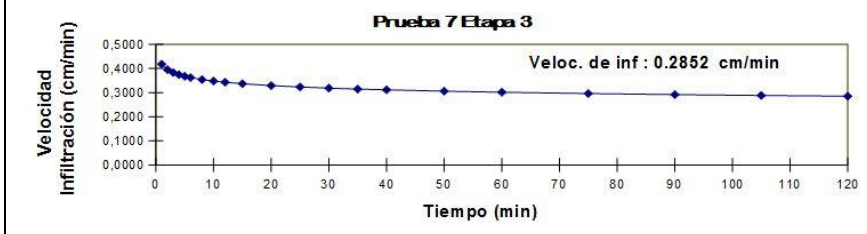
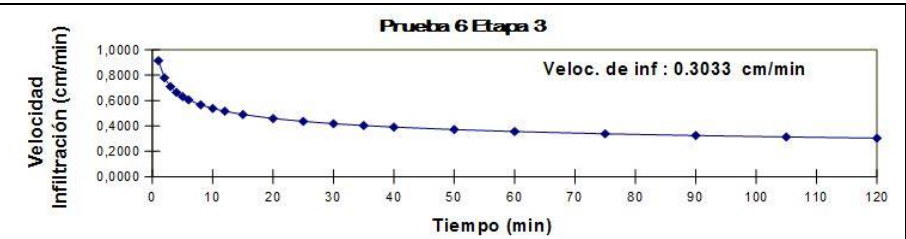
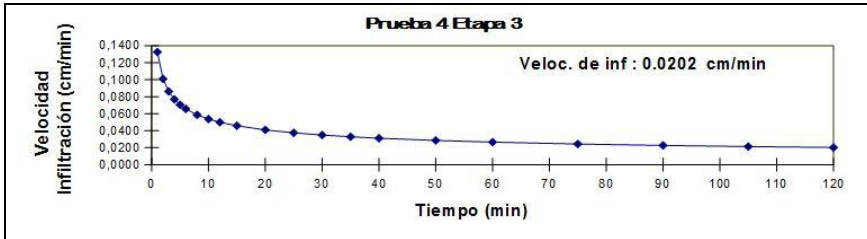
Cuadro de correlación de valores de infiltración con Subunidades Geológicas de Recarga  
(continuación)

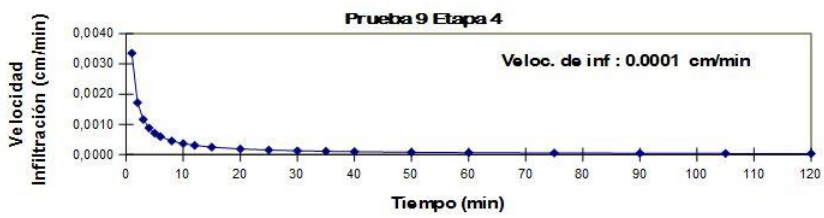
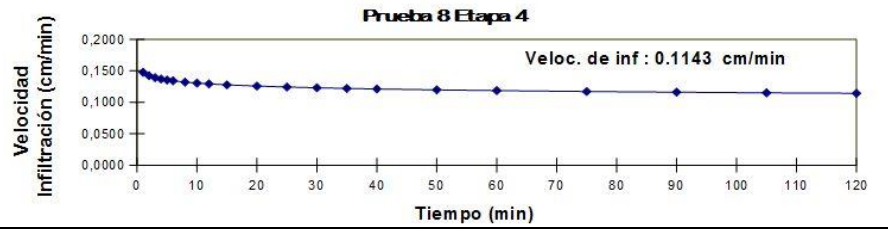
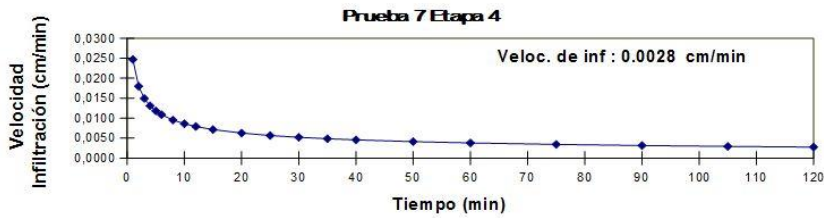
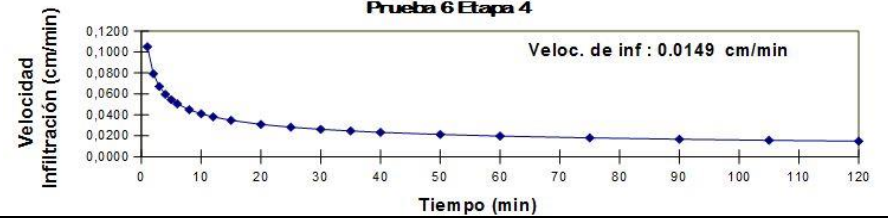
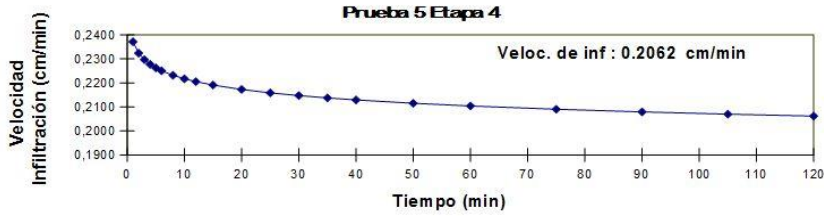
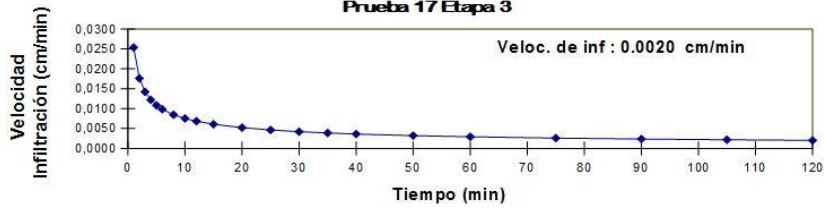
ETAPA	PI	X	Y	fc (cm/min)	fc (cm/s)	fc (mm/d)	Litología	Kfc	Unidad de Recarga	Kfc Promedio
ETAPA 5	PI-P	471471	185128	0,0074	1,23E-04	106,56	Aluvión	0,5071	D1	<b>0,754</b>
ETAPA 4	PI-5	471540	184706	0,2062	3,44E-03	2969,28	Aluvión	1	D1	
ETAPA 4	PI-12	467725	189222	0,0002	3,33E-06	2,88	Aluvión	0,0027	D3	<b>0,544</b>
ETAPA 2	PI-9	466400	188898	0,0011	1,83E-05	15,84	Aluvión	0,0147	D3	
ETAPA 2	PI-5A	469725	188469	0,0134	2,23E-04	192,96	Aluvión	0,6524	D3	
ETAPA 5	PI-T	466863	189059	0,0165	2,75E-04	237,60	Aluvión	0,7011	D3	
ETAPA 2	PI-3	467325	189670	0,0512	8,53E-04	737,28	Aluvión	0,9265	D3	
ETAPA 2	PI-2A	468290	189380	0,0678	1,13E-03	976,32	Aluvión	0,9646	D3	
ETAPA 4	PI-20	464392	189210	0,0719	1,20E-03	1035,36	Arenisca	0,9712	E1	<b>0,985</b>
ETAPA 2	PI-6	465139	190174	0,0821	1,37E-03	1182,24	Arenisca	0,984	E1	
ETAPA 4	PI-19	464479	188400	0,1389	2,32E-03	2000,16	Arenisca	1	E1	
ETAPA 2	PI-5	465845	189153	0,0023	3,83E-05	33,12	Aluvión	0,2064	E2	<b>0,480</b>
ETAPA 4	PI-15	464875	189598	0,0026	4,33E-05	37,44	Aluvión	0,2385	E2	
ETAPA 4	PI-14	465446	189163	0,0980	1,63E-03	1411,20	Aluvión	0,996	E2	
ETAPA 2	PI-10	466374	190962	0,0150	2,50E-04	216,00	Arenisca	0,6789	F1	<b>0,679</b>
ETAPA 2	PI-1	467118	191341	0,0005	8,33E-06	7,20	Aluvión	0,0067	F2	<b>0,350</b>
ETAPA 2	PI-2	467602	190646	0,0160	2,67E-04	230,40	Aluvión	0,6939	F2	

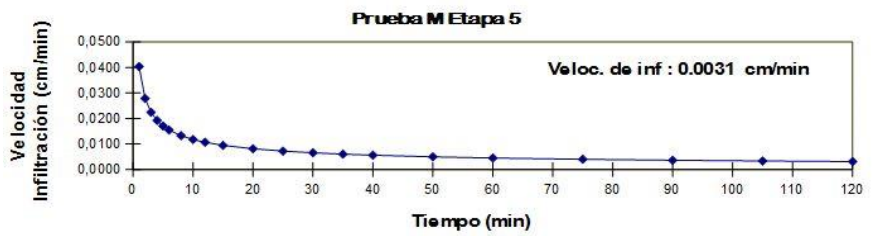
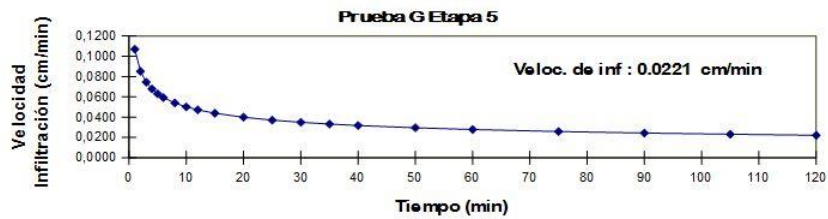
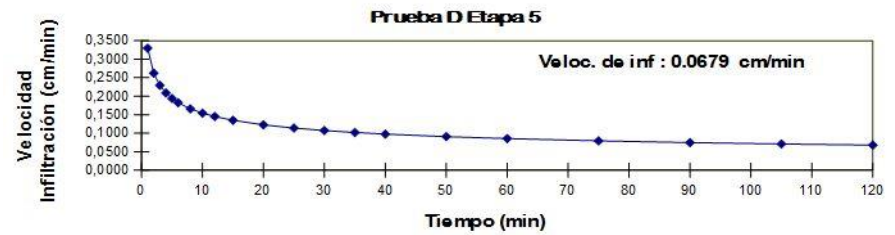
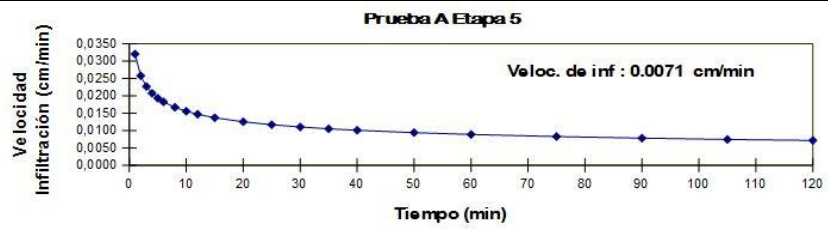
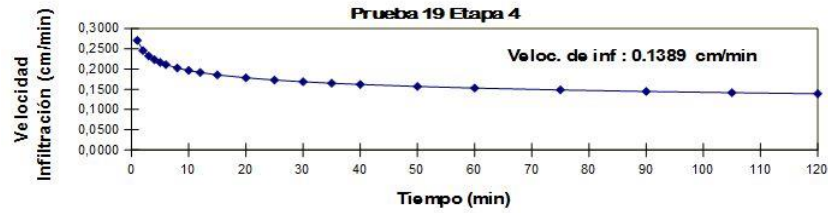
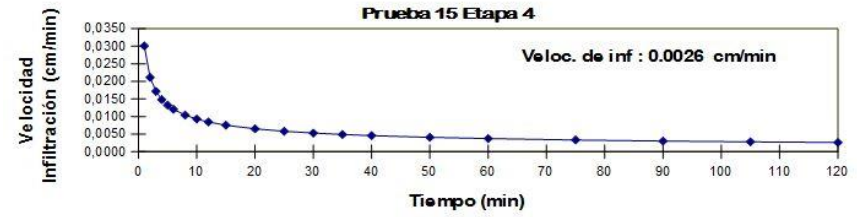


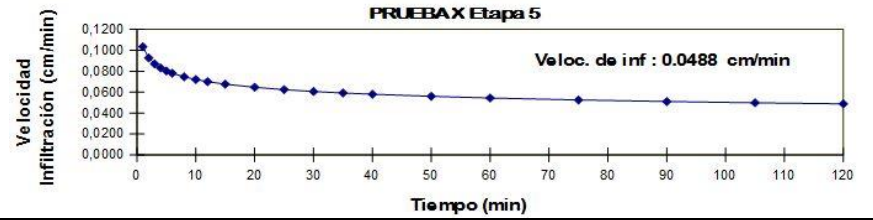
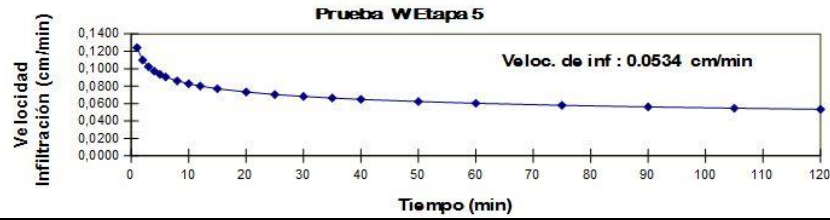
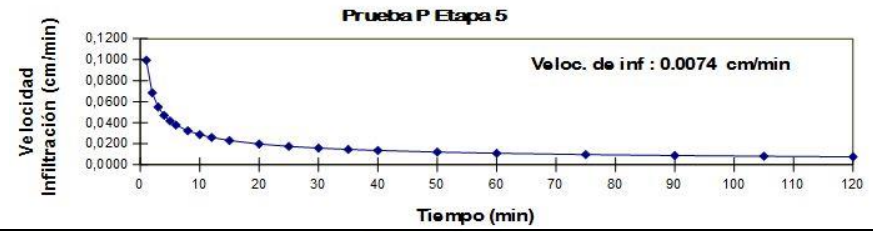
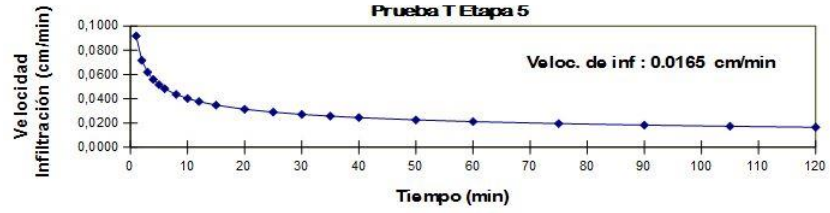












**12.5 ANEXO 5**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELO**





SGR	Código de Muestra	X	Y	Capacidad de Campo (0,33) (%) por peso seco	Capacidad de Campo (%) por volumen	Punto de Marchitez (15,0) (%) por peso seco	Punto de Marchitez (%) por volumen	Porcentaje de Agua Útil (%)	Densidad Aparente	Densidad Real	Porcentaje de Porosidad	Peso Saturado	Peso Húmedo	Peso Seco	Tipo de suelo
C2	AG-27	467322	188378	40,25	<b>44,6775</b>	21,49	<b>23,85</b>	18,76	1,11	2,13	47,89	129,1	122,6	116,5	Limo de alta plasticidad con arena (MH)

SGR	Código de Muestra	X	Y	Capacidad de Campo (0,33) (%) por peso seco	Capacidad de Campo (%) por volumen	Punto de Marchitez (15,0) (%) por peso seco	Punto de Marchitez (%) por volumen	Porcentaje de Agua Útil (%)	Densidad Aparente	Densidad Real	Porcentaje de Porosidad	Peso Saturado	Peso Húmedo	Peso Seco	Tipo de suelo
C3	AG-06	466478	187853	33,44	39,7936	21,56	25,66	11,88	1,19	1,22	46,15	141,2	129,5	116,8	Arena Limosa (SM)
C3	AG-25	465995	187623	41,19	47,3685	22,14	25,46	19,05	1,15	2,19	47,85	136,9	127,1	115,1	Limo de alta plasticidad con arena (MH)
C3	AG-21	465733	187002	37,15	42,351	20,46	23,32	16,69	1,14	2,19	47,95	122,4	113,4	104,6	Limo de baja plasticidad con arena (ML)
<b>Promedio</b>					<b>43,17103333</b>		<b>24,81</b>								

SGR	Código de Muestra	X	Y	Capacidad de Campo (0,33) (%) por peso seco	Capacidad de Campo (%) por volumen	Punto de Marchitez (15,0) (%) por peso seco	Punto de Marchitez (%) por volumen	Porcentaje de Agua Útil (%)	Densidad Aparente	Densidad Real	Porcentaje de Porosidad	Peso Saturado	Peso Húmedo	Peso Seco	Tipo de suelo
C4	AG-09	465807	188952	38,42	<b>42,6462</b>	21,55	<b>23,92</b>	16,87	1,11	2,09	46,89	137,3	128,5	120,1	Arena arcillosa (SC)

SGR	Código de Muestra	X	Y	Capacidad de Campo (0,33) (%) por peso seco	Capacidad de Campo (%) por volumen	Punto de Marchitez (15,0) (%) por peso seco	Punto de Marchitez (%) por volumen	Porcentaje de Agua Útil (%)	Densidad Aparente	Densidad Real	Porcentaje de Porosidad	Peso Saturado	Peso Húmedo	Peso Seco	Tipo de suelo
D1	AG-01	471543	184715	37,29	<b>42,8835</b>	20,66	<b>23,76</b>	16,63	1,15	2,18	47,24	128,9	120,7	105,9	Arena Limosa (SM)







## Resumen de Análisis de Laboratorio CACISA

## Resultados de Límites de Atterberg, Análisis Granulométrico y Gravedad Específica del Suelo

Código de Muestra	X	Y	Tipo de suelo	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Tamiz 1 1/2	Tamiz 1	Tamiz 3/4	Tamiz 1/2	Tamiz 3/8	Tamiz No. 4	Tamiz No. 10	Tamiz No. 40	Tamiz No.200	Gravedad Esp.
AG-1	471543	184715	Arena Limosa (SM)	61	34	27	no tiene	no tiene	no tiene	100	95	86	74	55	42,8	2,631
AG-2	471050	184842	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	31	20	11	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	99	93	76	51,6	2,67
AG-3	469360	188207	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	36	22	14	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	99	97	85	59,7	2,547
AG-4	469705	188452	Arena Limosa (SM)	36	24	12	100	86	no tiene	85	85	84	81	55	32,9	2,379
AG-5	469151	189182	Limo de baja plasticidad arenoso (ML)	46	30	16	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	98	82	65,1	2,602
AG-6	466478	187853	Arena Limosa (SM)	55	30	25	no tiene	no tiene	100	96	91	78	64	47	37	2,793
AG-7	467791	189374	Arena Limosa (SM)	48	29	19	no tiene	no tiene	100	98	95	79	59	38	25,8	2,641
AG-8	466907	189042	Limo de baja plasticidad arenoso (ML)	48	29	20	no tiene	no tiene	100	100	99	97	92	83	66	2,625
AG-9	465807	188952	Arena arcillosa (SC)	31	22	10	no tiene	100	95	no tiene	no tiene	88	77	53	21,9	2,711
AG-10	467489	189879	Limo de alta plasticidad arenoso (MH)	68	40	29	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	99	84	57	2,547
AG-11	466182	190944	Arcilla de alta plasticidad (CH)	75	35	41	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	100	99	93,5	2,519
AG-12	467093	191363	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	54	31	23	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	98	94	74,3	2,641
AG-13	464866	189574	Arcilla arenosa (CL)	48	32	16	no tiene	no tiene	100	98	97	96	95	84	60,9	2,666
AG-14	465221	190302	Arcilla de alta plasticidad con arena (CH)	68	32	36	no tiene	no tiene	100	99	99	98	93	83	74,8	2,659
AG-15	465139	188809	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	65	35	29	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene	100	100	100	97	84,2	2,471
AG-16	464080	187805	Arcilla arenosa (CH)	58	28	30	no tiene	no tiene	no tiene	100	99	95	87	78	56,7	2,634

