

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGÍA

*Hidrogeología de la margen izquierda del río Tempisque,
sector central del cantón de Liberia, Guanacaste.*

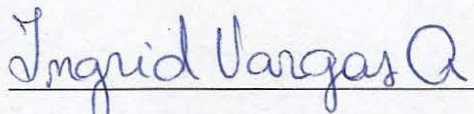
Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Geología

Paola Alvarado Piedra

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Noviembre, 2018

Tesis sometida y aceptada por el tribunal del trabajo final de graduación como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología.

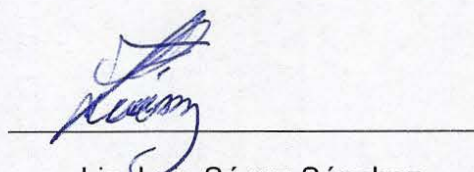
TRIBUNAL EXAMINADOR



M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa
Directora



Lic. Alonso Alfaro Martínez
Co-director



Lic. Luis Sáenz Sánchez
Co-director



Dr. Marco Barahona Palomo
Lector



Dr. Javier Trejos Zelaya
Decano de la Facultad de Ciencias
Presidente del Tribunal



Paola Alvarado Piedra
Sustentante


Derechos de propiedad intelectual

Yo, Paola Alvarado Piedra, portadora de la Cédula de identidad No. 113880831, conecedora de las sanciones legales con las que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio.

DECLARO bajo la fe de juramento lo siguiente: que soy estudiante de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica y como requisito de graduación debo defender mi tesis para optar por el grado académico de Licenciatura en Geología, la cual versa sobre el tema: HIDROGEOLOGÍA DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO TEMPISQUE, SECTOR CENTRAL DEL CANTÓN DE LIBERIA, GUANACASTE. Por lo que manifiesto que la misma ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad de Costa Rica.

Además, declaro solemnemente que dicha Tesis es fruto de mi esfuerzo e investigación en su totalidad, que en ella no han participado personas ajenas a mi Directora, Co-Directores y Lector, instituciones ni organizaciones extrañas y que los documentos utilizados están respectivamente citados. ES TODO.

Firma en la ciudad de San José a las 11 horas del día 16 de noviembre de 2018.



Paola Alvarado Piedra

Sustentante

Dedicatoria

A mi papá, quien me cuida desde el cielo, yo lo sé...

A mi mamá, por su amor infinito

A mi hermanita Jime, por llenar mi vida de ternura

Agradecimientos

A Dios por darme la oportunidad de vivir y de concluir mi carrera universitaria.

A los miembros de mi comité asesor por su ayuda y guía durante la elaboración de esta investigación.

Al SENARA y su director M.Sc. Roberto Ramírez por la oportunidad y financiamiento para la realización de este proyecto.

A Juan Vargas, Ingrid Vargas, Nazareth Torres, Pedro Bermúdez, José Daniel López y Mario Arias por su colaboración en la realización y la inversión de datos de las tomografías eléctricas y a don Luis Sáenz por ayudarme con la interpretación.

A mis amigos y colegas Juan Pablo Solano por aclarar todas mis dudas sobre ignimbritas y Adrián Obando por ayudarme con el álgebra de mapas.

A la Universidad de Costa Rica por financiar también parte de esta investigación, por permitirme estudiar en sus aulas y por brindarme grandes oportunidades de crecimiento personal y profesional; a todos mis compañeros y amigos que de una u otra forma me ayudaron y acompañaron durante este proceso.

Agradezco muy especialmente a mi directora de tesis Ingrid Vargas Azofeifa, por su apoyo y motivación para concluir este trabajo, por enseñarme, desde hace ya varios años, gran parte de lo que se sabe sobre hidrogeología y por sus siempre valiosos consejos sobre la vida. ¡Gracias infinitas!

Finalmente, a mi familia, especialmente a mi mamá por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida y a mi papá quien siempre me motivó a cumplir todas mis metas y lo sigue haciendo, porque aunque mis ojos ya no pueden verlo, mi corazón lo siente a cada momento.