Código de Muestra	X	Y	Tipo de suelo	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Tamiz 1 1/2	Tamiz 1	Tamiz 3/4	Tamiz 1/2	Tamiz 3/8	Tamiz No. 4	Tamiz No. 10	Tamiz No. 40	Tamiz No.200	Gravedad Esp.
AG-17	463956	187642	Grava limosa con arena (GM)	49	31	19	no tiene	100	97	83	74	66	56	45	33,7	2,57
AG-18	463279	187266	Arena arcillosa (SC)	64	31	33	no tiene	100	100	100	100	85	66	48	38,4	2,431
AG-19	464452	187019	Limo de alta plasticidad (MH)	65	38	27	no tiene	100	100	100	100	100	100	99	87,9	2,537
AG-20	465364	186544	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	52	29	23	no tiene	100	100	100	100	100	100	99	79,6	2,684
AG-21	465733	187002	Limo de baja plasticidad con arena (ML)	45	27	18	no tiene	100	100	95	94	86	80	71	57,7	2,655
AG-22	465233	185947	Arena limosa con grava (SM)	75	43	32	no tiene	100	100	98	89	71	56	41	32,6	2,676
AG-23	462815	185312	Limo de alta plasticidad (MH)	69	39	31	no tiene	100	100	100	100	99	98	94	85,9	2,447
AG-24	462654	185585	Limo de alta plasticidad (MH)	50	35	15	no tiene	100	100	100	100	100	100	100	87,8	2,55
AG-25	465995	187623	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	75	50	25	no tiene	100	100	100	100	100	100	98	84,2	2,583
AG-26	465594	189272	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	52	29	24	no tiene	100	100	100	100	100	99	94	74,5	2,566
AG-27	467322	188378	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	72	35	37	no tiene	100	100	100	100	100	98	91	83,5	2,688
AG-28	466747	187737	Limo de alta plasticidad (MH)	62	33	29	no tiene	100	100	100	99	99	99	98	91,5	2,521
AG-29	468981	188733	Limo de baja plasticidad (ML)	50	29	20	no tiene	100	100	100	100	100	100	99	88,6	2,633
AG-30	469670	187172	Limo de alta plasticidad con arena (MH)	65	42	24	100	90	89	88	87	87	87	86	81,3	2,654
AG-31	471099	188503	Limo de alta plasticidad (MH)	85	48	37	no tiene	no tiene	100	100	100	100	100	100	98,2	2,54
AG-32	467610	190614	Limo de alta plasticidad (MH)	67	41	26	no tiene	no tiene	100	100	100	100	99	98	93,5	2,677
AG-33	468177	189372	Arcilla de alta plasticidad con arena (CH)	57	29	28	no tiene	no tiene	100	98	96	91	85	76	65,6	2,655
AG-34	466360	188945	Limo de alta plasticidad (MH)	66	36	30	100	100	98	97	97	97	96	94	89,6	2,408
AG-35	466626	188536	Arena arcillosa (SC)	42	24	18	100	88	87	86	81	74	64	46	33,1	2,702
AG-36	464622	186250	Limo de alta plasticidad (MH)	53	36	17	100	100	100	100	100	100	100	100	96,3	2,603
AG-37	464198	187382	Arcilla de alta plasticidad (CH)	74	30	44	100	100	100	100	100	100	99	98	92,7	2,487
AG-38	467642	190101	Limo de alta plasticidad (MH)	68	37	31	100	100	100	100	100	100	99	99	95,6	2,658
AG-39	464749	186908	Limo de alta plasticidad (MH)	70	34	36	100	100	100	100	100	100	100	100	93,6	2,57
AG-40	472235	187199	Limo de alta plasticidad (MH)	71	38	33	100	100	100	100	100	100	100	99	92,1	2,565

**12.6 ANEXO 6**  
**DATOS DEL MONITOREO DE POZOS**

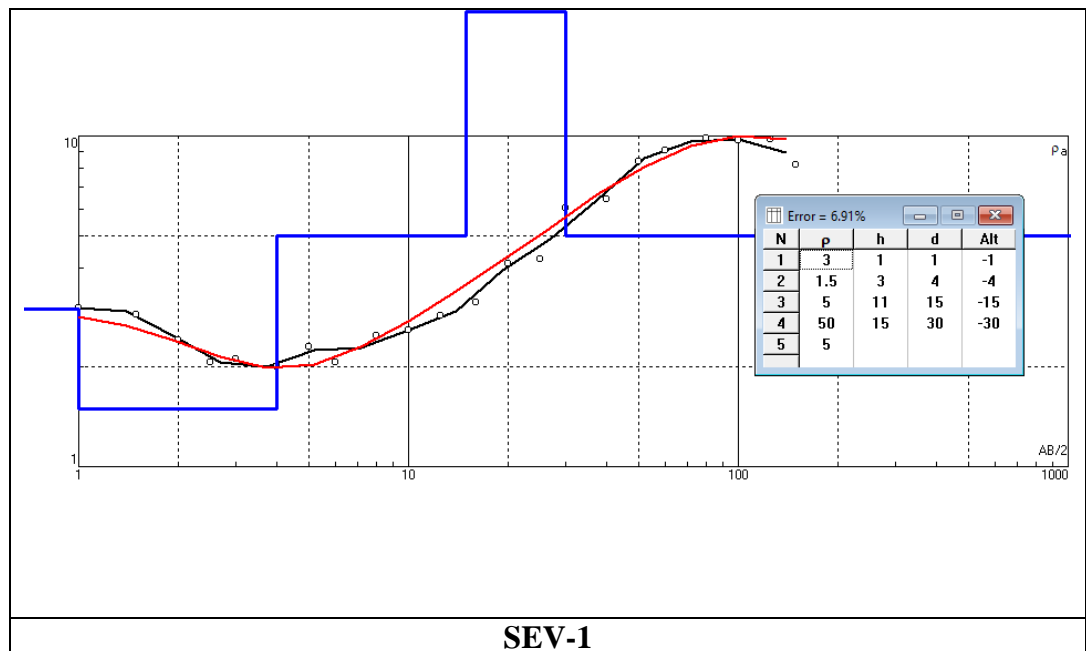




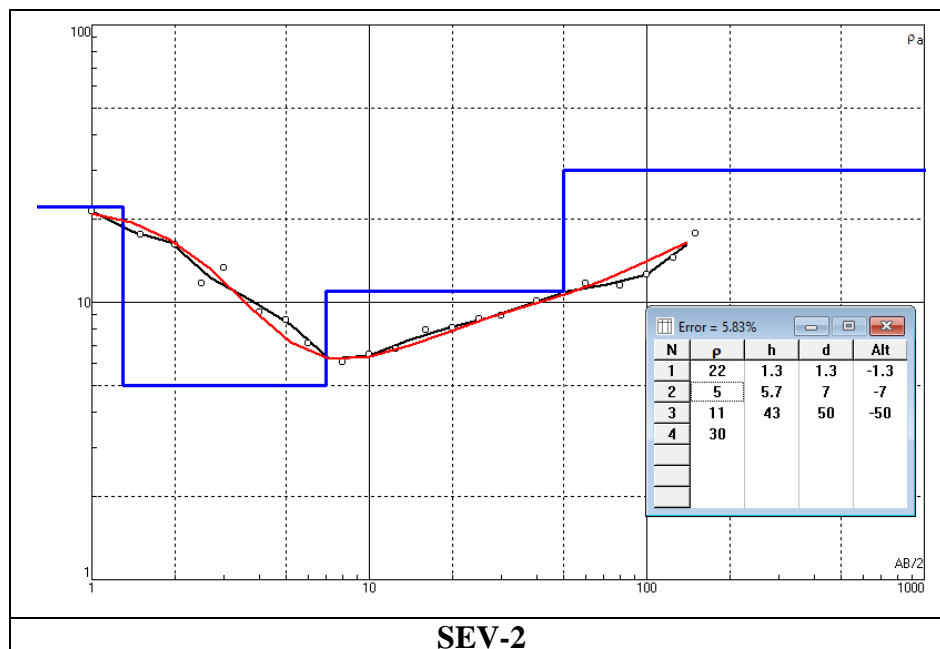


**12.7 ANEXO 7**  
**SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES**

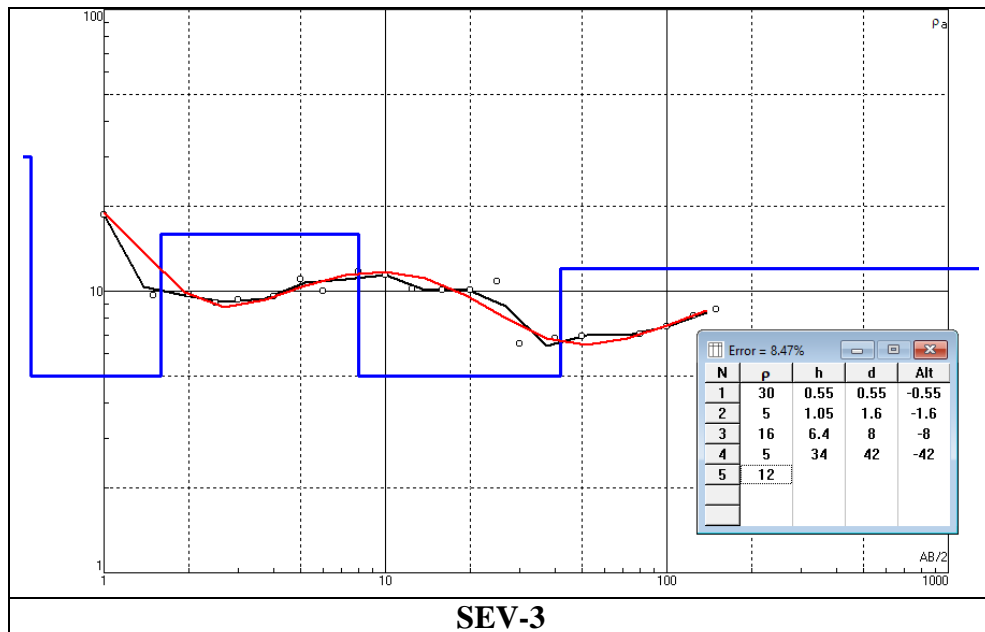
SEV-1			Coordenadas: 463577 E / 187804 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega^*m$	Ciclos
1	0,25	5,89	0,5120	3,02	2
1,5	0,25	13,74	0,2100	2,89	2
2	0,25	24,74	0,0980	2,42	2
2,5	0,25	38,88	0,0530	2,06	2
3	0,25	56,16	0,0376	2,11	3
4	0,25	100,14	0,0201	2,01	3
5	0,25	156,69	0,0147	2,31	3
6	0,25	225,80	0,0068	2,07	3
8	0,25	401,73	0,0062	2,48	3
10	0,25	627,93	0,0041	2,58	3
10	1	155,51	0,0193	3,01	3
12,5	1	243,87	0,0137	3,34	3
16	1	400,55	0,0092	3,67	3
20	1	626,75	0,0076	4,79	3
25	1	980,18	0,0051	4,96	3
30	1	1412,15	0,0050	7,04	3
40	1	2511,70	0,0030	7,53	3
50	1	3925,42	0,0025	9,80	3
50	5	777,54	0,0093	7,26	3
60	5	1123,12	0,0070	7,81	3
80	5	2002,76	0,0042	8,49	3
100	5	3133,74	0,0027	8,40	3
125	5	4900,88	0,0017	8,42	3
150	5	7060,73	0,0014	7,06	3



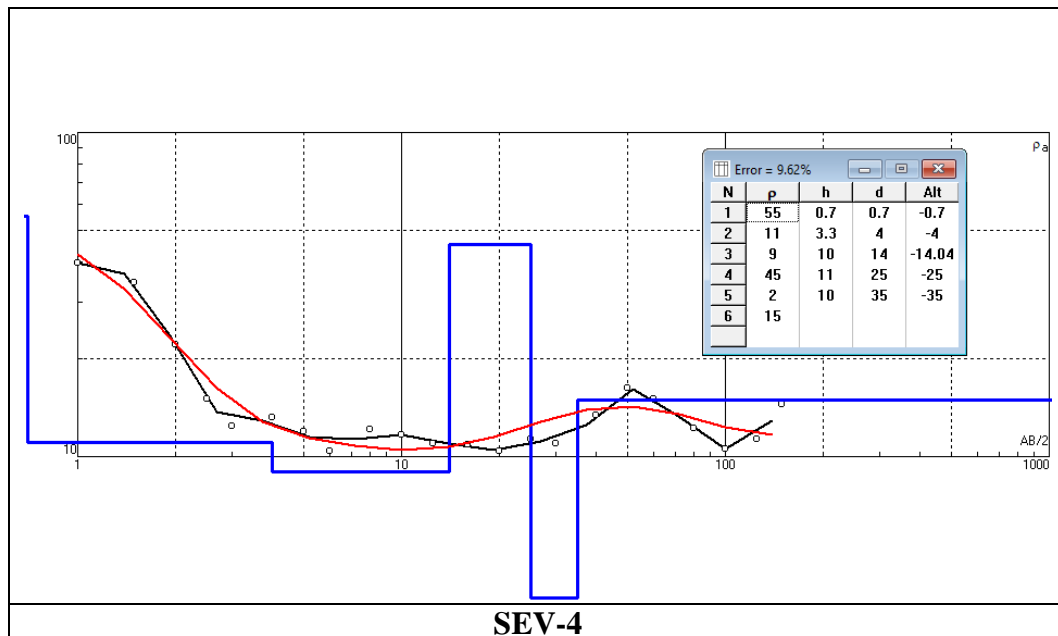
SEV-2			Coordenadas: 463601 E / 187647 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	3,603	21,22	2
1.5	0,25	13,74	1,279	17,57	2
2	0,25	24,74	0,654	16,18	2
2.5	0,25	38,88	0,3	11,66	2
3	0,25	56,16	0,236	13,25	2
4	0,25	100,14	0,09171	9,18	2
5	0,25	156,69	0,05496	8,61	3
6	0,25	225,80	0,03142	7,09	3
8	0,25	401,73	0,01514	6,08	3
10	0,25	627,93	0,008526	5,35	3
10	1	155,51	0,05025	7,81	3
12.5	1	243,87	0,02794	6,81	3
16	1	400,55	0,01975	7,91	3
20	1	626,75	0,01033	8,07	3
25	1	980,18	0,008843	8,67	4
30	1	1412,15	0,006356	8,98	4
40	1	2511,70	0,004043	10,15	4
50	1	3925,42	0,002804	11,01	4
50	5	777,54	0,01351	10,50	4
60	5	1123,12	0,01044	11,73	4
80	5	2002,76	0,005732	11,48	4
100	5	3133,74	0,004032	12,64	4
125	5	4900,88	0,002963	14,52	4
150	5	7060,73	0,002507	17,70	4
Datos excluidos del SEV					



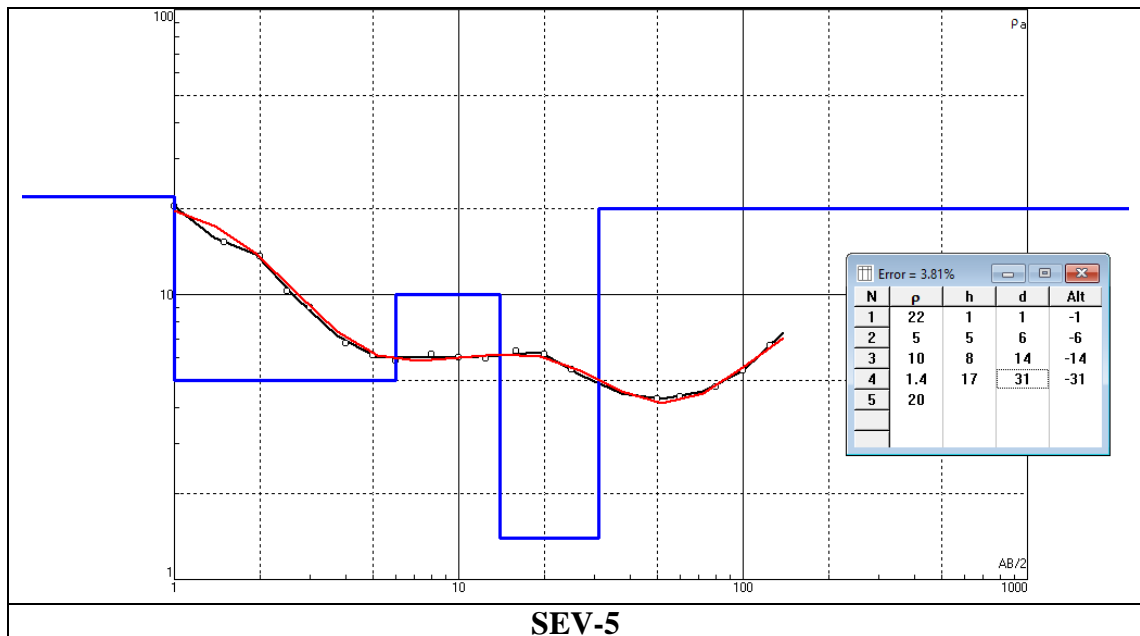
SEV-3			Coordenadas: 463943 E / 187480 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	3,162	18,62	2
1.5	0,25	13,74	0,705	9,69	2
2	0,25	24,74	0,395	9,77	2
2.5	0,25	38,88	0,2333	9,07	2
3	0,25	56,16	0,1667	9,36	2
4	0,25	100,14	0,09519	9,53	2
5	0,25	156,69	0,07032	11,02	3
6	0,25	225,80	0,04442	10,03	3
8	0,25	401,73	0,02917	11,72	3
10	0,25	627,93	0,01842	11,57	3
10	1	155,51	0,07247	11,27	3
12.5	1	243,87	0,04166	10,16	3
16	1	400,55	0,02528	10,13	3
20	1	626,75	0,01617	10,13	3
25	1	980,18	0,011	10,78	4
30	1	1412,15	0,00389	6,49	4
40	1	2511,70	0,0027	6,78	4
50	1	3925,42	0,0018228	7,16	4
50	5	777,54	0,008659	6,73	4
60	5	1123,12	0,008659	9,73	4
80	5	2002,76	0,002518	7,04	4
100	5	3133,74	0,002384	7,47	4
125	5	4900,88	0,001663	8,15	4
150	5	7060,73	0,001218	8,60	4
Datos excluidos del SEV					



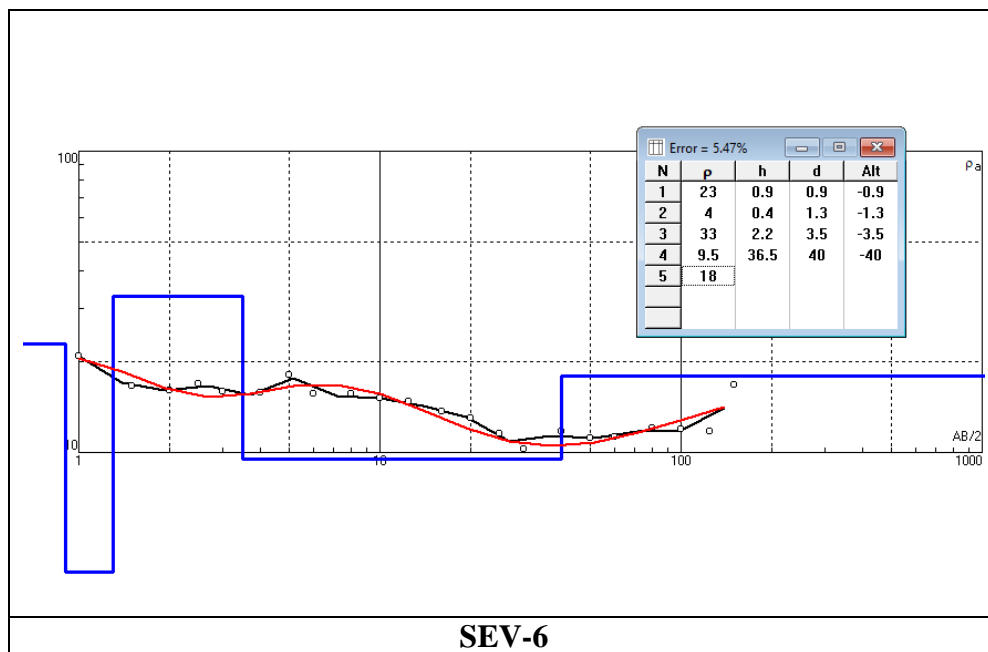
SEV-4			Coordenadas: 464073 E / 187415 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	6,725	39,61	2
1.5	0,25	13,74	2,507	34,45	2
2	0,25	24,74	0,8956	22,16	2
2.5	0,25	38,88	0,3869	15,04	2
3	0,25	56,16	0,221	12,41	2
4	0,25	100,14	0,132	13,22	2
5	0,25	156,69	0,07615	11,93	2
6	0,25	225,80	0,0461	10,41	2
8	0,25	401,73	0,0301	12,09	2
10	0,25	627,93	0,01852	11,63	2
10	1	155,51	0,0826	12,85	2
12.5	1	243,87	0,02947	12,20	2
16	1	400,55	0,03	12,02	2
20	1	626,75	0,01832	11,48	2
25	1	980,18	0,01279	12,54	2
30	1	1412,15	0,008588	12,13	2
40	1	2511,70	0,005906	14,83	2
50	1	3925,42	0,004575	17,96	2
50	5	777,54	0,01624	12,63	4
60	5	1123,12	0,01044	11,73	4
80	5	2002,76	0,01002	9,49	4
100	5	3133,74	0,00261	8,18	4
125	5	4900,88	0,001791	8,78	4
150	5	7060,73	0,001596	11,27	4
Datos excluidos del SEV					