Resumen

Se estudia una zona de 262,33 km², ubicada en el cantón de Liberia, esta se extiende desde la margen izquierda de la parte media de la cuenca del río Tempisque hasta la ciudad de Liberia. El objetivo de este estudio es caracterizar hidrogeológicamente el área mencionada, a partir de información geológica, piezométrica, geofísica, meteorológica e hidrogeoquímica; se propone un modelo conceptual, el cual servirá de base para realizar estudios específicos, tal como modelos numéricos, que permitan planificar el recurso hídrico y el territorio.

El volumen promedio anual de precipitación calculado es de $4,38 \times 10^8$ m³, la recarga potencial anual es de $1,09 \times 10^8$ m³, es decir un 24,8 % de la precipitación, esta recarga se da en la época lluviosa la cual se extiende desde mayo hasta octubre, con abril y noviembre como meses de transición.

La mayor parte del área no supera los 5° de pendiente, geológicamente se encuentran tobas, ignimbritas, lavas y algunas rocas sedimentarias todas correlacionadas con la Formación Bagaces, estas son sobreyacidas al este por tobas de la Formación Liberia y al oeste por depósitos aluviales originados por la sedimentación del río Tempisque.

El acuífero superior, Liberia, es de tipo libre con niveles someros, la transmisividad se clasifica como baja a intermedia, los valores predominantes varían entre 7,50 m²/d y 9,82 m²/d con un máximo de 54,6 m²/d, por lo que el medio se clasifica como poco heterogéneo, mientras tanto la conductividad hidráulica varía desde 0,0199 m/d hasta 0,2665 m/d.

El acuífero Bagaces es un sistema complejo debido a las heterogeneidades de la formación, el nivel de agua varía desde 4 m en el sector oeste y aumenta su profundidad a más de 100 m al este del área, varía de libre a confinado y su transmisividad se clasifica desde baja a muy alta, los valores predominantes se encuentran entre 9,3 m²/d y 413 m²/d con un máximo de 5520 m²/d por lo que el medio se considera extremadamente heterogéneo. La conductividad hidráulica varía entre 0,0032 m/d y 31,22 m/d.

La dirección de flujo de ambos acuíferos es hacia el oeste, con un gradiente hidráulico mayor en el acuífero Bagaces, el cual descarga mediante manantiales en la orilla del río Tempisque y el río Colorado y como flujo base en el río Tempisque donde presenta tramos efluentes o influentes que varían dependiendo del nivel del río o de los acuíferos en la margen izquierda y derecha del mismo.

La calidad del agua de algunos pozos de AyA utilizados para abastecimiento público suele cumplir con los parámetros establecidos en el Reglamento de la Calidad de

Agua Potable. Datos hidrogeoquímicos de estudios previos revelan un origen meteórico de las aguas y un tiempo de residencia corto, además la composición isotópica similar sugiere una misma zona de recarga para ambos acuíferos.

Palabras clave: Liberia, Bagaces, Tempisque, modelo conceptual, recurso hídrico, recarga potencial, geofísica.

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Ubicación geográfica.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Antecedentes hidrogeológicos.....	6
1.6 Clima y vegetación.....	11
1.7 Vías de acceso.....	13
1.8 Metodología.....	14
1.8.1 Fase 1: Recopilación de información previa y trabajo de campo.....	14
1.8.2 Fase 2: Análisis de la información.....	15
1.8.3 Fase 3: Elaboración de modelo hidrogeológico conceptual.....	15
1.9 Limitaciones.....	16
Capítulo 2: Marco teórico	17
2.1 Modelo hidrogeológico conceptual.....	17
2.2 Balance hídrico de suelos.....	19
2.2.1 Metodología Schosinsky (2006).....	19
2.3 Prospección geofísica.....	24
2.3.1 Principios teóricos básicos.....	24
2.3.2 Medida de resistividad en un punto.....	25
2.3.3 Tomografía eléctrica.....	27
2.4 Composición química del agua.....	28
2.4.1 Visualización y clasificación del agua subterránea.....	30
Capítulo 3: Descripción del medio físico	32
1.1 Marco geológico regional.....	32
1.1.1 Complejo de Nicoya.....	33
1.1.1.1 Basaltos.....	34
1.1.1.2 Radiolaritas.....	34
1.1.1.3 Intrusivo Potrero.....	35
1.1.2 Formación Bagaces.....	35

1.1.3	Formación Liberia.....	38
1.1.3.1	Unidad Río Liberia.....	38
1.1.3.2	Unidad Salitral.....	39
1.1.3.3	Unidad Buenavista.....	39
1.1.3.4	Unidad La Ese.....	39
1.1.4	Depósitos cuaternarios.....	40
1.2	Marco estructural regional.....	40
1.2.1	Fallas neotectónicas y paleotectónicas.....	40
1.2.2	Sinclinal de Liberia.....	42
1.3	Marco geomorfológico.....	42
1.3.1	Características generales.....	42
1.3.2	Lineamientos.....	44
1.3.3	Unidades geomorfológicas.....	45
1.4	Geología Local.....	46
1.4.1	Ignimbritas Bagaces.....	49
1.4.2	Lavas.....	50
1.4.3	Tobas blancas Liberia.....	50
Capítulo 4: Geofísica.....		52
4.1	Tomografía 1.....	55
4.2	Tomografía 2.....	57
4.3	Tomografía 3.....	59
4.4	Tomografía 4.....	61
4.5	Tomografía 5.....	61
4.6	Tomografía 6.....	63
4.7	Tomografía 7.....	66
	<i>Análisis general de las tomografías.....</i>	<i>68</i>
Capítulo 5: Hidrogeología.....		70
5.1	Recarga potencial.....	70
5.1.1	<i>Precipitación y Temperatura.....</i>	<i>71</i>
5.1.2	<i>Uso de suelo.....</i>	<i>73</i>
5.1.3	<i>Fracción de lluvia que es interceptada por el follaje.....</i>	<i>76</i>
5.1.4	<i>Infiltración.....</i>	<i>79</i>
5.1.5	<i>Infiltración pluvial mensual.....</i>	<i>84</i>

5.1.6 Escorrentía superficial	86
5.1.7 Evapotranspiración potencial.....	87
5.1.8 Recarga al acuífero.....	90
5.1.8.1 Capacidad de campo y punto de marchitez.....	90
5.1.8.2 Coeficientes de humedad C1 y C2.....	95
5.1.8.3 Humedad disponible	96
5.1.9 Cálculo de recarga potencial al acuífero.....	98
5.2 Estimación de la recarga real mediante la fluctuación del nivel del agua	101
5.3 Inventario de pozos	105
5.4 Perfiles hidrogeológicos.....	107
5.5 Niveles de agua y flujo subterráneo.....	112
5.6 Parámetros hidráulicos	118
5.6 Composición química del agua subterránea	129
5.6.1 Origen y tiempo de residencia del agua subterránea	129
5.7 Modelo hidrogeológico conceptual.....	138
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.....	142
Capítulo 7: Bibliografía	145
Anexo A: Resumen de pozos y piezómetros de SENARA y AyA	153
Anexo B: Datos meteorológicos.....	190
Anexo C: Análisis de suelos.....	192
Anexo D: Red de monitoreo de pozos del SENARA.....	194
Anexo E: Redes de flujo acuífero Liberia, 2012-2014.....	203
Anexo F: Transmisividades utilizadas en clasificación Krásný (1993).....	211
Anexo G: Análisis químicos.....	212