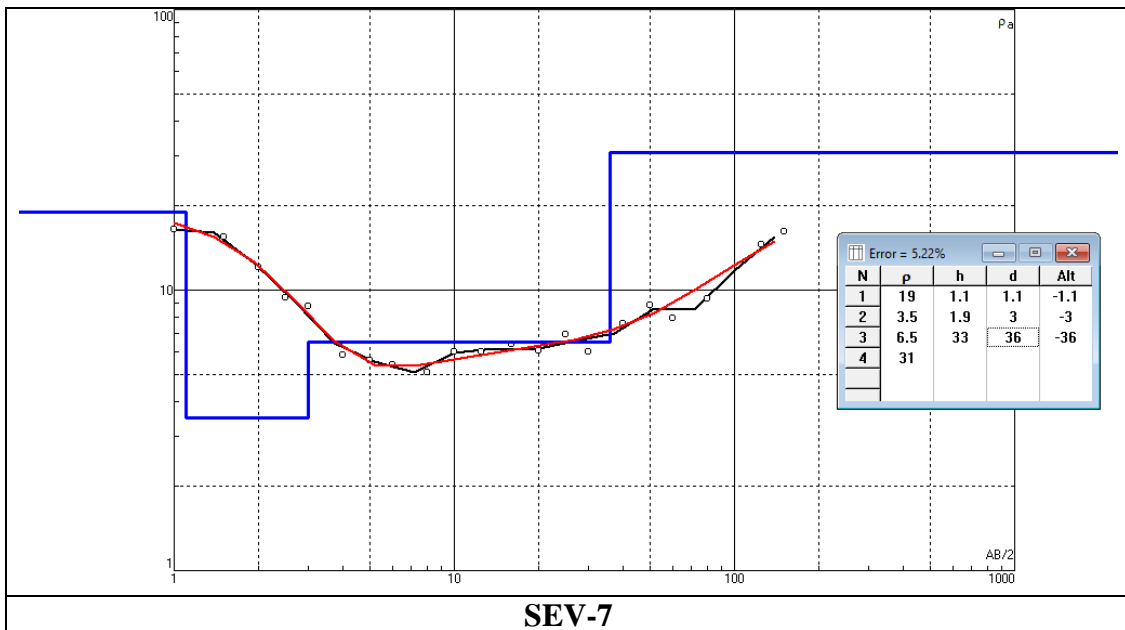
SEV-5			Coordenadas: 464206 E / 187203 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	3,459	20,37	2
1.5	0,25	13,74	1,107	15,21	2
2	0,25	24,74	0,5506	13,62	2
2.5	0,25	38,88	0,264	10,26	2
3	0,25	56,16	0,1607	9,02	2
4	0,25	100,14	0,06725	6,73	2
5	0,25	156,69	0,039	6,11	2
6	0,25	225,80	0,026	5,87	2
8	0,25	401,73	0,01535	6,17	2
10	0,25	627,93	0,0096	6,03	3
10	1	155,51	0,04299	6,69	3
12.5	1	243,87	0,02712	6,61	3
16	1	400,55	0,0176	7,05	3
20	1	626,75	0,01095	6,86	3
25	1	980,18	0,00615	6,03	3
30	1	1412,15	0,003388	4,78	3
40	1	2511,70	0,00435	10,93	3
50	1	3925,42	0,0018	7,07	4
50	5	777,54	0,008588	6,68	4
60	5	1123,12	0,00434	4,87	4
80	5	2002,76	0,003091	6,19	4
100	5	3133,74	0,001678	5,26	4
125	5	4900,88	0,00122	5,98	4
150	5	7060,73	0,001044	7,37	4
Datos excluidos del SEV					



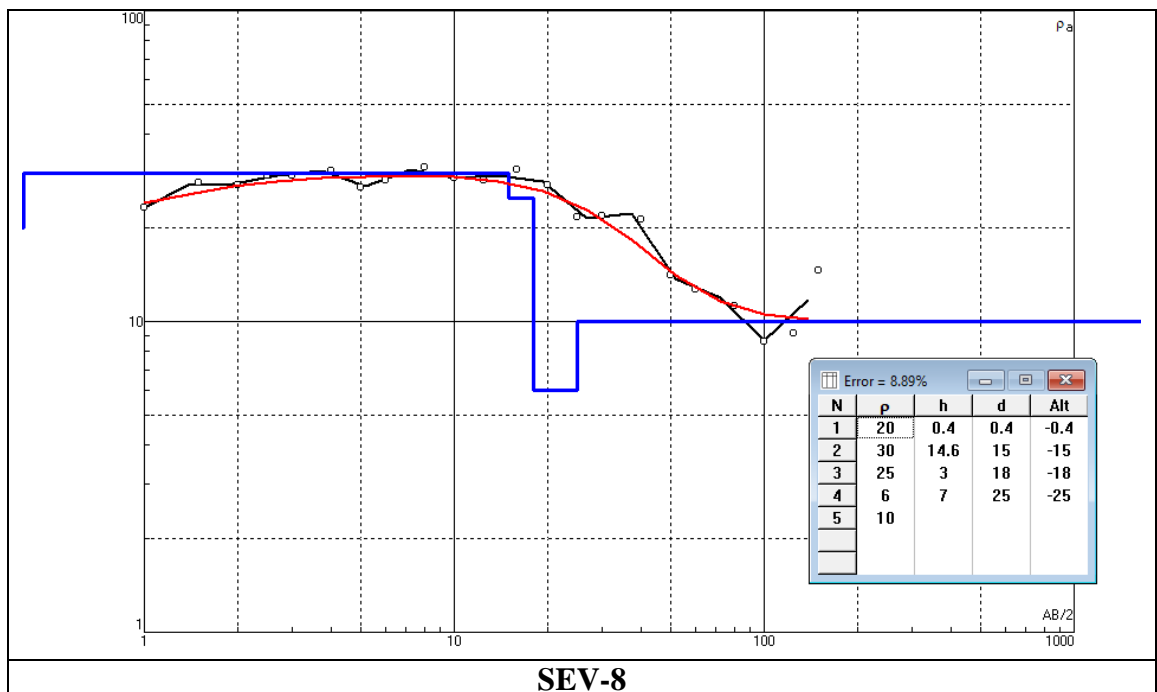
SEV-6			Coordenadas: 464638 E / 187127 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	3,551	20,92	2
1.5	0,25	13,74	1,207	16,58	2
2	0,25	24,74	0,649	16,06	2
2.5	0,25	38,88	0,434	16,87	2
3	0,25	56,16	0,2845	15,98	2
4	0,25	100,14	0,1576	15,78	2
5	0,25	156,69	0,1156	18,11	2
6	0,25	225,80	0,0691	15,60	2
8	0,25	401,73	0,0391	15,71	2
10	0,25	627,93	0,02333	14,65	2
10	1	155,51	0,1003	15,60	2
12.5	1	243,87	0,0605	14,75	2
16	1	400,55	0,03418	13,69	2
20	1	626,75	0,02077	13,02	2
25	1	980,18	0,01177	11,54	2
30	1	1412,15	0,007267	10,26	2
40	1	2511,70	0,004677	11,75	2
50	1	3925,42	0,002927	11,49	2
50	5	777,54	0,01402	10,90	2
60	5	1123,12	0,01001	11,24	2
80	5	2002,76	0,006018	12,05	4
100	5	3133,74	0,0038	11,91	4
125	5	4900,88	0,0024	11,76	4
150	5	7060,73	0,002364	16,69	4



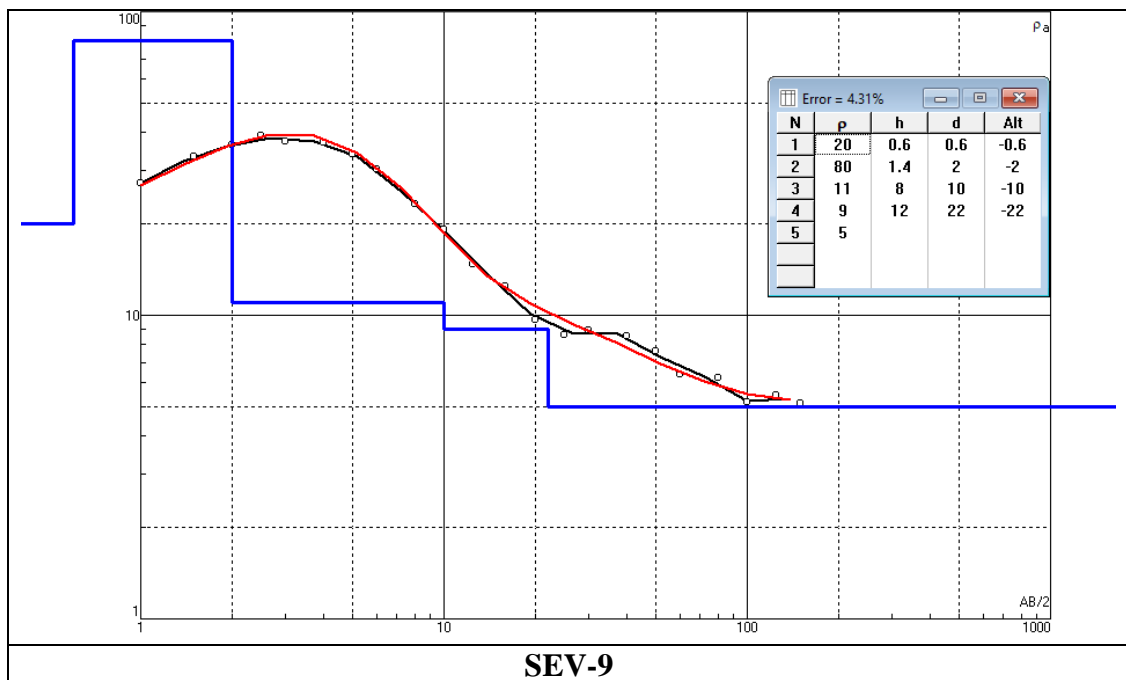
SEV-7			Coordenadas: 463582 E / 187744 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	2,784	16,40	2
1.5	0,25	13,74	1,125	15,46	2
2	0,25	24,74	0,4851	12,00	2
2.5	0,25	38,88	0,2415	9,39	2
3	0,25	56,16	0,1555	8,73	2
4	0,25	100,14	0,05885	5,89	2
5	0,25	156,69	0,03579	5,61	3
6	0,25	225,80	0,02395	5,41	4
8	0,25	401,73	0,01269	5,10	4
10	0,25	627,93	0,009499	5,96	4
10	1	155,51	0,03899	6,06	4
12.5	1	243,87	0,02466	6,01	4
16	1	400,55	0,01596	6,39	5
20	1	626,75	0,009724	6,09	4
25	1	980,18	0,007093	6,95	4
30	1	1412,15	0,004278	6,04	4
40	1	2511,70	0,003029	7,61	4
50	1	3925,42	0,002292	9,00	4
50	5	777,54	0,01105	8,59	4
60	5	1123,12	0,007083	7,96	4
80	5	2002,76	0,004671	9,35	4
100	5	3133,74	0,005895	18,47	4
125	5	4900,88	0,002958	14,50	4
150	5	7060,73	0,002292	16,18	4
Datos excluidos del SEV					



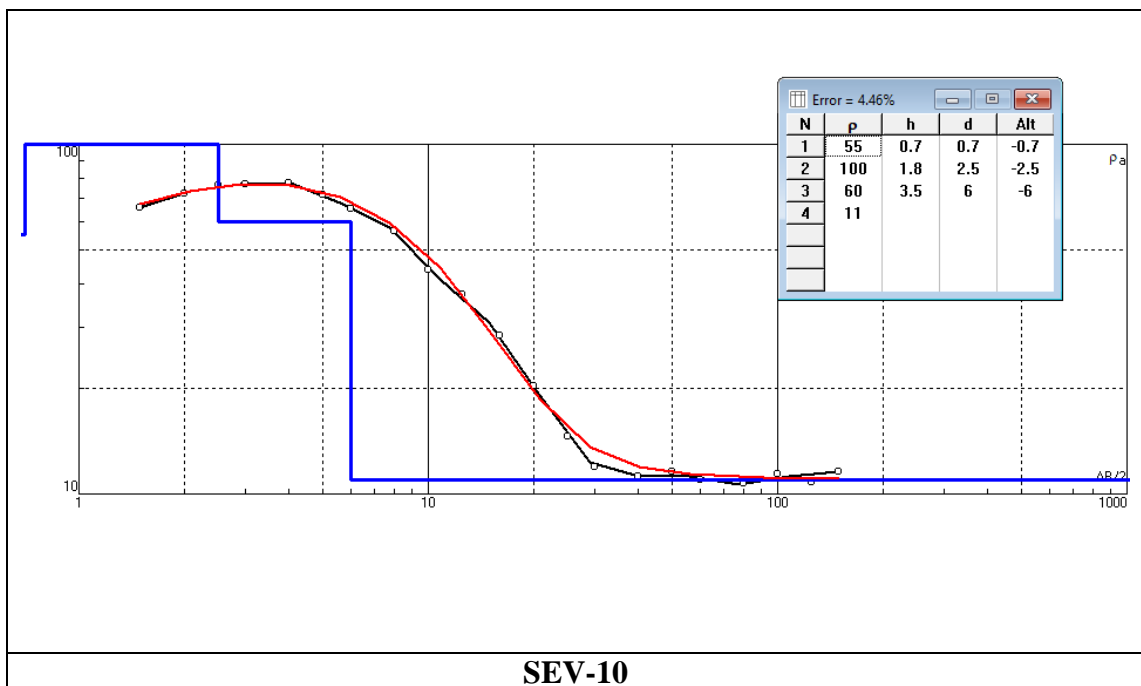
SEV-8			Coordenadas: 467866 E / 189287 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	3,951	23,27	2
1.5	0,25	13,74	2,026	27,84	2
2	0,25	24,74	1,115	27,59	2
2.5	0,25	38,88	0,7584	29,49	2
3	0,25	56,16	0,5251	29,49	2
4	0,25	100,14	0,304	30,44	2
5	0,25	156,69	0,1729	27,09	2
6	0,25	225,80	0,1259	28,43	2
8	0,25	401,73	0,0781	31,38	2
10	0,25	627,93	0,04595	28,85	2
10	1	155,51	0,2036	31,66	4
12.5	1	243,87	0,1279	31,19	4
16	1	400,55	0,08434	33,78	4
20	1	626,75	0,048	30,08	4
25	1	980,18	0,024	23,88	4
30	1	1412,15	0,017	24,01	4
40	1	2511,70	0,009314	23,39	4
50	1	3925,42	0,00394	15,47	4
50	5	777,54	0,01576	12,25	4
60	5	1123,12	0,009775	10,98	4
80	5	2002,76	0,004851	9,72	4
100	5	3133,74	0,002251	7,05	4
125	5	4900,88	0,001627	7,97	4
150	5	7060,73	0,001801	12,72	4



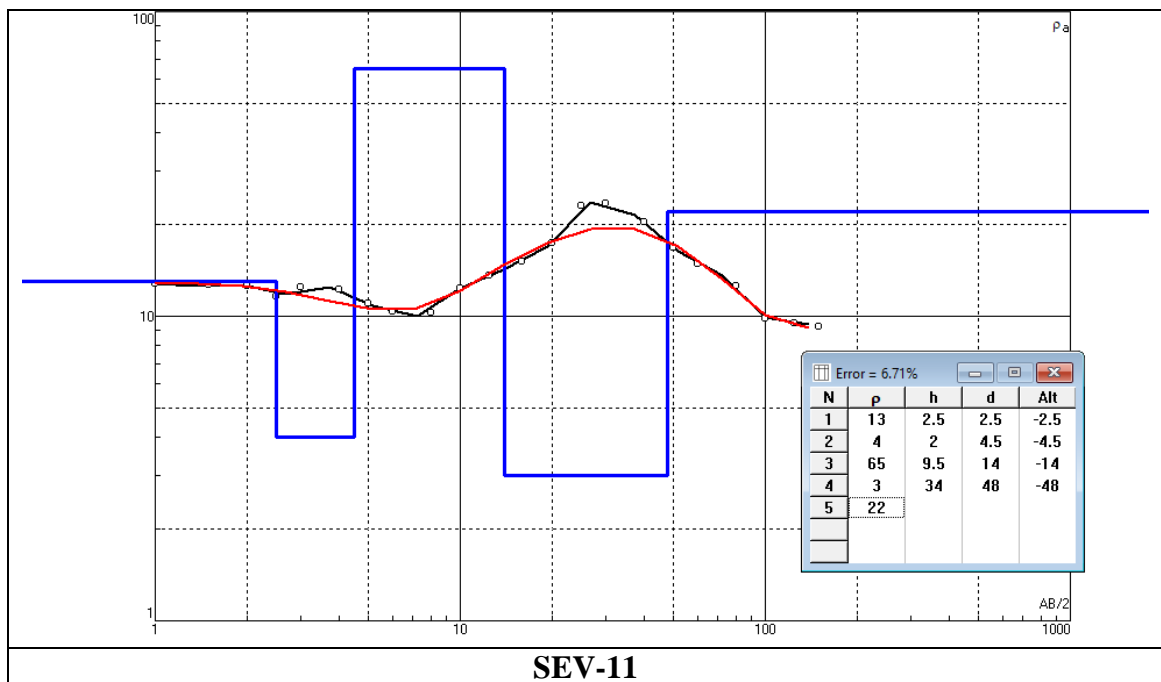
SEV-9			Coordenadas: 466721 E / 189049 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	4,636	27,31	2
1.5	0,25	13,74	2,425	33,32	2
2	0,25	24,74	1,473	36,44	2
2.5	0,25	38,88	1,003	39,00	2
3	0,25	56,16	0,6673	37,48	2
4	0,25	100,14	0,3705	37,10	2
5	0,25	156,69	0,217	34,00	2
6	0,25	225,80	0,134	30,26	2
8	0,25	401,73	0,05773	23,19	2
10	0,25	627,93	0,0304	19,09	2
10	1	155,51	0,1392	21,65	2
12.5	1	243,87	0,06847	16,70	2
16	1	400,55	0,03541	14,18	2
20	1	626,75	0,0175	10,97	2
25	1	980,18	0,009928	9,73	2
30	1	1412,15	0,007175	10,13	2
40	1	2511,70	0,003838	9,64	3
50	1	3925,42	0,00219	8,60	3
50	5	777,54	0,009816	7,63	3
60	5	1123,12	0,005701	6,40	3
80	5	2002,76	0,003121	6,25	3
100	5	3133,74	0,001658	5,20	3
125	5	4900,88	0,001125	5,51	3
150	5	7060,73	0,001729	5,14	3



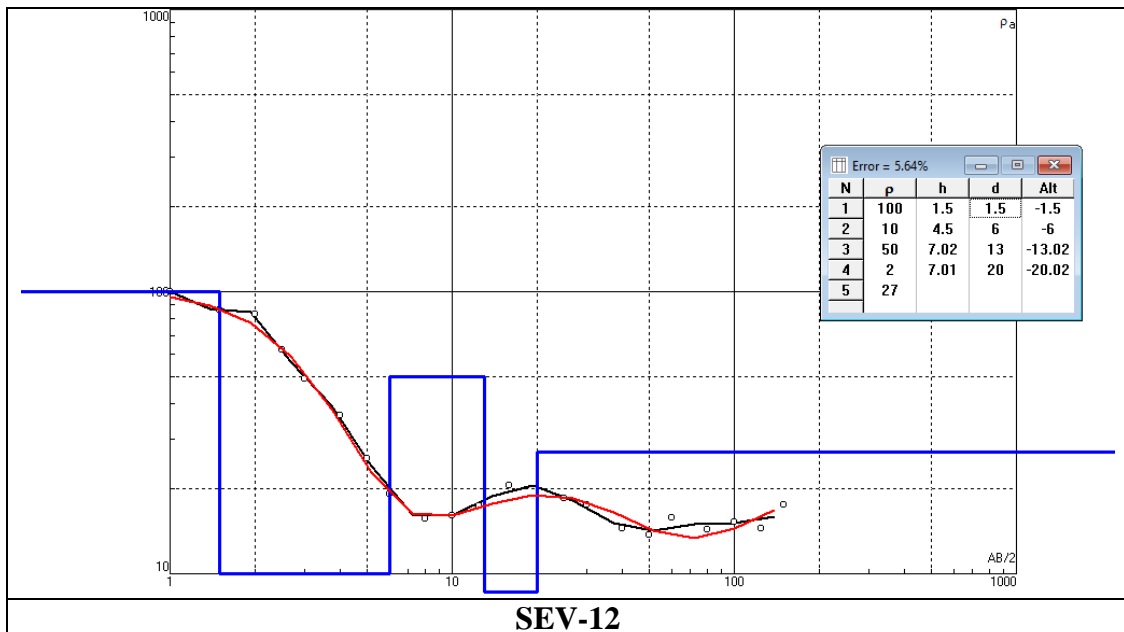
SEV-10			Coordenadas: 466030 E / 189060 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	11,15	65,67	2
1.5	0,25	13,74	5,271	72,42	2
2	0,25	24,74	3,081	76,22	2
2.5	0,25	38,88	1,975	76,79	2
3	0,25	56,16	1,381	77,56	2
4	0,25	100,14	0,7185	71,95	2
5	0,25	156,69	0,4166	65,28	2
6	0,25	225,80	0,2507	56,61	2
8	0,25	401,73	0,1146	46,04	2
10	0,25	627,93	0,05721	35,92	2
10	1	155,51	0,2395	37,24	2
12.5	1	243,87	0,1166	28,44	2
16	1	400,55	0,05077	20,34	2
20	1	626,75	0,02333	14,62	2
25	1	980,18	0,01218	11,94	2
30	1	1412,15	0,009406	13,28	3
40	1	2511,70	0,005537	13,91	3
50	1	3925,42	0,003429	13,46	3
50	5	777,54	0,01412	10,98	3
60	5	1123,12	0,009509	10,68	3
80	5	2002,76	0,005711	11,44	3
100	5	3133,74	0,003459	10,84	3
125	5	4900,88	0,002364	11,59	3
150	5	7060,73	0,001862	13,15	3



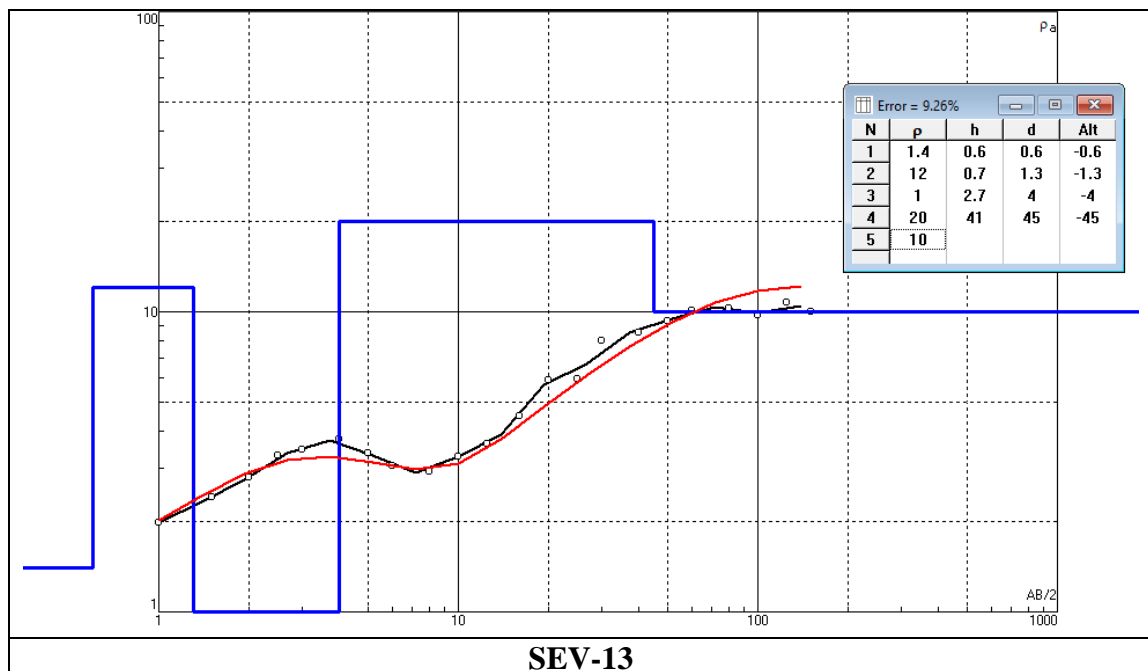
SEV-11			Coordenadas: 465163 E / 189429 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	2,17	12,78	2
1.5	0,25	13,74	0,919	12,63	2
2	0,25	24,74	0,5097	12,61	2
2.5	0,25	38,88	0,2978	11,58	2
3	0,25	56,16	0,2221	12,47	2
4	0,25	100,14	0,1218	12,20	2
5	0,25	156,69	0,07001	10,97	2
6	0,25	225,80	0,04595	10,38	2
8	0,25	401,73	0,02548	10,24	2
10	0,25	627,93	0,01975	12,40	2
10	1	155,51	0,09754	15,17	2
12.5	1	243,87	0,06827	16,65	2
16	1	400,55	0,04636	18,57	2
20	1	626,75	0,03398	21,30	2
25	1	980,18	0,02876	28,19	3
30	1	1412,15	0,02026	28,61	3
40	1	2511,70	0,00993	24,94	3
50	1	3925,42	0,00522	20,49	3
50	5	777,54	0,02384	18,54	3
60	5	1123,12	0,01463	16,43	4
80	5	2002,76	0,00697	13,96	4
100	5	3133,74	0,00348	10,91	4
125	5	4900,88	0,002149	10,53	4
150	5	7060,73	0,001453	10,26	4



SEV-12			Coordenadas: 464906 E / 189920 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	16,99	100,07	2
1.5	0,25	13,74	6,243	85,78	2
2	0,25	24,74	3,367	83,30	2
2.5	0,25	38,88	1,596	62,05	2
3	0,25	56,16	0,8772	49,26	2
4	0,25	100,14	0,3623	36,28	2
5	0,25	156,69	0,1637	25,65	2
6	0,25	225,80	0,08506	19,21	2
8	0,25	401,73	0,03889	15,62	2
10	0,25	627,93	0,02569	16,13	2
10	1	155,51	0,08066	12,54	2
12.5	1	243,87	0,05568	13,58	2
16	1	400,55	0,03992	15,99	2
20	1	626,75	0,02896	18,15	3
25	1	980,18	0,01473	14,44	3
30	1	1412,15	0,009673	13,66	3
40	1	2511,70	0,004473	11,23	3
50	1	3925,42	0,004913	19,29	4
50	5	777,54	0,01371	10,66	4
60	5	1123,12	0,01095	12,30	4
80	5	2002,76	0,005578	11,17	4
100	5	3133,74	0,003777	11,84	4
125	5	4900,88	0,002303	11,29	4
150	5	7060,73	0,001925	13,59	4
Dato excluido del SEV					



SEV-13			Coordenadas: 464759 E / 189661 N		
AB/2	MN/2	k	Resistencia ( $\Omega$ )	Resistividad Aparente $\Omega \cdot m$	Ciclos
1	0,25	5,89	0,3377	1,99	2
1.5	0,25	13,74	0,176	2,42	2
2	0,25	24,74	0,1136	2,81	2
2.5	0,25	38,88	0,08567	3,33	2
3	0,25	56,16	0,06162	3,46	2
4	0,25	100,14	0,03746	3,75	2
5	0,25	156,69	0,02149	3,37	2
6	0,25	225,80	0,01361	3,07	2
8	0,25	401,73	0,007277	2,92	2
10	0,25	627,93	0,005404	3,39	2
10	1	155,51	0,02067	3,21	2
12.5	1	243,87	0,01484	3,62	2
16	1	400,55	0,01125	4,51	2
20	1	626,75	0,009447	5,92	2
25	1	980,18	0,0061	5,98	2
30	1	1412,15	0,00567	8,01	3
40	1	2511,70	0,003398	8,53	3
50	1	3925,42	0,002384	9,36	3
50	5	777,54	0,01197	9,31	3
60	5	1123,12	0,008966	10,07	3
80	5	2002,76	0,005118	10,25	3
100	5	3133,74	0,003121	9,78	3
125	5	4900,88	0,0022	10,78	3
150	5	7060,73	0,001412	9,97	3



**12.8 ANEXO 8**  
**DATOS DE POZOS DE LA BASE DE DATOS DEL SENARA Y DEL AYA**

Pozo	X	Y	Lit.	Prof.	N.E.	N.D.	Elevación	Acuífero	Elev. N.E.	T (m2/d)	Q prueba (L/s)	Uso	Litol.	Arm.	Q rec (L/s)
ASADA QG-2 Castaña	468719	188953	Si	24,00	6,68	9,31	50,00	Basaltos	43,32	160,00	12,20	Pob	Si	Si	12,20
AyA 01-09 ASADA QG-2 Cacicque	466777	189077	Si	24,00	9,30	10,13	20,00	Aluvión	10,70	9000,00	8,00	Pob	Si	Si	8,00
TS100	465154	187200	Si	30,00	12,00	22,00	79,90	Areniscas	67,90	1,44	1,00	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS101	465058	187280	Si	32,00	26,00	27,00	57,81	Areniscas	31,81	26,35	1,57	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS103	464961	186010	Si	250,00	130,00	180,00	208,24	Lutitas	78,24	0,77	1,00	Dom-Rieg	Si	No	1,00
TS108	463080	186670	Si	180,00	92,43	96,27	158,87	Lutitas	66,44	0,00	0,00	Dom	Si	No	0,50
TS109	465497	187951	Si	74,00	12,00	23,70	46,89	Areniscas	34,89	2,86	2,00	Urban	Si	Si	2,00
TS11	467700	189350	Si	45,00	11,00	44,00	40,00	Areniscas	29,00	1,00	0,94	Dom	Si	Si	0,50
TS111	465656	187980	Si	71,00	6,00	43,00	26,65	Areniscas	20,65	0,00	3,10	Urban	Si	Si	2,00
TS114	467528	191074	Si	35,00	2,00	20,00	40,00	Areniscas	38,00	1,00	0,75	Dom-Rieg	Si	Si	0,75
TS124	465162	187436	Si	98,00	4,00	95,50	83,17	Areniscas	79,17	0,85	3,50	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS128	465650	186725	Si	170,00	0,00	144,00	40,00	Lutitas	40,00	0,18	1,00	Dom	Si	Si	0,00
TS129	465173	189535	Si	30,00	0,02	1,15	5,00	Areniscas y Aluvión	4,98	1110,00	3,33	Pob	Si	Si	9,65
TS131	464657	189405	Si	0,00	1,09	-	4,73	Aluvión	3,64	0,00	-	-	Si	Si	-
TS133	464802	189178	Si	12,00	1,97	-	5,00	Aluvión	3,03	0,00	0,00	-	Si	Si	-
TS134	464710	188434	Si	0,00	1,41	-	10,00	Aluvión	8,59	0,00	0,00	-	Si	Si	-
TS135	464615	189384	Si	7,50	0,99	-	5,00	Aluvión	4,01	0,00	-	-	Si	No	-
TS136	464686	188492	Si	7,50	1,79	-	10,00	Aluvión	8,21	0,00	0,00	-	Si	Si	0,00
TS137	464761	188711	Si	12,00	1,74	0,00	5,00	Aluvión	3,26	0,00	0,00	-	Si	Si	0,00
TS14	464350	187200	Si	32,00	2,60	16,00	20,00	Areniscas y Lutitas	17,40	12,00	4,50	Turist	Si	Si	2,60
TS15	464850	187700	Si	31,00	16,00	22,00	39,99	Areniscas	23,99	100,00	2,30	Turist	Si	Si	2,30

TS150	466895	187974	Si	50,00	10,40	10,90	33,96	Areniscas y Aluvi3n	23,56	62,40	7,50	Dom-Rieg	Si	Si	4,00
TS156	462891	186784	Si	135,00	67,29	122,49	129,69	Lutitas	62,40	1,07	1,80	Turist	Si	Si	1,80
TS19	466750	191020	Si	50,00	27,00	0,00	74,66	Areniscas	47,66	0,00	0,00	Dom	Si	Si	0,50
TS20	464950	187000	Si	17,00	9,00	0,00	40,00	Areniscas	31,00	0,00	0,00	Dom	Si	Si	3,00
TS21	464086	187420	Si	57,00	4,30	6,47	10,00	Lutitas	5,70	4,45	2,50	Turist	Si	Si	3,00
TS25	466600	188700	Si	30,00	6,72	6,79	20,00	Areniscas y Aluvi3n	13,28	0,00	6,10	Urban	Si	Si	6,10
TS28	464142	187337	Si	30,00	6,30	9,02	13,58	Areniscas	7,28	0,00	2,51	Turist	Si	Si	-
TS31	467520	189900	Si	38,00	10,00	0,00	30,00	Areniscas	20,00	0,00	0,00	Abrevad	Si	Si	-
TS33	467200	191200	Si	49,00	18,00	27,00	52,32	Areniscas	34,32	0,00	1,50	Varios	Si	Si	1,50
TS38	466399	188544	Si	30,00	5,59	6,87	17,83	Aluvi3n	12,24	0,00	6,30	Turist	Si	Si	6,30
TS4	463750	187550	No	45,73	10,93	11,66	10,00	Lutitas	-0,93	0,00	2,37	Pob	No	Si	2,37
TS41	464800	186500	Si	74,00	5,00	0,00	74,62	Lutitas	69,62	0,00	0,95	Dom	Si	Si	1,00
TS42	465080	186350	Si	47,00	2,00	15,00	68,99	Lutitas	66,99	0,00	0,95	Dom	Si	Si	1,00
TS44	463294	186470	Si	220,00	190,00	191,40	160,95	Lutitas	70,00	17,97	0,50	Dom	Si	Si	1,00
TS53	463909	185363	Si	217,00	150,00	183,00	320,00	Lutitas	170,00	0,00	0,00	Dom	Si	No	1,50
TS58	467420	188700	Si	50,00	12,00	34,00	52,37	Areniscas	40,37	0,00	0,00	Dom	Si	No	2,00
TS59	468875	188950	Si	20,00	2,00	5,00	50,00	Basaltos y Aluvi3n	48,00	0,00	0,00	Dom	Si	Si	3,00
TS60	464791	186302	Si	50,00	0,00	0,00	70,00	-	70,00	0,00	0,00	Dom-Rieg	Si	No	2,00
TS61	463800	185300	No	215,00	150,00	186,00	320,00	Lutitas	170,00	0,00	1,50	Dom	Si	Si	1,50
TS64	463810	185400	Si	220,00	150,00	175,00	280,39	Lutitas	130,39	0,00	0,00	Dom	Si	Si	1,50
TS66	464822	186862	Si	40,00	0,00	6,00	72,13	Lutitas	72,13	0,00	0,00	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS68	465250	186620	Si	30,00	9,00	15,00	80,00	Areniscas	71,00	0,00	0,00	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS69	466800	191330	Si	80,00	3,85	32,00	16,92	-	13,07	0,00	0,00	Turist	Si	Si	2,50
TS7	466825	189000	Si	26,00	6,00	0,00	20,00	Aluvi3n	14,00	0,00	0,95	Riego	Si	Si	1,50
TS70	466850	191370	Si	80,00	5,80	16,70	13,62	-	7,82	0,00	0,00	Dom	Si	No	2,50
TS71	465800	186680	Si	50,00	15,00	25,00	100,12	Lutitas	85,12	10,00	0,00	Dom	Si	Si	2,00
TS73	465150	190450	Si	25,00	4,50	22,00	49,33	Areniscas	44,83	0,00	1,74	Dom	Si	No	0,50
TS74	463600	185350	Si	262,00	154,00	201,00	194,82	Lutitas	40,82	0,84	0,65	Dom-Rieg	Si	Si	1,00
TS76	465750	187050	Si	35,00	11,00	13,70	30,00	Areniscas	19,00	100,00	2,00	Dom	Si	Si	1,00
TS79	466200	186800	Si	150,00	135,00	140,00	185,13	Basaltos	50,13	0,00	0,50	Dom	Si	Si	1,00

TS8	464343	187173	No	20,00	<u>9,33</u>	<u>12,68</u>	17,04	-	7,71	0,00	1,74	Turist	No	No	4,50
TS84	468275	189300	Si	30,00	6,00	28,50	44,97	Areniscas y Aluvión	38,97	0,00	3,00	Dom	No	No	0,12
TS85	464898	187151	Si	50,00	2,31	12,33	30,00	Areniscas	27,69	4,00	0,54	Dom-Rieg	Si	Si	0,54
TS86	464923	187083	Si	60,00	2,50	44,64	31,52	Areniscas	29,02	1,00	0,32	Dom-Rieg	Si	Si	0,32
TS88	465970	188636	Si	30,00	1,20	15,13	10,00	Areniscas y Aluvión	8,80	30,00	6,30	Urban	Si	Si	2,00
TS89	466110	188740	Si	30,00	<u>4,41</u>	<u>5,78</u>	16,23	Aluvión	11,82	1000,00	7,78	Urban	Si	Si	2,00
TS9	464200	187150	No	30,00	14,10	0,00	23,06	-	8,96	0,00	1,10	Turist	No	No	4,80
TS90	467580	189580	Si	30,00	3,45	15,95	38,36	Areniscas y Aluvión	34,91	3,35	0,00	Dom	Si	Si	1,23
TS94	467416	191003	Si	41,00	3,00	11,00	30,00	Areniscas	27,00	4,94	1,50	Dom-Rieg	Si	Si	1,50
TS96	463687	185218	No	205,20	114,40	118,72	282,18	Lutitas	167,78	14,82	1,50	Turist	Si	Si	1,00
TS98	465460	186600	Si	50,00	4,00	4,65	40,86	Areniscas	36,86	200,00	1,20	Dom	Si	Si	1,00
ASADA QG-1 Castaña	468685	188977	-	-	4,41	5,78	50,00	-	-	-	-	Pob	-	-	-
Plantación Acres	466891	188581	-	-	7,87	13,21	40,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Artesanal Samort Santana	465079	189801	-	-	1,10	-	3,84	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozos de la Red de Monitoreo - Nivel tomado del promedio del monitoreo	
<i>Nivel de agua proyectado</i>	<u>70,00</u>

**12.9 ANEXO 9**  
**LITOLOGÍAS Y REJILLAS DE POZOS DE LA BASE DE DATOS DEL SENARA**  
**Y DEL AYA**

Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)	Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)
ASADA QG-2 Castaña	Basaltos	0-9:Coluvio / 9-12:Gravas medias / 12-24:Basaltos C. de Nicoya	T. Ciega:0-12 / Rej:12-24	AyA 01-09 ASADA QG-2 Cacique	Aluvión	0-1:Suelo arcilloso / 1-10:Arenas en mat. Arcillosa / 10-14:Arenascon arcilla / 14-20:Aluvión limpio / 20-22:Aluvión con arcilla / 22-24:Arcilla gris	T. Ciega:0-15 / Rej:15-21
TS100	Areniscas	0-13:Arenisca fina a media café claro alterada / 13-17:Arenisca fina a media gris verde sana / 17-30:Arenisca fina a media gris oscuro muy alterada	T. Ciega:0-12 / Rej:12-30	TS101	Areniscas	0-10:Arenisca fina café claro parcialmente alterada / 10-30:Arenisca media gris oscuro verdosa ligeramente oxidada / 30-32:Idem, con vetas de calcita	T. Ciega:0-26 / Rej:26-32
TS103	Lutitas	0-2:Suelo arenoso amarillo / 2-180:Lutitas grises / 180-250:Lutitas grises fracturadas Fm. Pta. Carballo	-	TS108	Lutitas	0-5,3:Roca fracturada café / 5,3-98,8:Lutita negra / 98,8-152:Lutita negra fracturada	T. Ciega:0-119, 149-152 / Rej:119-149
TS109	Areniscas	0-12:Suelo arcillo-arenoso café / 12-21:Lutitas y areniscas gris claro, alteradas con algo de arcilla / 21-66:Areniscas y lutitas gris, poca arcilla, fracturadas / 66-68:Arcilla café con clastos de roca met. / 68-74:Areniscas y lutitas color gris, fracturadas y suaves	T. Ciega:0-18 / Rej:18-71	TS11	Areniscas	0-9:Grava y arena fina / 9-16:Arena y arcilla gris / 16-23:Grava y arena fina / 23-24:Arcilla gris / 24-45:Arena muy fina y arcilla gris plastica	T. Ciega:0-30 / Rej:30-45
TS111	Areniscas	0-15:Suelo arcillo-arenoso café / 15-18:Aluvión fino a grueso, matriz arenosa / 18-42:Aluvión más fino, poca arcilla, alto cont. De arena / 42-71:Aluvión, mat. Arcillo-arenosa, clastos mm bien redondeados	T. Ciega:0-18 / Rej:18-71	TS114	Areniscas	0-3:Arenisca fina café amarillento, alterada / 3-35:Arenisca fina gris oscuro verdosa, sana, porosidad secundaria	T. Ciega:0-3 / Rej:3-35
TS124	Areniscas	0-8:Arenisca fina café claro parcialmente alterada / 8-98:Arenisca fina gris celeste, alterada	T. Ciega:0-15 / Rej:15-98	TS128	Lutitas	0-7:Casajo / 7-129:Lutita gris compacta / 129-170:Lutita gris con grietas	T. Ciega:0-120, 165-170 / Rej:120-165

Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)	Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)
TS129	Areniscas y Aluvión	0-4:Arcilla plástica oscura / 4-18:Arenas medias a gruesas, clastos gruesos verdes, saturadas en agua / 18-25:Basaltos del C. de Nicoya, con alteración / 25-30:Basaltos del C. de Nicoya verdosos sanos, fracturación moderada, no se evidenció aporte de agua	T. Ciega:0-12, 24-30 / Rej:12-24	TS131	Aluvión	0-1,5:Limo arenoso gris / 1,5-3,5:Grava arenosa con arcilla gris / 3,5-4,5:Arcilla gris con plast. Alta / 4,5-6:Arena gravosa con arcilla / 6-7,5:Limo arcilloso con grava y arena	T. Ciega:5,83-7,5 / Rej:0-5,83
TS133	Aluvión	0-1,0:Limo arenoso gris / 1,0-2,5:Grava arenosa con arcilla gris / 2,5-4,5:Arcilla gris con plast. Alta / 4,5-5,5:Arena gravosa con arcilla / 5,5-8,5:Limo arcilloso con grava y arena / 8,5-10,5:Grava arenosa con arcilla gris / 10,5-12:Limo arcilloso con grava y arena	T. Ciega:10,08-13,5 / Rej:0-10,08	TS134	Aluvión	0-1,0:Limo arenoso gris / 1,0-2,0:Grava arenosa con arcilla gris / 2,0-4,5:Arcilla gris con plast. Alta / 4,5-6,0:Arena y grava con arcilla / 6,0-7,5:Limo arcilloso con grava y arena	T. Ciega:5,7-7 / Rej:0-5,7
TS135	Aluvión	0-1,0:Limo arenoso gris / 1,0-3,5:Grava arenosa con arcilla gris / 3,5-5:Arcilla gris con plast. Alta / 5-6,5:Arena gravosa con arcilla / 6,5-7,5:Limo arcilloso con grava y arena	T. Ciega:6,18-7,5 / Rej:0-6,18	TS136	Aluvión	0-1,0:Limo arenoso gris / 1,0-4,0:Arcilla gris con plast. Alta / 4,0-5,0:Grava arenosa con arcilla gris / 5,0-6,0:Arena gravosa con arcilla / 6,0-7,5:Limo arcilloso con grava y arena	T. Ciega:6,10-7,5 / Rej:0-6,10
TS137	Aluvión	0-1,0:Limo arenoso gris / 1,0-2,5:Arcilla gris con plast. Alta / 2,5-3,5:Arena gravosa con arcilla / 3,5-4,5:Limo arcilloso con grava y arena / 4,5-5,5: Grava arenosa con arcilla gris / 5,5-6,5:Arcilla gris con plast. Alta / 6,5-8,0:Arena gravosa con arcilla / 8,0-11:Arcilla gris con plast. Alta / 11-12:Arena gravosa con arcilla	T. Ciega:7,8-13,5 / Rej:0-7,8	TS14	Areniscas y Lutitas	0-8:Grava en mat arcillosa / 8-18:Grava y arena / 18-28:Grava y arena con mat. Arcillosa / 28-32:Lutitas masivas negras	T. Ciega:0-20 / Rej:20-32
TS15	Areniscas	0-18:Arcilla y limo café, alta plasticidad / 18-31:Formación aluvial de gravilla escaza de arena gruesa	T. Ciega:0-26 / Rej:26-31	TS150	Areniscas y Aluvión	0-2:Arcillas café / 2-15:Gravas muy arcillosas café / 15-24:Gravas finas, poca arcilla / 24-50:Arcillas gris impermeables	T. Ciega:0-9,4, 26,8-44,2 / Rej:9,4-26,8, 44,2-50
TS156	Lutitas	0-12:Roca fracturada café / 12-102:Lutita negra a gris / 102-138:Lutita gris fracturada	T. Ciega:0-100 / Rej:100-138	TS19	Areniscas	0-0,5:Suelo / 0,5-2:Material alterado color café a pardo / 2-50:Arena fina gris clara	T. Ciega:0-30 / Rej:30-50

Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)	Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)
TS20	Areniscas	0-0,8:Suelo arcilloso color pardo / 0,8-10:Material muy arcilloso alterado / 10-17:Arenisca fina gris medianamente porosa	T. Ciega:0-11 / Rej:11-17	TS21	Lutitas	0-13:Dep. Coluvial, bloques angulosos en mat. De arcilla café / 13-57:Arenisca fina y lutitas negras, con estratificación fina y fracturada	T. Ciega:0-36 / Rej:36-57
TS25	Areniscas y Aluvión	0-6:Grava, arena fina y media, cantos de 6 cm / 6-8:Arena sana gruesa y media / 8-10:Arena y grava, clastos de 2 cm / 10-15:Arena gruesa y grava con poca arcilla / 15-18:Arcilla arenosa, color gris semiplástica / 18-23:Arenisca sana gris / 23-30:Idem, meteorizada	T. Ciega:0-9, 15-24 / Rej:9-15, 24-29	TS28	Areniscas	0-2:Arcilla café gris / 2-12:Arcilla café claro, con clastos alterados / 12-14:Arcilla gris adhesiva / 14-18:Arena gruesa a fina café claro / 18-25:Grava media subangular, arena gruesa y fina / 25-30:Arcilla café gris adhesiva	T. Ciega:0-12 / Rej:12-26
TS31	Areniscas	0-12:Arcilla meteorizada color amarillenta / 12-30:Areniscas finas grises y lutitas gris claro, pátinas de oxidación	T. Ciega:0-15 / Rej:15-30	TS33	Areniscas	0-12:Areniscas fina a media café claro, meteorizadas / 12-49:Areniscas azul verdosas fina a media, sanas, Fm. Roca Carballo	T. Ciega:0-12 / Rej:12-49
TS38	Aluvión	0-1:Arcilla / 1-18:Grava bien redondeada, limpia / 18-28:Mat.Heterogéneo de arcilla y grava / 28-30:Arcilla gris plástica	T. Ciega:0-7, 19-21, 27-30 / Rej:7-19, 21-27	TS4	Lutitas	0-1:Arcilla / 1-18:Grava bien redondeada, limpia / 18-28:Mat.Heterogéneo de arcilla y grava / 28-30:Arcilla gris plástica	T. Ciega:0-18,19 / Rej:18,19-30,48 / Sin tubería: 30,48-45,73
TS41	Lutitas	0-6:Arcilla, mat areno-limosa, bloques ígneos angulosos / 6-67:Roca sed tipo lutita meteorizada café grisácea / 67-74:Roca sed tipo arenisca sana con fracturas de color gris	T. Ciega:0-54 / Rej:54-74	TS42	Lutitas	0-3,5:Arcilla café / 3,5-47:Roca sed de color gris verdosa, tipo arenisca, poco meteorizada, algunos tramos lutíticos	T. Ciega:0-18 / Rej:18-47
TS44	Lutitas	0-0,5:Suelo / 0,5-40:Arenisca fracturada / 40-120:Lutita azul muy dura / 120-210:Lutita gris / 210-220:Lutita gris fracturada	T. Ciega:0-188 / Rej:188-220	TS53	Lutitas	0-0,5:Suelo limo arenoso / 0,5-40:Lutita fracturada / 40-150:Lutita azul / 150-210:Lutita gris dura / 210-217:Lutita gris fracturada	T. Ciega:0-150 / Rej:150-217
TS58	Areniscas	0-16:Matriz de arcillas, café claro con cantos y bloques subredondeados / 16-50:Alternancia de areniscas y lutitas meteorizadas color gris, dureza alta	-	TS59	Basaltos y Aluvión	0-1:Suelo limo arenoso / 1-10:Aluvión fino a medio / 10-20:Lutitas fracturadas	T. Ciega:0-3, 15-20 / Rej:3-15

Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)	Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)
TS61	Lutitas	0-0,5:Suelo limo arenoso / 0,5-40:Lutita fracturada / 40-156:Lutita azul sana / 156-200:Lutita gris dura / 200-215:Lutita gris fracturada	T. Ciega:0-156 / Rej:156-215	TS64	Lutitas	0-1:Suelo limo arenoso / 1-40:Lutita fracturada / 40-152:Lutita azul / 152-208:Lutita gris muy dura / 208-220:Lutita gris fracturada	T. Ciega:0-150, 214-220 / Rej:150-214
TS66	Lutitas	0-8:Arenisca fina amarillenta parcialmente alterada poco fracturada / 8-40:Arenisca fina gris celeste, sana, con vetillas de calcita	T. Ciega:0-12, 34-40 / Rej:12-34	TS68	Areniscas	0-2:Suelo / 2-12:Arcillas café claro meteorizadas / 12-30:Lutitas y areniscas, duras, color gris, con diaclasamiento	T. Ciega:0-15, 28-30 / Rej:15-28
TS7	Aluvi3n	0-2:limo arcilloso / 2-26:Grava arenosa con poca arcilla	T. Ciega:0-14/ Rej:14-26	TS71	Lutitas	0-1:Suelo pl3stico / 1-50:Areniscas con tramos de lutitas. Rocas calc3reas con tramos de alta dureza	T. Ciega:0-30, 48-50 / Rej:30-48
TS73	Areniscas	0-2:Arcilla caf3 suave / 2-11:Conglomerado Fm. Pta. Carballo / 11-13:Arenisca y limolita / 13-18:Conglomerado con mat. Arcillosa / 18-24:Conglomerado idem / 24-25:Arenisca gris suelta con pectenes	-	TS74	Lutitas	0-1:Suelo limo arenoso / 1-22:Lutita caf3 claro / 22-262:Lutita gris azulada muy dura con zonas de fractura	T. Ciega:0-60 / Sin tuber3a:60-262
TS76	Areniscas	0-2:Arcilla / 2-28:Aluvi3n de mat. Areno arcillosa, con cantos redondeados sedimentarios / 28-35:Material de origen marino, baja dureza, con fragmentos de coral	T. Ciega:0-26, 32-35 / Rej:26-32	TS79	Basaltos	0-15:Suelo arcillo-arenoso caf3 / 15-80:Areniscas caf3s duras / 80-135:Areniscas grises muy duras / 135-150:Lavas fracturadas del C. de Nicoya	T. Ciega:0-130 / Rej:130-150
TS84	Areniscas y Aluvi3n	0-3:Arcillas caf3s / 3-17:Grava con mat. Arcillosa / 17-19:Arcillas grises / 19-30:Lutitas fracturadas	T. Ciega:0-10 / Rej:10-30	TS85	Areniscas	0-5:Aluvi3n medio, clastos cm color crema de origen sedimentario / 5-50:Lutitas y areniscas intercaladas, fracturadas con rellenos de carbonatos	T. Ciega:0-2, 8-38, 44-50 / Rej:2-8, 38-44
TS86	Areniscas	0-5,5:Aluvi3n medio, clastos cm color crema de origen sedimentario / 5,5-50:Lutitas y areniscas intercaladas, fracturadas con rellenos de carbonatos	T. Ciega:0-2, 8-38, 44-50 / Rej:2-8, 38-44	TS88	Areniscas y Aluvi3n	0-2:Arcilla caf3 / 2-10:Arcilla caf3 saturada / 10-12:Arcilla gris de estuario / 12-14: Arcilla caf3 dura / 14-18:Grava media sin arcilla, clastos subredondeados y subangulares / 18-20:Arcilla gris verdosa, mal olor / 20-26:Grava media con poca arcilla / 26-30:Grava gruesa, poca arcilla	T. Ciega:0-14, 28-24 / Rej:14-18, 24-30

Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)	Pozo	Acuífero	Litol. (m)	Arm. (m)
TS89	Aluvión	0-2:Grava con arcilla café / 2-4:Arcilla café / 4-6:Grava con arcilla café / 6-8:Grava gruesa, poca arcilla / 8-10:Grava media, poca arcilla / 10-12:Grava media, muy limpia / 12-14:Grava media, clastos ígneos subredondeados / 14-22:Grava media muy homogénea / 22-24:Grava media, poca arcilla café / 24-30:Grava gruesa con mucha arcilla	T. Ciega:0-13, 22-30 / Rej:13-22	TS90	Areniscas y Aluvión	0-13:Arcilla roja / 13-27:Gravilla gris a café / 27-37:Lutita gris / 37-40:Lutita gris más dura	T. Ciega:0-20, 35-40 / Rej:20-35
TS94	Areniscas	0-9:Aluvión fino constituido por limos, arenas y gravas / 9-19:Arenisca alterada gris oscuro verdosa / 19-41:Arenisca sana fina color gris oscuro, porosidad por fracturación	T. Ciega:0-3 / Rej:3-41	TS96	Lutitas	0-9,15:Roca fracturada café / 9,15-35,3:Lutita gris / 35,3-136,8:Lutita negra / 136,8-205,2:Lutita negra fracturada	T. Ciega:0-169 / Rej:169-205,2
TS98	Areniscas	0-2:Arcilla / 2-38:Aluvión de mat. Areno arcillosa, con cantos redondeados sedimentarios / 38-50:Material de origen marino, baja dureza, con fragmentos de coral	T. Ciega:0-38, 47-50 / Rej:38-47				

**12.10 ANEXO 10**  
**DATOS DE PRUEBAS DE BOMBEO**

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-85 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 50  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 3HP, 0,54 L/s **A una profundidad de:** 48  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 0,54 46,656 m<sup>3</sup>/día

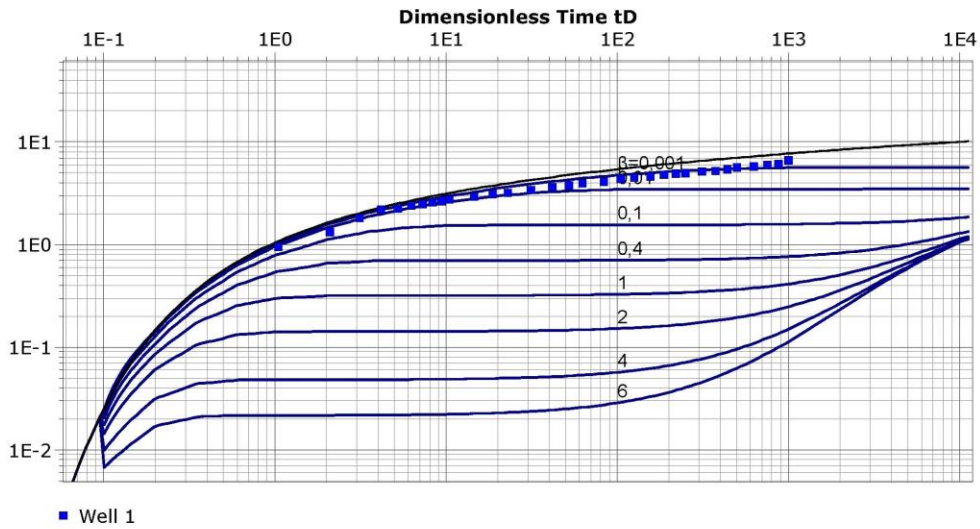
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	3,36	0,54	
	0,5	1,29	1,29	4,65		
	1	0,49	1,78	5,14		
	1,5	0,67	2,45	5,81		
	2	0,50	2,95	6,31		
	2,5	0,09	3,04	6,40		
	3	0,17	3,21	6,57		
	3,5	0,16	3,37	6,73		
	4	0,11	3,48	6,84		
	4,5	0,11	3,59	6,95		
	5	0,13	3,72	7,08		
	7	0,24	3,96	7,32		
	9	0,26	4,22	7,58		
	11	0,09	4,31	7,67		
	15	0,30	4,61	7,97		
	20	0,27	4,88	8,24		
	25	0,20	5,08	8,44		
	30	0,26	5,34	8,70		
	40	0,19	5,53	8,89		
	50	0,37	5,90	9,26		
	60	0,14	6,04	9,40		
	75	0,21	6,25	9,61		
	90	0,23	6,48	9,84		
	105	0,17	6,65	10,01		
	120	0,06	6,71	10,07		
	150	0,26	6,97	10,33		
	180	0,11	7,08	10,44		
	210	0,28	7,36	10,72		
	240	0,28	7,64	11,00		
	300	0,13	7,77	11,13		
	360	0,36	8,13	11,49		
	420	0,08	8,21	11,57		
	480	0,76	8,97	12,33		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-85  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-85	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 130,00 m	Discharge Rate: 46,656 [m³/d]	



Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$2,75 \times 10^0$	$2,11 \times 10^{-2}$	$2,29 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-94 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 41  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 1,5HP, 1,5 L/s **A una profundidad de:** 39  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 1,5 129,6 m<sup>3</sup>/día

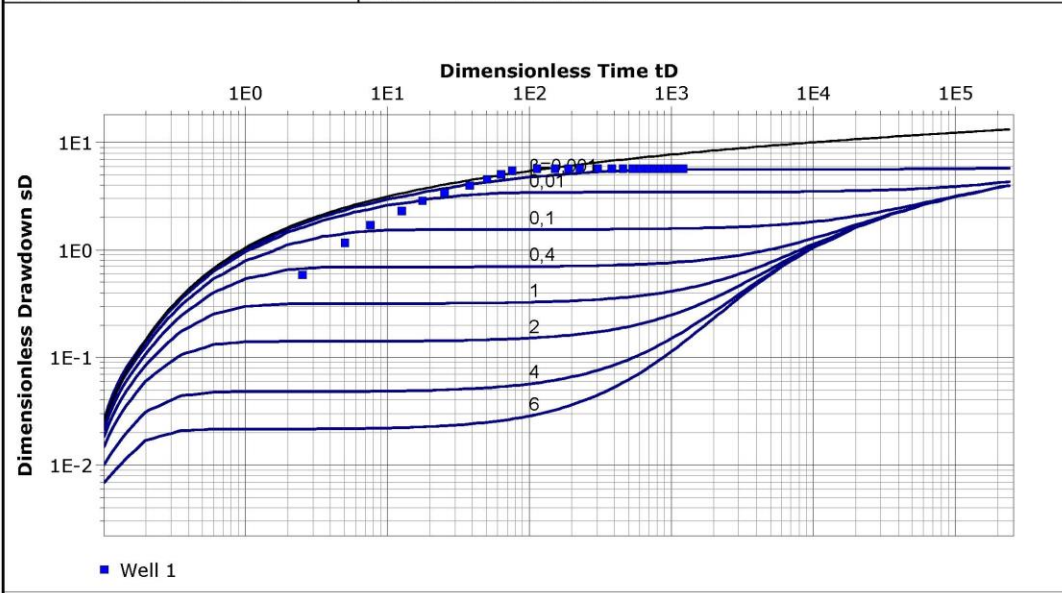
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	3,00	1,5	
	1	0,83	0,83	3,83		
	2	0,81	1,64	4,64		
	3	0,78	2,42	5,42		
	5	0,84	3,26	6,26		
	7	0,81	4,07	7,07		
	10	0,73	4,80	7,80		
	15	0,82	5,62	8,62		
	20	0,75	6,37	9,37		
	25	0,73	7,10	10,10		
	30	0,62	7,72	10,72		
	45	0,28	8,00	11,00		
	60	0,00	8,00	11,00		
	75	0,00	8,00	11,00		
	90	0,00	8,00	11,00		
	120	0,00	8,00	11,00		
	150	0,00	8,00	11,00		
	180	0,00	8,00	11,00		
	210	0,00	8,00	11,00		
	240	0,00	8,00	11,00		
	270	0,00	8,00	11,00		
	300	0,00	8,00	11,00		
	330	0,00	8,00	11,00		
	360	0,00	8,00	11,00		
	390	0,00	8,00	11,00		
	420	0,00	8,00	11,00		
	450	0,00	8,00	11,00		
	480	0,00	8,00	11,00		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-94  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-94	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 220,00 m	Discharge Rate: 129,6 [m³/d]	



Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio $K(v)/K(h)$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$7,30 \times 10^0$	$3,32 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

### REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

Pozo: TS-111 Ubicación: Punta Leona

Fecha: \_\_\_\_\_ Profundidad del pozo: 71

Equipo usado: Bomba sumergible, 3HP, 2,3 L/s A una profundidad de: 60

Prueba realizada a un caudal constante de (L/s): 2,3 198,72 m<sup>3</sup>/día

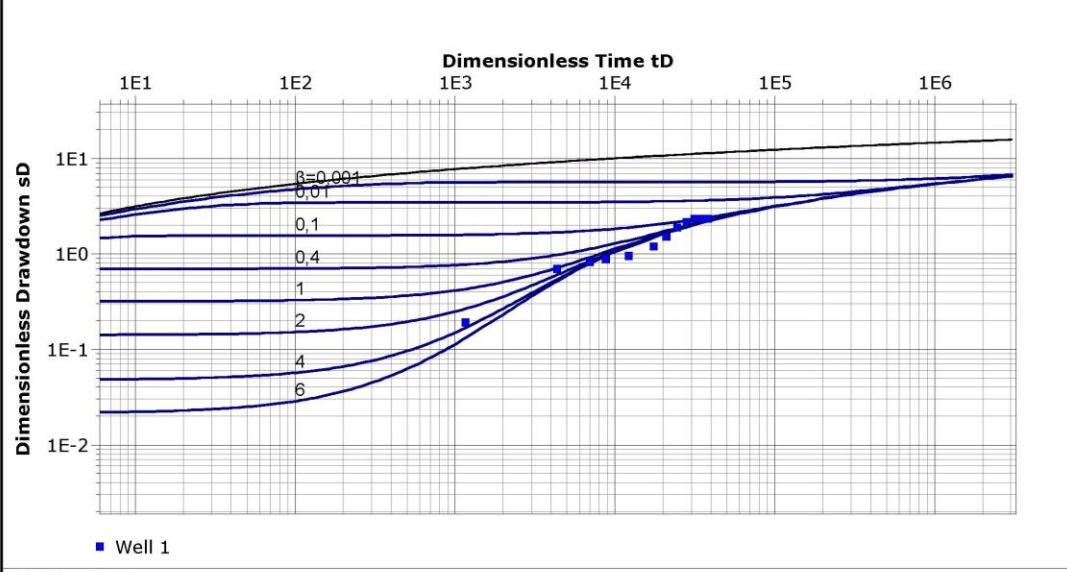
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	6,00	2,3	
	0,5	-6,00	-6,00			
	1	0,00	-6,00			
	1,5	0,00	-6,00			
	2	0,00	-6,00			
	2,5	0,00	-6,00			
	3	0,00	-6,00			
	3,5	0,00	-6,00			
	4	0,00	-6,00			
	4,5	0,00	-6,00			
	5	0,00	-6,00			
	7	0,00	-6,00			
	9	0,00	-6,00			
	11	0,00	-6,00			
	15	0,00	-6,00			
	20	9,00	3,00	9,00		
	25	-9,00	-6,00			
	30	0,00	-6,00			
	40	0,00	-6,00			
	50	0,00	-6,00			
	60	0,00	-6,00			
	75	17,00	11,00	17,00		
	90	-17,00	-6,00			
	105	0,00	-6,00			
	120	19,00	13,00	19,00		
	150	1,00	14,00	20,00		
	180	-20,00	-6,00			
	210	21,00	15,00	21,00		
	240	-21,00	-6,00			
	300	25,00	19,00	25,00		
	360	5,00	24,00	30,00		
	420	6,00	30,00	36,00		
	480	4,00	34,00	40,00		
	540	3,00	37,00	43,00		
	600	0,00	37,00	43,00		
	660	0,00	37,00	43,00		
	720	-43,00	-6,00			



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-111  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-111	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 130,00 m	Discharge Rate: 198,72 [m³/d]	



Calculation using Neuman


Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$9,99 \times 10^{-1}$	$7,69 \times 10^{-3}$	$2,98 \times 10^{-3}$	$1,78 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