Índice de ilustraciones

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	1
Figura 2. Mapa de crecimiento urbano del cantón de Liberia.	5
Figura 3. Parte del mapa hidrogeológico de la península de Nicoya.....	8
Figura 4. Mapa de tipos de clima y vegetación.	12
Figura 5. Conductor uniforme. Tomado de Serway & Jewett (2008).....	25
Figura 6. Inyección de corriente en la superficie de un sólido conductor. Tomada de Hallof (1980)	25
Figura 7. Esquema de los dispositivos de las medidas de corriente y potencial en el método prospección eléctrica. Tomado de Udías & Mézcua (1896).	26
Figura 8. Distribución de los electrodos en las configuraciones de: a) Wenner y b) Schlumberger. Tomado de Udías & Mézcua (1986).	27
Figura 9. Tipos de agua deducidas de un diagrama triangular de Piper.....	31
Figura 10. Marco tectónico regional	33
Figura 11. Marco estructural regional.	41
Figura 12. Cuencas que conforman el área de estudio.	43
Figura 13. Mapa de pendientes y orientación de la pendiente.	44
Figura 14. Mapa geomorfológico del área de estudio.	46
Figura 15. Mapa de afloramientos	47
Figura 16. Mapa geológico del área de estudio. Basado en Denyer et al. (2014) y Bohnenberger (1968), modificado con trabajo de campo.....	48
Figura 17. Afloramientos de la Formación Bagaces. (a) y (b) Ignimbritas columnares asociadas al Norte del puente de Guardia (362032/282913), (c) afloramiento masivo fracturado (368801/285625) y (d) vitrofiro (368787/285775).	49
Figura 18. Lavas vesiculares de núcleos de perforación. Tomado de Vargas (2014).	50
Figura 19. Afloramientos de la unidad Tobas blancas Liberia. (a) y (b) depósitos tipo “serge” en la quebrada Arena (380410/288364).	51
Figura 20. Mapa de ubicación de tomografías eléctricas.	52
Figura 21. Tomografías eléctricas.	53
Figura 22. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 1.	56
Figura 23. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 2.	58
Figura 24. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 3.	60
Figura 25. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 4.	62
Figura 26. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 5.	64
Figura 27. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 6.	65
Figura 28. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 6.	67
Figura 29. Ubicación de estaciones meteorológicas del IMN en la zona de estudio.	72
Figura 30. Fotografías del uso del suelo. A) Zona reforestada con teca (izquierda de la fotografía), B) pasto con árboles aislados, C) pasto con bosque al fondo, D) imagen aérea de una parte de la ciudad de Liberia.	74
Figura 31. Mapa de uso de suelo del área de estudio. Elaboración propia con base en imágenes satelitales de Google Earth del 2018.	75
Figura 32. Mapa de coeficiente de follaje (Cfo) en el área de estudio.....	77

Figura 33. Mapa anual de retención de lluvia en el follaje (Ret).....	78
Figura 34. Ubicación de las pruebas de infiltración y muestras de suelos. Tomado de Vargas (2015).	80
Figura 35. Mapa de fracción que infiltra por textura del suelo (Kfc).....	81
Figura 36. Mapa de fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (Kv).....	82
Figura 37. Mapa de fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Kp).....	83
Figura 38. Mapa de coeficiente de infiltración (Ci).....	84
Figura 39. Mapa de precipitación que infiltra anualmente al suelo (Pi).....	85
Figura 40. Mapa de escorrentía superficial anual (ESC).	87
Figura 41. Mapa de capacidad de campo (CC) en % por peso de suelo seco.	92
Figura 42. Mapa de punto de marchitez (PM) en % por peso de suelo seco.....	92
Figura 43. Mapa de densidad aparente [g/cm^3].....	93
Figura 44. Mapa de profundidad de raíces.	93
Figura 45. Mapa de capacidad de campo [mm].	94
Figura 46. Mapa de punto de marchitez [mm].	94
Figura 47. Mapa anual de humedad disponible (HD).....	96
Figura 48. Mapa de evapotranspiración real promedio (ETR).	97
Figura 49. Mapa de recarga anual potencial.	99
Figura 50. Ubicación de pozos para cálculo de la recarga mediante método de FNF.	102
Figura 51. Mapa de ubicación de pozos con información litológica y líneas de perfil.....	106
Figura 52. Perfiles hidrogeológicos.	108
Figura 53. Pozos con presencia de lavas según expediente de SENARA.	109
Figura 54. Red de flujo de acuífero Liberia para julio de 2012, de acuerdo a datos de la red de monitoreo de SENARA. Los valores utilizados se encuentran en el anexo D.	113
Figura 55. Red de flujo del sistema acuífero Liberia de acuerdo a la base de datos de SENARA.	115
Figura 56. Red de flujo del sistema acuífero Bagaces de acuerdo a la base de datos de SENARA.	116
Figura 57. Mapa de ubicación de afloros y tramos de influencia e efluencia del río Tempisque.....	117
Figura 58. Mapa de valores de transmisividad (m^2/d) según expedientes del SENARA, AyA y Collins (1999).	118
Figura 59. Distribución espacial de la clase de magnitud de la transmisividad. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).	125
Figura 60. Mapa de ubicación de muestras de agua.....	131
Figura 61. Ubicación de muestras de ^{18}O y ^2H tomadas por Collins (1999).	136
Figura 62. Esquema de distribución del agua en la zona de estudio.....	140
Figura 63. Modelo hidrogeológico conceptual.	141