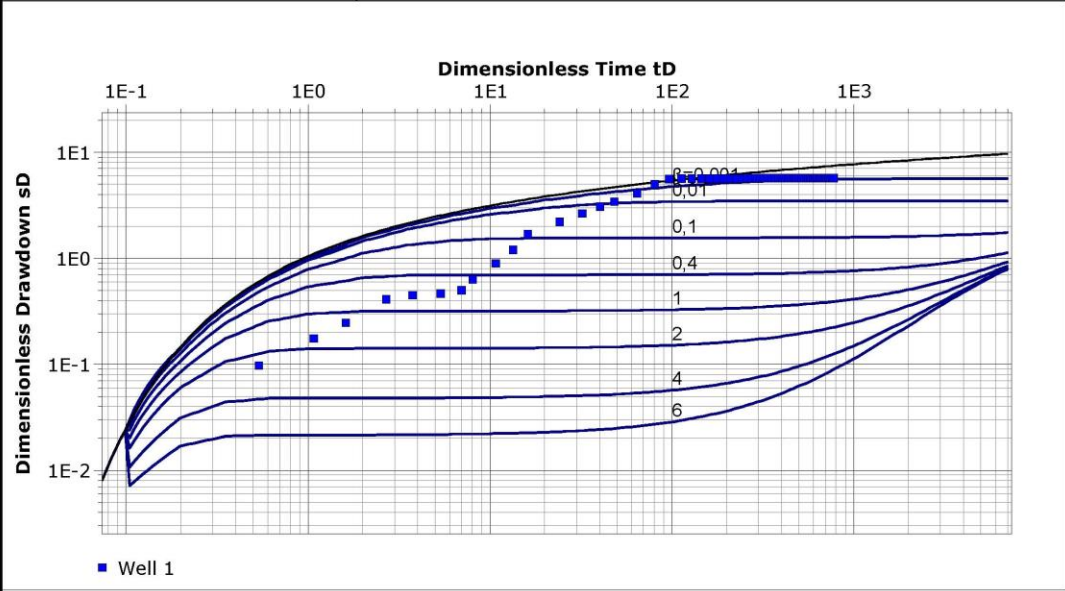
**Pozo:** TS-124 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 98  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 5HP, 3,5 L/s **A una profundidad de:** 97  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 3,5 302,4 m<sup>3</sup>/día

Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	5,08	3,5	
	1	1,54	1,54	6,62		
	2	1,23	2,77	7,85		
	3	1,15	3,92	9,00		
	5	2,60	6,52	11,60		
	7	0,54	7,06	12,14		
	10	0,33	7,39	12,47		
	13	0,56	7,95	13,03		
	15	2,07	10,02	15,10		
	20	4,16	14,18	19,26		
	25	4,84	19,02	24,10		
	30	7,80	26,82	31,90		
	45	8,17	34,99	40,07		
	60	7,25	42,24	47,32		
	75	6,68	48,92	54,00		
	90	5,62	54,54	59,62		
	120	11,06	65,60	70,68		
	150	13,34	78,94	84,02		
	180	9,63	88,57	93,65		
	210	0,61	89,18	94,26		
	240	0,34	89,52	94,60		
	270	0,18	89,70	94,78		
	300	0,11	89,81	94,89		
	330	0,09	89,90	94,98		
	360	0,07	89,97	95,05		
	390	0,06	90,03	95,11		
	420	0,05	90,08	95,16		
	450	0,07	90,15	95,23		
	480	0,09	90,24	95,32		
	510	0,08	90,32	95,40		
	540	0,06	90,38	95,46		
	570	0,04	90,42	95,50		
	600	0,00	90,42	95,50		
	630	0,00	90,42	95,50		
	660	0,00	90,42	95,50		

	690	0,00	90,42	95,50		
	720	0,00	90,42	95,50		
	750	0,00	90,42	95,50		
	780	0,00	90,42	95,50		
	810	0,00	90,42	95,50		
	840	0,00	90,42	95,50		
	870	0,00	90,42	95,50		
	900	0,00	90,42	95,50		
	930	0,00	90,42	95,50		
	960	0,00	90,42	95,50		
	990	0,00	90,42	95,50		
	1020	0,00	90,42	95,50		
	1050	0,00	90,42	95,50		
	1080	0,00	90,42	95,50		
	1110	0,00	90,42	95,50		
	1140	0,00	90,42	95,50		
	1170	0,00	90,42	95,50		
	1200	0,00	90,42	95,50		
	1230	0,00	90,42	95,50		
	1260	0,00	90,42	95,50		
	1290	0,00	90,42	95,50		
	1320	0,00	90,42	95,50		
	1350	0,00	90,42	95,50		
	1380	0,00	90,42	95,50		
	1410	0,00	90,42	95,50		
	1440	0,00	90,42	95,50		

	<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province	<b>Pumping Test Analysis Report</b>
		Project: TS-124
		Number:
		Client:

Location:	Pumping Test: TS-124	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 130,00 m	Discharge Rate: 302,4 [m³/d]	



Calculation using Neuman						
Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,52 \times 10^0$	$1,17 \times 10^{-2}$	$4,90 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-96 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 205,2  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 5HP, 1,5 L/s **A una profundidad de:** 170  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 1,5 129,6 m<sup>3</sup>/día

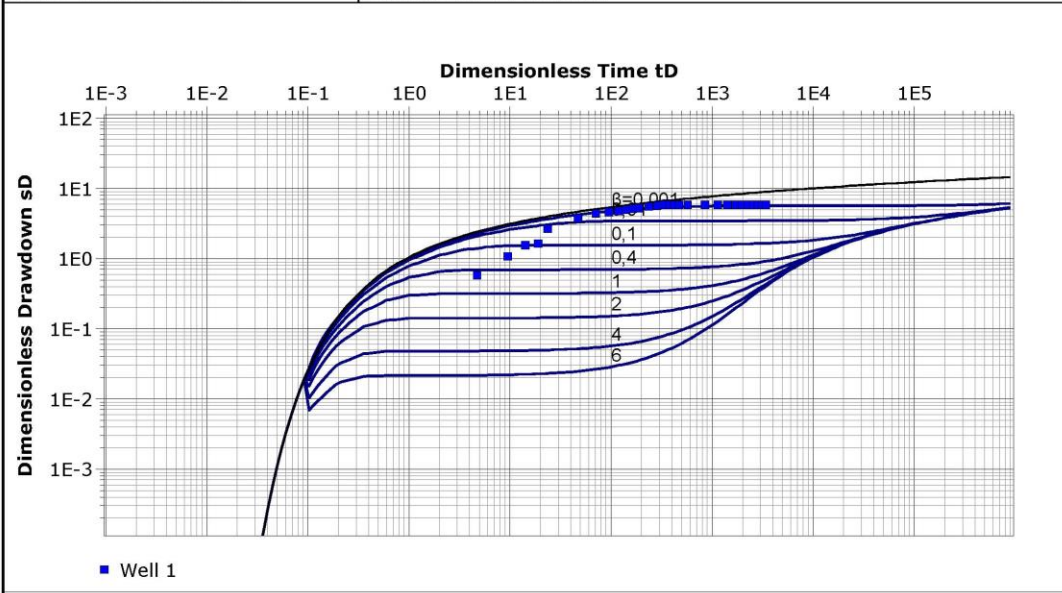
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	114,30	1,5	
	1	0,43	0,43	114,73		
	2	0,38	0,81	115,11		
	3	0,37	1,18	115,48		
	4	0,07	1,25	115,55		
	5	0,75	2,00	116,30		
	10	0,82	2,82	117,12		
	15	0,49	3,31	117,61		
	20	0,16	3,47	117,77		
	25	0,15	3,62	117,92		
	30	0,13	3,75	118,05		
	35	0,11	3,86	118,16		
	40	0,08	3,94	118,24		
	50	0,25	4,19	118,49		
	60	0,08	4,27	118,57		
	70	0,15	4,42	118,72		
	80	0,00	4,42	118,72		
	90	0,00	4,42	118,72		
	100	0,00	4,42	118,72		
	120	0,00	4,42	118,72		
	180	0,00	4,42	118,72		
	240	0,00	4,42	118,72		
	300	0,00	4,42	118,72		
	360	0,00	4,42	118,72		
	420	0,00	4,42	118,72		
	480	0,00	4,42	118,72		
	540	0,00	4,42	118,72		
	600	0,00	4,42	118,72		
	660	0,00	4,42	118,72		
	720	0,00	4,42	118,72		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-96  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-96	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 240,00 m	Discharge Rate: 129,6 [m <sup>3</sup> /d]	



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	$1,37 \times 10^1$	$5,70 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^0$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-44 **Ubicación:** Punta Leona

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 220

**Equipo usado:** Bomba sumergible, 5HP, 0,5 L/s **A una profundidad de:** 218

**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 0,5 43,2 m<sup>3</sup>/día

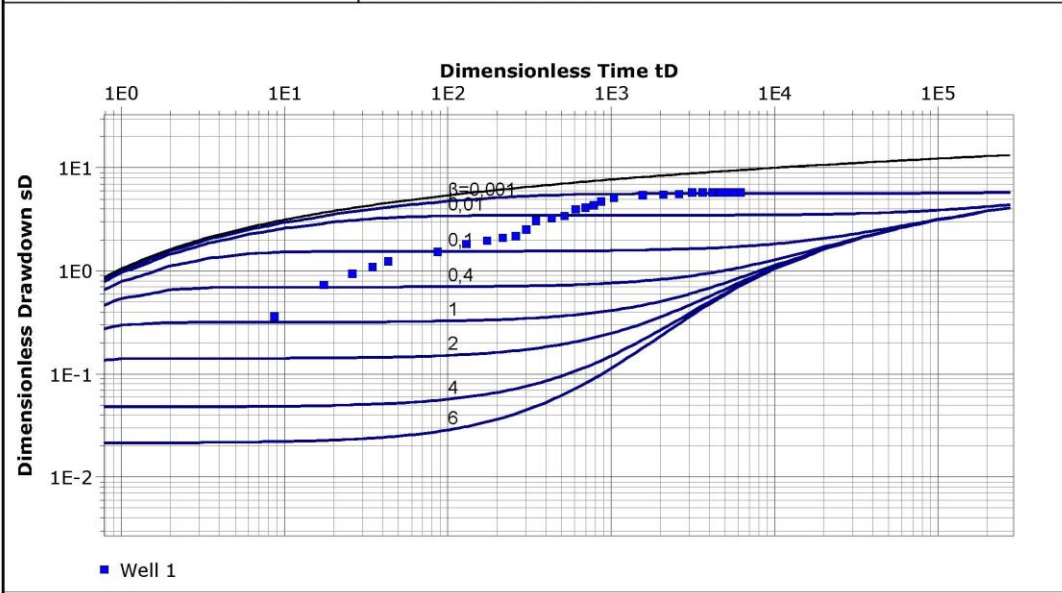
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	190,50	1,5	
	1	0,05	0,05	190,55		
	2	0,05	0,10	190,60		
	3	0,03	0,13	190,63		
	4	0,02	0,15	190,65		
	5	0,02	0,17	190,67		
	10	0,04	0,21	190,71		
	15	0,04	0,25	190,75		
	20	0,02	0,27	190,77		
	25	0,02	0,29	190,79		
	30	0,01	0,30	190,80		
	35	0,05	0,35	190,85		
	40	0,07	0,42	190,92		
	50	0,03	0,45	190,95		
	60	0,02	0,47	190,97		
	70	0,08	0,55	191,05		
	80	0,02	0,57	191,07		
	90	0,03	0,60	191,10		
	100	0,05	0,65	191,15		
	120	0,05	0,70	191,20		
	180	0,05	0,75	191,25		
	240	0,01	0,76	191,26		
	300	0,01	0,77	191,27		
	360	0,03	0,80	191,30		
	420	0,00	0,80	191,30		
	480	0,00	0,80	191,30		
	540	0,00	0,80	191,30		
	600	0,00	0,80	191,30		
	660	0,00	0,80	191,30		
	720	0,00	0,80	191,30		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-44  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-44	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 200,00 m	Discharge Rate: 43,2 [m <sup>3</sup> /d]	




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	$2,50 \times 10^1$	$1,25 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

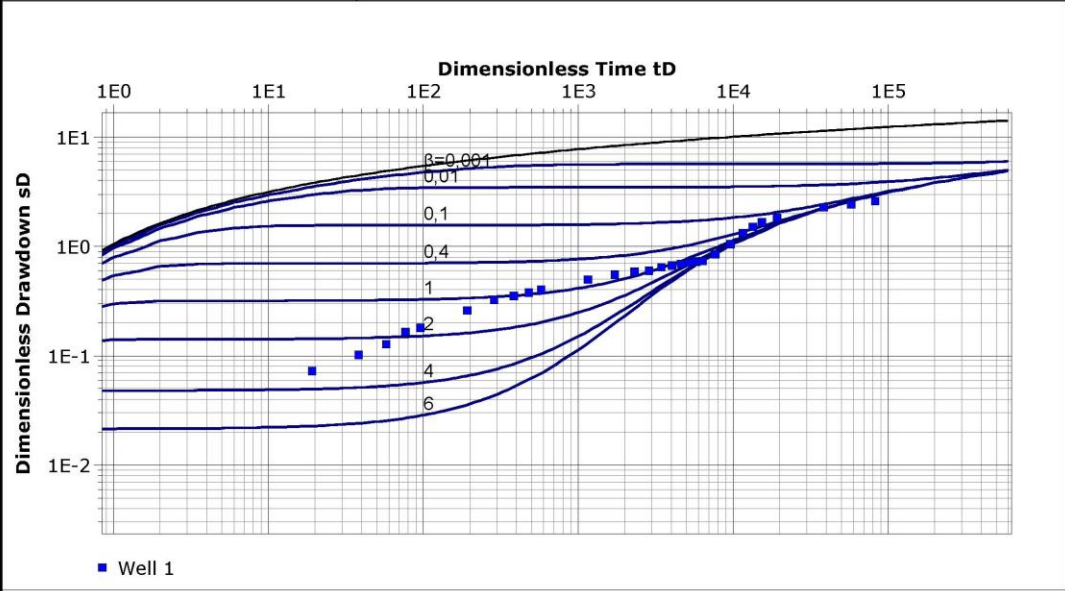
## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-156 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 138  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 5HP, 1,8 L/s **A una profundidad de:** 135  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 1,8 155,52 m<sup>3</sup>/día

Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	67,29	1,8	
	1	1,54	1,54	68,83		
	2	0,62	2,16	69,45		
	3	0,55	2,71	70,00		
	4	0,80	3,51	70,80		
	5	0,31	3,82	71,11		
	10	1,64	5,46	72,75		
	15	1,44	6,90	74,19		
	20	0,57	7,47	74,76		
	25	0,51	7,98	75,27		
	30	0,53	8,51	75,80		
	60	2,00	10,51	77,80		
	90	1,20	11,71	79,00		
	120	0,73	12,44	79,73		
	150	0,27	12,71	80,00		
	180	0,93	13,64	80,93		
	210	0,55	14,19	81,48		
	240	0,38	14,57	81,86		
	270	0,33	14,90	82,19		
	300	0,48	15,38	82,67		
	330	0,21	15,59	82,88		
	400	2,32	17,91	85,20		
	500	4,20	22,11	89,40		
	600	5,80	27,91	95,20		
	700	3,90	31,81	99,10		
	800	3,20	35,01	102,30		
	1000	3,68	38,69	105,98		
	2000	9,42	48,11	115,40		
	3000	3,27	51,38	118,67		
	4320	3,82	55,20	122,49		

	<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province	<b>Pumping Test Analysis Report</b>
		Project: TS-156
		Number:
		Client:

Location:	Pumping Test: TS-156	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 143,90 m	Discharge Rate: 155,52 [m³/d]	



Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio $K(v)/K(h)$	Ratio $Sy/S$	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$5,84 \times 10^{-1}$	$4,06 \times 10^{-3}$	$5,28 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-89 **Ubicación:** Punta Leona

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 30

**Equipo usado:** Bomba sumergible, 3HP, 7,785 L/s **A una profundidad de:** 24

**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 7,785 672,624 m<sup>3</sup>/día

Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	4,21	7,785	
	0,5	0,90	0,90	5,11		
	1	0,00	0,90	5,11		
	1,5	0,00	0,90	5,11		
	2	0,04	0,94	5,15		
	2,5	0,00	0,94	5,15		
	3	0,00	0,94	5,15		
	3,5	0,00	0,94	5,15		
	4	0,00	0,94	5,15		
	4,5	0,04	0,98	5,19		
	5	0,00	0,98	5,19		
	7	0,00	0,98	5,19		
	9	0,00	0,98	5,19		
	11	0,00	0,98	5,19		
	13	0,04	1,02	5,23		
	15	0,00	1,02	5,23		
	20	0,00	1,02	5,23		
	25	0,00	1,02	5,23		
	30	0,04	1,06	5,27		
	40	0,00	1,06	5,27		
	50	0,00	1,06	5,27		
	60	0,00	1,06	5,27		
	75	0,00	1,06	5,27		
	90	0,00	1,06	5,27		
	105	0,00	1,06	5,27		
	120	0,06	1,12	5,33		
	150	0,06	1,18	5,39		
	180	0,00	1,18	5,39		
	210	0,00	1,18	5,39		
	240	0,00	1,18	5,39		
	300	0,00	1,18	5,39		
	360	0,00	1,18	5,39		
	420	0,00	1,18	5,39		
	480	0,00	1,18	5,39		
	540	0,00	1,18	5,39		

	600	0,00	1,18	5,39		
	660	0,00	1,18	5,39		
	720	0,00	1,18	5,39		
	780	0,00	1,18	5,39		
	840	0,00	1,18	5,39		
	900	0,00	1,18	5,39		
	960	0,00	1,18	5,39		
	1020	0,00	1,18	5,39		
	1080	0,00	1,18	5,39		
	1140	0,00	1,18	5,39		
	1200	0,00	1,18	5,39		
	1260	0,00	1,18	5,39		
	1320	0,00	1,18	5,39		
	1380	0,00	1,18	5,39		
	1440	0,00	1,18	5,39		
	1500	0,00	1,18	5,39		
	1560	0,00	1,18	5,39		
	1620	0,00	1,18	5,39		
	1680	0,00	1,18	5,39		
	1740	0,00	1,18	5,39		
	1800	0,00	1,18	5,39		
	1860	0,00	1,18	5,39		
	1920	0,00	1,18	5,39		
	1980	0,00	1,18	5,39		
	2040	0,06	1,24	5,45		
	2100	0,00	1,24	5,45		
	2160	0,00	1,24	5,45		
	2220	0,00	1,24	5,45		
	2280	0,00	1,24	5,45		
	2340	0,00	1,24	5,45		
	2400	0,00	1,24	5,45		
	2460	0,00	1,24	5,45		
	2520	0,00	1,24	5,45		
	2580	0,00	1,24	5,45		
	2640	0,00	1,24	5,45		
	2700	0,00	1,24	5,45		
	2760	0,00	1,24	5,45		
	2820	0,00	1,24	5,45		
	2880	0,00	1,24	5,45		
	2940	0,00	1,24	5,45		
	3000	0,00	1,24	5,45		
	3060	0,00	1,24	5,45		
	3120	0,00	1,24	5,45		
	3160	0,00	1,24	5,45		

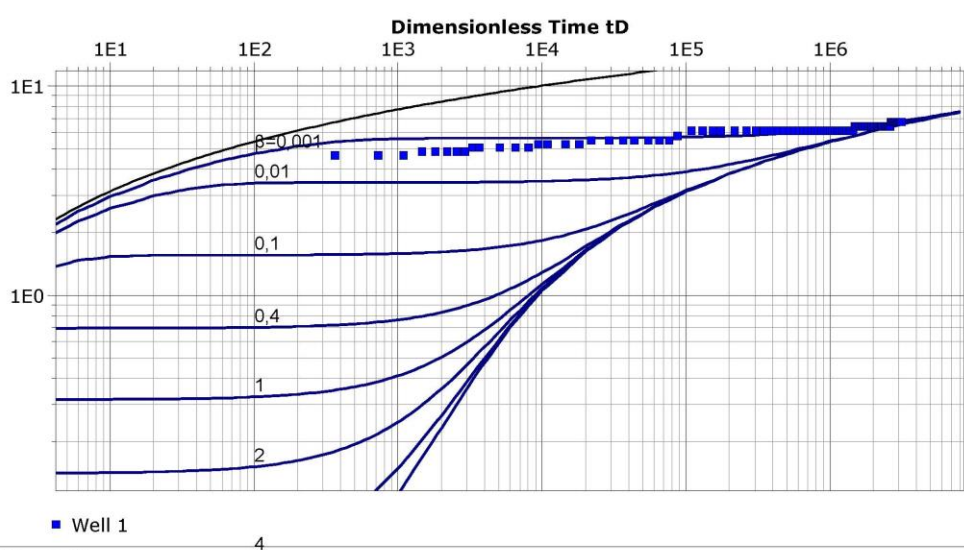
	3240	0,00	1,24	5,45		
	3300	0,00	1,24	5,45		
	3360	0,00	1,24	5,45		
	3420	0,00	1,24	5,45		
	3480	0,00	1,24	5,45		
	3540	0,00	1,24	5,45		
	3600	0,00	1,24	5,45		
	3660	0,06	1,30	5,51		
	3720	0,00	1,30	5,51		
	3780	0,00	1,30	5,51		
	3840	0,00	1,30	5,51		
	3900	0,00	1,30	5,51		
	3960	0,00	1,30	5,51		
	4020	0,00	1,30	5,51		
	4080	0,00	1,30	5,51		
	4140	0,00	1,30	5,51		
	4200	0,00	1,30	5,51		
	4260	0,00	1,30	5,51		
	4320	0,00	1,30	5,51		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-89  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-89	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 20,00 m	Discharge Rate: 672,624 [m <sup>3</sup> /d]	




Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity 6 [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	$2,77 \times 10^2$	$1,38 \times 10^1$	$6,59 \times 10^{-2}$	$4,10 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

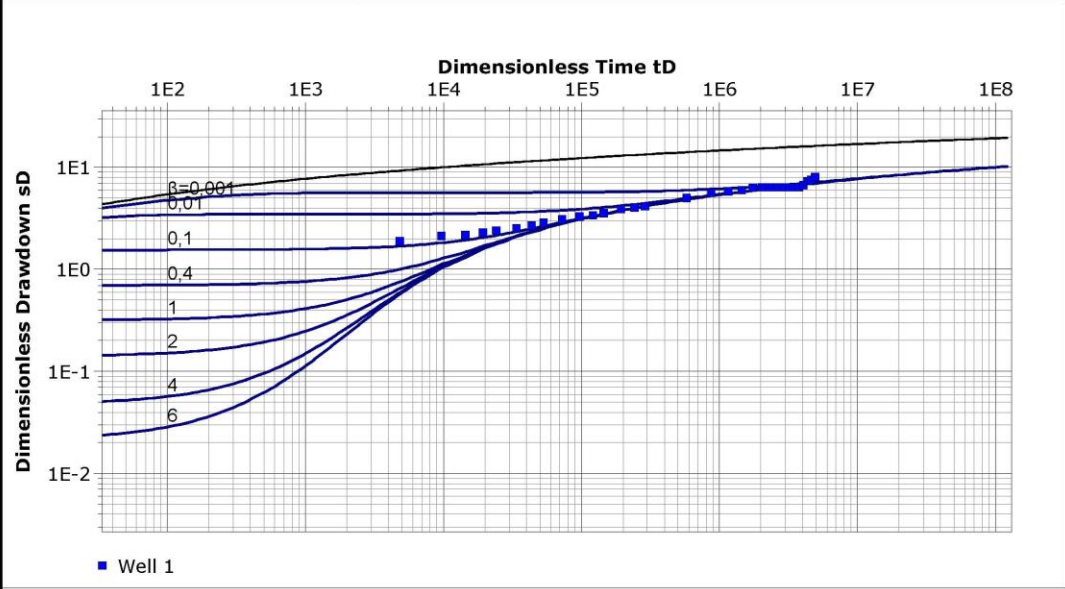
### REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** Q.G. Castaña 2 **Ubicación:** Quebrada Ganado  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 24  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 3HP, 2,5 L/s **A una profundidad de:** 23  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 12,2 1054,08 m<sup>3</sup>/día

Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
10:40 a.m.	0	0	0,00	6,00	12,2	
	1	1,30	1,30	7,30		
	2	0,15	1,45	7,45		
	3	0,04	1,49	7,49		
	4	0,07	1,56	7,56		
	5	0,08	1,64	7,64		
	7	0,09	1,73	7,73		
	9	0,12	1,85	7,85		
	11	0,12	1,97	7,97		
	15	0,14	2,11	8,11		Agua clara
	20	0,16	2,27	8,27		
	25	0,05	2,32	8,32		
	30	0,11	2,43	8,43		
	40	0,22	2,65	8,65		
	50	0,12	2,77	8,77		
11:40 a.m.	60	0,06	2,83	8,83	12,2	Agua Cristalina
12:40 a.m.	120	0,60	3,43	9,43		
	180	0,42	3,85	9,85		
02:40 p.m.	240	0,14	3,99	9,99		
	300	0,10	4,09	10,09		
04:40 p.m.	360	0,22	4,31	10,31		Agua Cristalina
	420	0,03	4,34	10,34	12,2	
	480	0,00	4,34	10,34		
	540	0,00	4,34	10,34		
	600	0,04	4,38	10,38		
09:40 p.m.	660	0,00	4,38	10,38		
	720	0,00	4,38	10,38		
	780	0,00	4,38	10,38		
	840	0,20	4,58	10,58		
01:40 a.m.	900	0,46	5,04	11,04		
	960	0,10	5,14	11,14		
	1020	0,32	5,46	11,46		
	1080	10,00	15,46	21,46	9	
	1140	-9,65	5,81	11,81	9	
06:40 a.m.	1200	-0,26	5,55	11,55		
	1260	-0,23	5,32	11,32		
	1320	-0,53	4,79	10,79		Agua Cristalina
	1380	-0,52	4,27	10,27		
10:40 a.m.	1440	-0,18	4,09	10,09	9	Equilibrado

	<b>Contact Info</b> Address Company Name City, State/Province	<b>Pumping Test Analysis Report</b>	
		Project: QG Castaña	
		Number:	
		Client:	

Location:	Pumping Test: QG Castaña	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 150,00 m	Discharge Rate: 1054,08 [m³/d]	



Calculation using Neuman

Observation Well	Transmissivity [m²/d]	Hydraulic Conductivity [m/d]	Specific Yield	Ratio K(v)/K(h)	Ratio Sy/S	Radial Distance to PW [m]
Well 1	$1,23 \times 10^2$	$8,17 \times 10^{-1}$	$4,40 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

## REPORTE DE PRUEBA DE BOMBEO

**Pozo:** TS-128 **Ubicación:** Punta Leona  
**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Profundidad del pozo:** 170  
**Equipo usado:** Bomba sumergible, 5HP, 1,0 L/s **A una profundidad de:** 165  
**Prueba realizada a un caudal constante de (L/s):** 1 86,4 m<sup>3</sup>/día

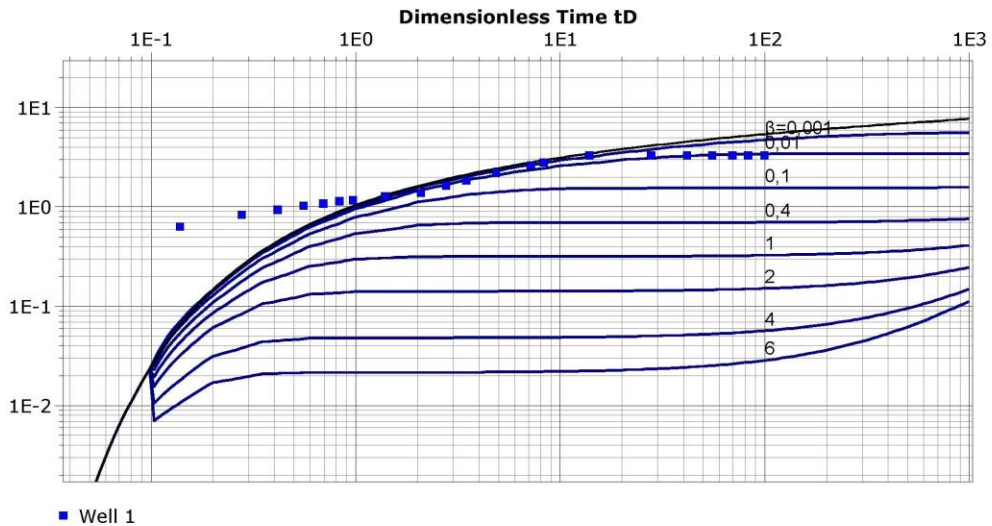
Hora	Tiempo (min)	Abatimiento (m)			Caudal (l/s)	Observación
		Increment.	Acum.	Nivel		
	0	0	0,00	0,00	1	
	1	27,57	27,57	27,57		
	2	8,30	35,87	35,87		
	3	4,86	40,73	40,73		
	4	3,44	44,17	44,17		
	5	2,68	46,85	46,85		
	6	2,18	49,03	49,03		
	7	1,84	50,87	50,87		
	10	4,28	55,15	55,15		
	15	4,85	60,00	60,00		
	20	11,26	71,26	71,26		
	25	8,74	80,00	80,00		
	35	15,53	95,53	95,53		
	52	18,28	113,81	113,81		
	60	6,61	120,42	120,42		
	100	23,58	144,00	144,00		
	200	0,00	144,00	144,00		
	300	0,00	144,00	144,00		
	400	0,00	144,00	144,00		
	500	0,00	144,00	144,00		
	600	0,00	144,00	144,00		
	720	0,00	144,00	144,00		



**Contact Info**  
 Address  
 Company Name  
 City, State/Province

**Pumping Test Analysis Report**  
 Project: TS-128  
 Number:  
 Client:

Location:	Pumping Test: TS-128	Pumping Well: Well 1
Test Conducted by:		Test Date: 12/08/2017
Analysis Performed by:	New analysis 1	Analysis Date: 12/08/2017
Aquifer Thickness: 220,30 m	Discharge Rate: 86,4 [m <sup>3</sup> /d]	



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	$1,59 \times 10^{-1}$	$7,24 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-1}$	$4,26 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^1$	0,2

**12.11 ANEXO 11**  
**CONCESIONES DE LA BASE DE DATOS DE LA DIRECCIÓN DE AGUA-MINAE**

Exp (DA)	Estado (DA)	C. Humano	Turismo	Agropecuario	Riego	Q total asignado (DA)	X	Y	Fuente	Nombre
438R	Inscrito	6,15	-	-	-	6,15	468719	188953	Pozo	AyA
438R	Inscrito	19,51	-	-	-	19,51	466777	189077	Pozo	AyA
15645P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465154	187200	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.
15645P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465058	187280	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.
16687P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	464961	186010	Pozo	Serenity Nat Lagos S.A.
13395P	Otorgado	0,02	-	-	-	0,02	463080	186670	Pozo	COM Sistemas
n.d.	-	-	-	-	-	-	465497	187951	Pozo	-
12835P	Otorgado	0,04	-	-	-	0,04	467700	189350	Pozo	Herbeth Jimenez Araya
n.d.	-	-	-	-	-	-	465656	187980	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	467528	191074	Pozo	-
15645P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465162	187436	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.
17532P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465650	186725	Pozo	TEBOA Tornado S.A.
n.d.	-	-	-	-	-	-	465173	189535	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464657	189405	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464802	189178	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464710	188434	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464615	189384	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464686	188492	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464761	188711	Pozo	-
5767P	Cancelado	-	-	-	-	-	464350	187200	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.
14504P	Otorgado	2	-	-	-	2	464850	187700	Pozo	JYE Arrecife del Pac S.A.
13854P	Otorgado	4	-	-	-	4	466895	187974	Pozo	Espinas Magicas LTDA
15053P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	462891	186784	Pozo	Condominio Altos de Leonamar
n.d.	-	-	-	-	-	-	466750	191020	Pozo	-
6650P	Cancelado	-	-	-	-	-	464950	187000	Pozo	Santiago
14603P	Otorgado	0,21	2,17	-	0,62	3	464086	187420	Pozo	SYR Trustee Comp LTDA
8913P	Cancelado	4,45	-	-	-	4,45	466600	188700	Pozo	Soc de usuarios Urb. El Oasis
7735P	Cancelado	2,1	-	-	-	2,1	464142	187337	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.
n.d.	-	-	-	-	-	-	467520	189900	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	467200	191200	Pozo	-
14237P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	466399	188544	Pozo	Leonamar Germanio 32 S.A.
3350P	Cancelado	-	-	-	-	-	463750	187550	Pozo	Club Punta Leona S.A.
n.d.	-	-	-	-	-	-	464800	186500	Pozo	-
10215P	Otorgado	0,05	-	-	-	0,05	465080	186350	Pozo	Rogut Hermanos S.A.

<b>14228P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>0,05</b>	-	-	-	<b>0,05</b>	<b>463294</b>	<b>186470</b>	<b>Pozo</b>	<b>El Arlequin triste LTDA</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	463909	185363	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	467420	188700	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	468875	188950	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464791	186302	Pozo	-
<b>17242P</b>	<b>Sol. Nueva</b>	-	-	-	-	-	<b>463800</b>	<b>185300</b>	<b>Pozo</b>	<b>Lieuroy S.A.</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	463810	185400	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	464822	186862	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	465250	186620	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	466800	191330	Pozo	-
<b>5663P</b>	<b>Cancelado</b>	<b>1,5</b>	-	-	-	<b>1,5</b>	<b>466825</b>	<b>189000</b>	<b>Pozo</b>	<b>Francisco Vargas Luna</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	466850	191370	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	465800	186680	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	465150	190450	Pozo	-
<b>13014P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>0,02</b>	-	-	-	<b>0,02</b>	<b>463600</b>	<b>185350</b>	<b>Pozo</b>	<b>Parisima Dos Int S.A.</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	465750	187050	Pozo	-
n.d.	-	-	-	-	-	-	466200	186800	Pozo	-
<b>5767P</b>	<b>Cancelado</b>	<b>3,17</b>	-	-	-	<b>3,17</b>	<b>464343</b>	<b>187173</b>	<b>Pozo</b>	<b>Hotel Punta Leona S.A.</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	468275	189300	Pozo	-
<b>15645P</b>	<b>Sol. Nueva</b>	-	-	-	-	-	<b>464898</b>	<b>187151</b>	<b>Pozo</b>	<b>Sol. Integrales SIS S.A.</b>
<b>15645P</b>	<b>Sol. Nueva</b>	-	-	-	-	-	<b>464923</b>	<b>187083</b>	<b>Pozo</b>	<b>Sol. Integrales SIS S.A.</b>
<b>14233P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>0,2</b>	-	-	-	<b>0,2</b>	<b>465970</b>	<b>188636</b>	<b>Pozo</b>	<b>SYR Trustee Comp LTDA</b>
<b>13827P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>4,13</b>	-	-	-	<b>4,13</b>	<b>466110</b>	<b>188740</b>	<b>Pozo</b>	<b>Condominio El Bambu</b>
<b>5767P</b>	<b>Cancelado</b>	-	-	-	-	-	<b>464200</b>	<b>187150</b>	<b>Pozo</b>	<b>Hotel Punta Leona S.A.</b>
<b>12975P</b>	<b>Sol. Nueva</b>	-	-	-	-	-	<b>467580</b>	<b>189580</b>	<b>Pozo</b>	<b>Inmobiliaria El Manzanillo</b>
n.d.	-	-	-	-	-	-	467416	191003	Pozo	-
<b>13237P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>0,69</b>	-	-	-	<b>0,69</b>	<b>463687</b>	<b>185218</b>	<b>Pozo</b>	<b>FINBOIS S.A.</b>
<b>16369P</b>	<b>Otorgado</b>	<b>0,04</b>	<b>0,59</b>	<b>0,01</b>	<b>1,36</b>	<b>2</b>	<b>465460</b>	<b>186600</b>	<b>Pozo</b>	<b>Las Acacias de las nubes S.A.</b>
31R	Inscrito	0,51	-	-	-	0,51	469726	189824	Naciente	ASADA Q. Ganado y Agujas
10788P	Archivado	-	-	-	-	-	466851	191369	Pozo	Rodrival Hermanos LTDA
10788P	Archivado	-	-	-	-	-	466823	191334	Pozo	Rodrival Hermanos LTDA
12172A	Cancelado	0,06	-	-	-	0,06	467800	191110	Naciente	Edun y Marjorie
13527A	Cancelado	0,02	-	0,01	0,94	0,97	466506	186837	Naciente	Vista del cielo CR LTDA
14895A	Cancelado	0,05	-	-	-	0,05	465320	186302	Naciente	Soc de usuarios de agua Mantas
16541P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	462426	186650	Pozo	Casa Riscomar del Oeste S.A.
16914P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	464904	187709	Pozo	Costa Rica Global Law Inc S.A.
17241P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	463800	185300	Pozo	Corbiere S.A.
10548P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465850	189400	Pozo	Proyos S.A.

13128P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	465150	186600	Pozo	Caletas Paradise Res S.A.
13997P	Cancelado	-	-	-	-	-	471980	186057	Pozo	Las Tacas Andina S.A.
13997P	Cancelado	-	-	-	-	-	471704	186329	Pozo	Las Tacas Andina S.A.
15726A	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	472063	184627	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA
15726A	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	471876	184537	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA
15726A	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	472107	184657	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA
15726A	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	472095	184648	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA
16268P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	463800	185300	Pozo	Chateau Margaux S.A.
16722P	Sol. Nueva	-	-	-	-	-	464597	186928	Pozo	Vistas de Paraiso SRL
31R	Inscrito	-	-	-	-	-	469470	189190	Naciente	ASADA Q. Ganado y Aguas
3743A	Cancelado	-	-	-	-	-	466400	191000	Naciente	Ganadera Chogun S.A.
438R	Inscrito	0,47	-	-	-	0,47	469359	189405	Naciente	AyA
438R	Inscrito	0,23	-	-	-	0,23	469137	189201	Naciente	AyA
438R	Inscrito	0,27	-	-	-	0,27	469024	189136	Naciente	AyA
438R	Inscrito	4,44	-	-	-	4,44	469453	189316	Quebrada	AyA
438R	Inscrito	2,44	-	-	-	2,44	468675	188987	Pozo	AyA
5129P	Cancelado	0,5	-	-	-	0,5	467500	191300	Pozo	Porcina Sta Rita S.A.
6265A	Cancelado	0,02	-	-	-	0,02	468000	188900	Naciente	INEBOL S.A.
8506A	Cancelado	-	-	-	-	-	465250	186200	Naciente	Vargas Arredondo
9339P	Cancelado	-	-	-	-	-	466940	189060	Pozo	Real de Punta Leona S.A.
Total		57,34	2,76	0,02	2,92	63,04	<b>Concesiones correlacionados con Pozos de SENARA</b>			
							Concesiones sin correlación Pozos de SENARA			

**12.12 ANEXO 12**  
**CORRELACIÓN ENTRE CONCESIONES DE LA DIRECCIÓN DE AGUA DEL**  
**MINAE Y POZOS DEL SENARA**

Exp (DA)	Q total asignado (DA)	X	Y	Fuente	Nombre	Pozo (SENARA)	Q rec (L/s) (SENARA)	Q Final para este estudio (L/s)	Q Final según régimen de bombeo (m3/año)
438R	6,15	468719	188953	Pozo	AyA	ASADA QG-2 Castaña	12,20	6,15	193946,4
438R	19,51	466777	189077	Pozo	AyA	AyA 01-09	8,00	19,51	615267,36
15645P	-	465154	187200	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.	TS100	1,00	1,00	15768
15645P	-	465058	187280	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.	TS101	1,00	1,00	15768
16687P	-	464961	186010	Pozo	Serenity Nat Lagos S.A.	TS103	1,00	1,00	15768
13395P	0,02	463080	186670	Pozo	COM Sistemas	TS108	0,50	0,02	210,24
n.d.	-	465497	187951	Pozo	-	TS109	2,00	2,00	31536
12835P	0,04	467700	189350	Pozo	Herbeth Jimenez Araya	TS11	0,50	0,04	420,48
n.d.	-	465656	187980	Pozo	-	TS111	2,00	2,00	31536
n.d.	-	467528	191074	Pozo	-	TS114	0,75	0,75	11826
15645P	-	465162	187436	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.	TS124	1,00	1,00	15768
17532P	-	465650	186725	Pozo	TEBOA Tornado S.A.	TS128	0,00	0,00	0,00
n.d.	9,65	465173	189535	Pozo	-	TS129	9,65	9,65	304322,4
n.d.	-	464657	189405	Pozo	-	TS131	-	0,00	0,00
n.d.	-	464802	189178	Pozo	-	TS133	-	0,00	0,00
n.d.	-	464710	188434	Pozo	-	TS134	-	0,00	0,00
n.d.	-	464615	189384	Pozo	-	TS135	-	0,00	0,00
n.d.	-	464686	188492	Pozo	-	TS136	0,00	0,00	0,00
n.d.	-	464761	188711	Pozo	-	TS137	0,00	0,00	0,00
5767P	-	464350	187200	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.	TS14	2,60	2,60	40996,80
14504P	2	464850	187700	Pozo	JYE Arrecife del Pac S.A.	TS15	2,30	2,00	21024
13854P	4	466895	187974	Pozo	Espinas Magicas LTDA	TS150	4,00	4,00	42048
15053P	-	462891	186784	Pozo	Condominio Altos de Leonamar	TS156	1,80	1,80	28382,40
n.d.	-	466750	191020	Pozo	-	TS19	0,50	0,50	7884,00
6650P	-	464950	187000	Pozo	Santiago	TS20	3,00	3,00	47304,00
14603P	3	464086	187420	Pozo	SYR Trustee Comp LTDA	TS21	3,00	3,00	47304,00
8913P	4,45	466600	188700	Pozo	Soc de usuarios Urb. El Oasis	TS25	6,10	4,45	46778,4
7735P	2,1	464142	187337	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.	TS28	-	2,10	66225,6
n.d.	-	467520	189900	Pozo	-	TS31	-	0,00	0,00
n.d.	-	467200	191200	Pozo	-	TS33	1,50	1,50	23652,00
14237P	6,3	466399	188544	Pozo	Leonamar Germanio 32 S.A.	TS38	6,30	6,30	198676,8
3350P	-	463750	187550	Pozo	Club Punta Leona S.A.	TS4	2,37	2,37	37370,16
n.d.	-	464800	186500	Pozo	-	TS41	1,00	1,00	15768,00

10215P	0,05	465080	186350	Pozo	Rogut Hermanos S.A.	TS42	1,00	0,05	525,6
14228P	0,05	463294	186470	Pozo	El Arlequin triste LDTA	TS44	1,00	0,05	525,6
n.d.	-	463909	185363	Pozo	-	TS53	1,50	1,50	23652,00
n.d.	-	467420	188700	Pozo	-	TS58	2,00	2,00	31536,00
n.d.	-	468875	188950	Pozo	-	TS59	3,00	3,00	47304,00
n.d.	-	464791	186302	Pozo	-	TS60	2,00	2,00	31536,00
17242P	-	463800	185300	Pozo	Lieuroy S.A.	TS61	1,50	1,50	23652,00
n.d.	-	463810	185400	Pozo	-	TS64	1,50	1,50	23652,00
n.d.	-	464822	186862	Pozo	-	TS66	1,00	1,00	15768,00
n.d.	-	465250	186620	Pozo	-	TS68	1,00	1,00	15768,00
n.d.	-	466800	191330	Pozo	-	TS69	2,50	2,50	39420,00
5663P	1,5	466825	189000	Pozo	Francisco Vargas Luna	TS7	1,50	1,50	15768
n.d.	-	466850	191370	Pozo	-	TS70	2,50	2,50	39420,00
n.d.	-	465800	186680	Pozo	-	TS71	2,00	2,00	31536,00
n.d.	-	465150	190450	Pozo	-	TS73	0,50	0,50	7884,00
13014P	0,02	463600	185350	Pozo	Parisima Dos Int S.A.	TS74	1,00	0,02	210,24
n.d.	-	465750	187050	Pozo	-	TS76	1,00	1,00	15768,00
n.d.	-	466200	186800	Pozo	-	TS79	1,00	1,00	15768,00
5767P	3,17	464343	187173	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.	TS8	4,50	3,17	99969,12
n.d.	-	468275	189300	Pozo	-	TS84	3,00	0,12	1892,16
15645P	-	464898	187151	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.	TS85	0,54	0,54	8514,72
15645P	-	464923	187083	Pozo	Sol. Integrales SIS S.A.	TS86	0,32	0,32	5045,76
14233P	0,2	465970	188636	Pozo	SYR Trustee Comp LTDA	TS88	2,00	0,20	2102,4
13827P	4,13	466110	188740	Pozo	Condominio El Bambu	TS89	2,00	4,13	130243,68
5767P	-	464200	187150	Pozo	Hotel Punta Leona S.A.	TS9	4,80	4,80	75686,40
12975P	-	467580	189580	Pozo	Inmobiliaria El Manzanillo	TS90	1,23	1,23	19394,64
n.d.	-	467416	191003	Pozo	-	TS94	1,50	1,50	23652,00
13237P	0,69	463687	185218	Pozo	FINBOIS S.A.	TS96	1,00	0,69	7253,28
16369P	2	465460	186600	Pozo	Las Acacias de las nubes S.A.	TS98	1,00	2,00	31536,00
31R	0,51	469726	189824	Naciente	ASADA Q. Ganado y Agujas			0,51	5361,12
10788P	-	466851	191369	Pozo	Rodrival Hermanos LTDA			0,00	0,00
10788P	-	466823	191334	Pozo	Rodrival Hermanos LTDA			0,00	0,00
12172A	0,06	467800	191110	Naciente	Edun y Marjorie			0,06	630,72
13527A	0,97	466506	186837	Naciente	Vista del cielo CR LTDA			0,97	15294,96
14895A	0,05	465320	186302	Naciente	Soc de usuarios de agua Mantas			0,05	525,6
16541P	-	462426	186650	Pozo	Casa Riscomar del Oeste S.A.			0,00	0,00
16914P	-	464904	187709	Pozo	Costa Rica Global Law Inc S.A.			0,00	0,00
17241P	-	463800	185300	Pozo	Corbiere S.A.			0,00	0,00

10548P	-	465850	189400	Pozo	Proyos S.A.		0,00	0,00
13128P	-	465150	186600	Pozo	Caletas Paradise Res S.A.		0,00	0,00
13997P	-	471980	186057	Pozo	Las Tacas Andina S.A.		0,00	0,00
13997P	-	471704	186329	Pozo	Las Tacas Andina S.A.		0,00	0,00
15726A	-	472063	184627	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA		0,00	0,00
15726A	-	471876	184537	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA		0,00	0,00
15726A	-	472107	184657	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA		0,00	0,00
15726A	-	472095	184648	Quebrada	Soc Ganadera Arias y Arias LTDA		0,00	0,00
16268P	-	463800	185300	Pozo	Chateau Margaux S.A.		0,00	0,00
16722P	-	464597	186928	Pozo	Vistas de Paraiso SRL		0,00	0,00
31R	-	469470	189190	Naciente	ASADA Q. Ganado y Agujas		0,00	0,00
3743A	-	466400	191000	Naciente	Ganadera Chogun S.A.		0,00	0,00
438R	0,47	469359	189405	Naciente	AyA		0,47	4940,64
438R	0,23	469137	189201	Naciente	AyA		0,23	2417,76
438R	0,27	469024	189136	Naciente	AyA		0,27	2838,24
438R	4,44	469453	189316	Quebrada	AyA		4,44	46673,28
438R	2,44	468675	188987	Pozo	AyA		2,44	25649,28
5129P	0,5	467500	191300	Pozo	Porcina Sta Rita S.A.		0,50	5256
6265A	0,02	468000	188900	Naciente	INEBOL S.A.		0,02	210,24
8506A	-	465250	186200	Naciente	Vargas Arredondo		0,00	0,00
9339P	-	466940	189060	Pozo	Real de Punta Leona S.A.		0,00	0,00
<b>Concesiones correlacionadas con Pozos de SENARA</b>						Q total sin régimen de bombeo	132,02	
Concesiones sin correlación con Pozos de SENARA						<b>Caudal total con régimen de bombeo en m3/año</b>	<b>2.770.332,48</b>	
						<b>Caudal total de extracción en L/s</b>	<b>87,84</b>	
<b>Uso</b>	<b>Régimen (Horas/Día)</b>		<b>Bombeo (Meses)</b>		<b>Número de Concesiones</b>	<b>Caudal por Uso (m3/año)</b>		
<b>Abast. Público</b>	<b>24</b>		<b>12</b>		14	1.696.531,68		
<b>C. Humano-Doméstico</b>	<b>8</b>		<b>12</b>		15	143.488,80		
<b>Varios</b>	<b>12</b>		<b>12</b>		3	94.134,96		
<b>Sin especificar</b>	<b>12</b>		<b>12</b>		60	836.177,04		

**12.13 ANEXO 13**  
**DATOS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DEL LABORATORIO**  
**NACIONAL DE AGUAS**



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05501-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO (QUEBRADA GANADO) CASTAÑA NUEVO		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	08:00

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	134	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	11,6	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	34,4	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	2,35	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	291	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	86	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	136	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	96,8	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	12,0	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	D.	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05501-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	7,21		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	N.D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	9,9	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	6,83	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	26,4	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	3,50	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	4,3	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**\*\* Ensayo no acreditado**

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 163 mg/L.  
Dióxido de carbono=16 mg/L  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05502-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO CACIQUE (QUEBRADA GANADO)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Aqua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	08:18

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	142	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	26,3	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	35,4	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	1,87	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	299	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	88	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	142	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	14,8	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	12,9	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	D.	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05502-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	6,86		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	N.D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	8,4	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	4,68	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	26,8	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	3,30	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	10,8	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

\*\* Ensayo no acreditado

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 173 mg/L.  
Dióxido de carbono= 40 mg/L  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05503-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO SANTIAGO (QUEBRADA GANADO)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Aqua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	08:45

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	194	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	50,8	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	50,6	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	3,43	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	407	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	126	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	201	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	70,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	18,0	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	7,96	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05503-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	7,15		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	D.	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	11,7	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	7,75	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	26,1	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	4,40	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

\*\* Ensayo no acreditado

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 137 mg/L.  
Dióxido de carbono= 27 mg/L.  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química

Página 6 de 14	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
----------------	-----------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05504-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO 21 (CAPILLA PUNTA LEONA)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	09:35

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	121	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	5,1	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,6	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	46,4	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	5,67	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	348	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	116	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	134	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	91,6	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	4,4	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	6,49	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05504-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	6,45		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	1,9	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	17,7	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	29,66	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	26,7	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	3,70	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**\*\* Ensayo no acreditado**

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 148 mg/L.  
Dióxido de carbono= 84 mg/L.  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química

Página 8 de 14	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
----------------	-----------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05505-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO 28 (ROTONDA PUNTA LEONA)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	09:55

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	143	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	171,6	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	0,7	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	50,7	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	4,72	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	4,6	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	13	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	369	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	127	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	145	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	653,6	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	4,5	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	24,9	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	4,91	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008

Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05505-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	6,55		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	2,2	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	20,0	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	28,19	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	26,5	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	10,3	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	13,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**\*\* Ensayo no acreditado**

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 174 mg/L.  
Dióxido de carbono= 79 mg/L  
El nivel de Turbiedad y la concentración de Hierro, no cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A. Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05506-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO TS 88 (PUNTA LEONA)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Agua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	10:35

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	162	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	14,6	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	40,8	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	3,84	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	5	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	361	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	102	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	167	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	107,8	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	15,8	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	7,7	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	6,63	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1

Página 11 de 14

Rige: 16/01/17  
AYA

Aprobado por:  
Dr. Darner Mora Alvarado



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05506-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	7,11		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	1,6	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	9,4	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	8,05	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	27,7	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	3,60	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	24,3	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**\*\* Ensayo no acreditado**

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 198 mg/L.  
Dióxido de carbono= 25 mg/L.  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química

Página 12 de 14	Rige: 16/01/17 AYA	Aprobado por: Dr. Darner Mora Alvarado
-----------------	-----------------------	---



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

AYA-ID-05507-2017

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e-mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N.º LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Cliente:</b>	UEN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS		<b>Proc. muestreo</b>	AYA-PT-019-5	
<b>Contacto:</b>			<b>Muestreado por</b>	Canales Canales J	
<b>SISTEMA:</b>	CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO DE TARCOLES-PUNTA LEONA		<b>Fecha de muestreo</b>	09-jun-17	
			<b>Fecha de ingreso :</b>	10-jun-17	
<b>Muestreo:</b>	POZO BOULERD #38 (PUNTA LEONA)		<b>Fecha de Reporte:</b>	16-jun-17	
<b>Dirección:</b>	Llave de aforo		<b>Inicio Análisis MIC:</b>		
			<b>Teléfono:</b>		
<b>PROVINCIA:</b>	Puntarenas	<b>CANTON:</b>	Garabito	<b>Tipo de muestra:</b>	Aqua
<b>e-mail:</b>		<b>Fax:</b>		<b>Hora de recolección:</b>	10:50

### DETALLE REPORTE DE RESULTADOS ANALISIS

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Alcalinidad	*	185	mg/L	1,0	2,0	3,0	2320		
Aluminio	*	6,7	µg/L	1,0	1,0	4,0	3125 B		200
Amonio	*	N.D.	mg/L	0,10	0,1	0,15	4500-NH3	0,05	0,5
Antimonio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		5
Arsénico	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		10
Cadmio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,30	3125 B		3
Calcio	*	45,9	mg/L	1,0	1,5	2,0	3500-Ca B	100	
Cloruros	*	3,80	mg/L	0,49	0,81	1,10	4110B Cro	25	250
Cobre	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	1000	2000
Color Aparente	*	N.D.	UPT-Co	1,0	2,0	4,0	2120 C	5	15
Conductividad	*	361	µS/cm	1,0	2	4	2510	400	
Cromo	*	N.D.	µg/L	0,10	0,50	1,60	3125 B		50
Dureza de Calcio	*	115	mg/L	1,0	2,0	3,0	3500-Ca D		
Dureza Total	*	165	mg/L	1,0	2,0	4,0	2340 C	300	400
Fluoruros	*	N.D.	mg/L	0,027	0,055	0,100	4110B Cro		0,7-1,5
Fosfatos	*	N.D.	mg/L	0,32	0,40	0,70	4110B Cro		
Hierro	*	5,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		300
Magnesio	*	12,2	mg/L	0,10	0,50	1,0	3500 B	30	50
Manganeso	*	7,1	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B	100	500
Mercurio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,11	0,15	3125 B		1
Niquel	*	N.D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		20
Nitratos	*	6,76	mg/L	0,53	0,75	1,80	4110B Cro		50
Nitritos	*	N.D.	mg/L	0,026	0,060	0,10	4110B Cro		0,1



LABORATORIO NACIONAL DE AGUAS

## INFORME DE RESULTADOS

AYA-FPT-011B

Tres Ríos, Cartago  
Teléfono: (506) 279-5118  
Fax: (506) 279-5973  
e mail: [dm.mora@aya.go.cr](mailto:dm.mora@aya.go.cr)



Laboratorio de Ensayo  
Alcance de Acreditación N°. LE-049  
Acreditado a partir de: 11.02.2008  
Alcance disponible en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**AYA-ID-05507-2017**

PARAMETRO	E	RESULTADO	UNIDADES	INCERT	LD	LC	METODO	V.A.	V.MAX
Olor	**	Aceptable		N.A.	N.A.	N.A.	2150 B	Aceptable	Aceptable
pH	*	6,61		0,10	0,10	0,20	4500-H+	6,0-8,0	
Plomo	*	D.	µg/L	0,10	0,20	0,50	3125 B		10
Potasio	*	1,7	mg/L	0,80	1,0	1,5	3500-K B		10
Selenio	*	N.D.	µg/L	0,10	0,20	0,70	3125B		10
Sodio	*	9,5	mg/L	2,1	2,3	2,9	3500-Na B	25	200
Sulfatos	*	7,95	mg/L	0,79	0,81	1,30	4110B Cro	25	250
Temperatura	*	27,6	°C	0,10			2550 B	18 a 30) °C	
Turbiedad	*	3,30	UNT	0,10	0,12	0,15	2130 B	<1	5
Zinc	*	D.	µg/L	1,0	2,0	3,0	3125 B		3000

INCERT: Corresponde a la Incertidumbre expandida k=2 para un 95% de confianza

LD: Límite de Detección en las unidades del parámetro analizado

LC: Límite de Cuantificación en las unidades del parámetro analizado

METODO: Corresponde al código del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

N.D.: No detectable bajo el límite de detección

D.: Detectable pero no cuantificable

\* Ensayo acreditado. Ver alcance en [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

**\*\* Ensayo no acreditado**

### Condiciones Ambientales:

### Observaciones:

Bicarbonatos= 152 mg/L.  
Dióxido de carbono= 61 mg/L  
Las determinaciones efectuadas, cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable N° 38924-S.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del Laboratorio

*A Urbina C.*

Licda. Azucena Urbina Campos  
Jefe del Laboratorio Química



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Laboratorio Nacional de Aguas

**Análisis Microbiológico**

Sistema: <b>CAMPO DE POZOS QUEBRADA GANADO-PUNTA LEONA</b>		Solicitado por: <b>DIVISION DE ACUEDUCTOS</b>		Recolección: <b>27/03/2017</b>	
Canton: <b>GARABITO</b>		Recolectado por: <b>JOSÉ FRANCISCO CANALES</b>		Conclusión análisis: <b>30/03/2017</b>	
Provincia: <b>PUNTARENAS</b>	Localización: <b>6-11-02</b>	Número reporte: <b>15254</b>		Emisión reporte: <b>11/04/2017</b>	
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 mL <sup>-1</sup>		NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES	
POZO CASTAÑA NUEVO, QUEBRADA GANADO Llave de chorro	9:50			Negativo	Negativo
POZO CACIQUE, QUEBRADA GANADO Llave de aforo	10:15			Negativo	Negativo
POZO SANTIAGO, QUEBRADA GANADO Llave de aforo	10:35			1	1
POZO 21 (CAPILLA), PUNTA LEONA Llave de aforo	12:00			3	Negativo
POZO 28 (ROTONDA), PUNTA LEONA Llave de aforo	12:20			4	Negativo
POZO TS88, PUNTA LEONA Llave de aforo	12:56			Negativo	Negativo
POZO BOULEVARD 2, PUNTA LEONA Llave de aforo	13:10			Negativo	Negativo

1- Orden: 01484-17; ID: 02797, ID: 02798, ID: 02799, ID: 02800, ID: 02801, ID: 02802, ID: 02803.

2- Reporte de campo: a) El Pozo Castaña-Quebrada Ganado está fuera de operación; b) no hay un lugar apropiado para tomar la muestra del Pozo 8 Barlovento-Punta Leona; c) el Pozo 38 Boulevard-Punta Leona está fuera de operación, fue sustituido por el Pozo TS88-Punta Leona.

3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo N° 38924-S. Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli.

4- En este análisis puntual únicamente el agua de los pozos Castaña Nuevo-Quebrada Ganado, Cacique-Quebrada Ganado, TS88 Punta Leona y Boulevard 2-Punta Leona cumple los criterios microbiológicos para consumo humano.

PROFESIONAL RESPONSABLE

AREA MICROBIOLOGIA



"Vigilamos la calidad del agua por su salud"

**12.14 ANEXO 14**  
**DATOS DEL BALANCE DE IONES DEL MUESTREO DEL LABORATORIO**  
**NACIONAL DE AGUAS**

Q Ganado Castaña	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	34,40	40,08	0,858283433	2	1,717	54,8	
	Mg <sup>2+</sup>	12,00	24,31	0,493624023	2	0,987	31,5	
	Na <sup>+</sup>	9,90	22,99	0,43062201	1	0,431	13,7	
	K <sup>+</sup>	0,00	39,1	0	1	0	0	
						suma	3,134	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	2,35	35,45	0,06629055	-1	-0,07	2,3	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	6,83	96,06	0,071101395	-2	-0,14	4,94	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	163,00	61,02	2,671255326	-1	-2,67	92,8	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	0,00	62	0	-1	0	0	
						suma	-2,88	
	<b>% de Error Balance de carga</b>						4,235	
Q Ganado Cacique	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	35,40	40,08	0,883233533	2	1,766	55,3	
	Mg <sup>2+</sup>	12,90	24,31	0,530645825	2	1,061	33,2	
	Na <sup>+</sup>	8,40	22,99	0,365376251	1	0,365	11,4	
	K <sup>+</sup>	0,00	39,1	0	1	0	0	
						suma	3,193	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	1,87	35,45	0,052750353	-1	-0,05	1,77	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	4,68	96,06	0,04871955	-2	-0,1	3,26	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	173,00	61,02	2,835136021	-1	-2,84	95	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	0,00	62	0	-1	0	0	
						suma	-2,99	
	<b>% de Error Balance de carga</b>						3,363	
Q Ganado Res. Santiago	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	50,60	40,08	1,26247505	2	2,525	55,9	
	Mg <sup>2+</sup>	18,00	24,31	0,740436035	2	1,481	32,8	
	Na <sup>+</sup>	11,70	22,99	0,50891692	1	0,509	11,3	
	K <sup>+</sup>	0,00	39,1	0	1	0	0	
						suma	4,515	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	3,43	35,45	0,096755994	-1	-0,1	3,68	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	7,75	96,06	0,080678742	-2	-0,16	6,13	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	137,00	61,02	2,24516552	-1	-2,25	85,3	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	7,96	62	0,128387097	-1	-0,13	4,88	
						suma	-2,63	
	<b>% de Error Balance de carga</b>						26,35	

Hotel Pozo 21	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	46,40	40,08	1,157684631	2	2,315	66,2	
	Mg <sup>2+</sup>	4,40	24,31	0,180995475	2	0,362	10,4	
	Na <sup>+</sup>	17,70	22,99	0,769899957	1	0,77	22	
	K <sup>+</sup>	1,90	39,1	0,04859335	1	0,049	1,39	
						suma	3,496	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	5,67	35,45	0,159943583	-1	-0,16	4,83	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	29,70	96,06	0,309181761	-2	-0,62	18,7	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	148,00	61,02	2,425434284	-1	-2,43	73,3	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	6,49	62	0,104677419	-1	-0,1	3,16	
						suma	-3,31	
<b>% de Error Balance de carga</b>						2,755		
Hotel Pozo 28	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	50,70	40,08	1,26497006	2	2,53	66,1	
	Mg <sup>2+</sup>	4,50	24,31	0,185109009	2	0,37	9,68	
	Na <sup>+</sup>	20,00	22,99	0,869943454	1	0,87	22,7	
	K <sup>+</sup>	2,20	39,1	0,056265985	1	0,056	1,47	
						suma	3,826	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	4,72	35,45	0,133145275	-1	-0,13	3,65	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	28,20	96,06	0,293566521	-2	-0,59	16,1	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	174,00	61,02	2,85152409	-1	-2,85	78,1	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	4,91	62	0,079193548	-1	-0,08	2,17	
						suma	-3,65	
<b>% de Error Balance de carga</b>						2,345		
Hotel Pozo 88	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	40,80	40,08	1,017964072	2	2,036	53,8	
	Mg <sup>2+</sup>	15,80	24,31	0,649938297	2	1,3	34,3	
	Na <sup>+</sup>	9,40	22,99	0,408873423	1	0,409	10,8	
	K <sup>+</sup>	1,60	39,1	0,040920716	1	0,041	1,08	
						suma	3,786	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	3,80	35,45	0,10719323	-1	-0,11	2,96	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	8,05	96,06	0,083801791	-2	-0,17	4,62	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	198,00	61,02	3,244837758	-1	-3,24	89,5	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	6,63	62	0,106935484	-1	-0,11	2,95	
						suma	-3,63	
<b>% de Error Balance de carga</b>						2,146		

Hotel Pozo 38	Cationes	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Ca <sup>2+</sup>	45,90	40,08	1,145209581	2	2,29	61,1	
	Mg <sup>2+</sup>	12,20	24,31	0,50185109	2	1,004	26,8	
	Na <sup>+</sup>	9,50	22,99	0,41322314	1	0,413	11	
	K <sup>+</sup>	1,70	39,1	0,043478261	1	0,043	1,16	
						suma	3,751	
	Aniones	mg/L	Peso Molecular	mmol/L	Carga	meq/L	%	
	Cl <sup>-</sup>	3,80	35,45	0,10719323	-1	-0,11	3,88	
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	7,95	96,06	0,082760775	-2	-0,17	5,99	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	152,00	61,02	2,490986562	-1	-2,49	90,1	
	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	0,00	62	0	-1	0	0	
						suma	-2,76	
	<b>% de Error Balance de carga</b>						15,15	