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen sinóptico-climático y tipo de vegetación de la subregión Pacífico Norte (PN2). Tomado de Solano & Villalobos (2001).....	11
Tabla 2. Detalle de los tipos de clima presentes en el área de estudio según Herrera (1986).....	12
Tabla 3. Detalle de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio según Gómez (1986).....	13
Tabla 4. Clasificación de los componentes inorgánicos disueltos en aguas subterráneas. Modificado de (Freeze & Cherry, 1979).....	29
Tabla 5. Rangos típicos de concentración de algunos componentes de aguas subterráneas y su origen. Basado en Custodio & Llamas (2001) y Appelo & Postma (1994).....	29
Tabla 6. Detalle de pozos cercanos a tomografías eléctricas.....	54
Tabla 7. Resumen de rangos de resistividad y su correlación en tomografías realizadas.....	68
Tabla 8. Fuente de parámetros utilizados para balance hídrico de suelos.....	71
Tabla 9. Cálculo de precipitación total en el área de estudio.....	73
Tabla 10. Valores de Infiltración y K _{fc} obtenidos. Tomado y modificado de Vargas (2015).....	80
Tabla 11. Coeficiente de infiltración por efecto de la pendiente K _p . Tomado y modificado de Schosinsky & Losilla (2000).....	83
Tabla 12. Cálculo de la evapotranspiración potencial en la zona de estudio según distintas metodologías.....	88
Tabla 13. Valores de CC, PM y Densidad aparente de las muestras de suelo utilizadas. Tomado de Vargas (2015).....	91
Tabla 14. Cálculo de la recarga mediante hidrograma de pozos.....	104
Tabla 15. Parámetros hidráulicos según expedientes de SENARA y AyA.....	119
Tabla 16. Parámetros hidráulicos tomados de Collins (1999).....	121
Tabla 17. Clasificación de la magnitud de la transmisividad según Krásný (1993).....	122
Tabla 18. Clasificación de la variabilidad de la transmisividad según Krásný (1993).....	122
Tabla 19. Resumen de las pruebas de Lugeon realizados en piezómetros del área de estudio. Tomados de la base de datos de SENARA.....	127
Tabla 20. Resumen de aforos realizados en el río Tempisque.....	114
Tabla 21. Valores de iones mayores en pozos de la zona de estudio.....	130
Tabla 22. Resumen de las características de las unidades acuíferas presentes en el área de estudio.....	139

Índice de gráficos

Gráfico 1. Variación mensual de la precipitación y temperatura en las estaciones ubicadas en el área de estudio.	72
Gráfico 2. Distribución porcentual del uso de suelo en la zona de estudio.....	76
Gráfico 3. Distribución de la precipitación total anual en el área de estudio, de acuerdo a la metodología de Schosinsky (2006).	86
Gráfico 4. Comparación de los valores de evapotranspiración potencial obtenida con distintas metodologías.	90
Gráfico 5. Precipitación mensual vs evapotranspiración potencial mensual.	95
Gráfico 6. Volumen de agua que recarga potencialmente el acuífero vs volumen de precipitación total.....	98
Gráfico 7. Distribución total de la precipitación en la zona de estudio de acuerdo a la metodología Schosinsky (2006).	100
Gráfico 8. Cambio en el almacenamiento de los pozos utilizados para calcular la recarga mediante método de FNF.	103
Gráfico 9. Cambio promedio anual del almacenamiento de pozos que captan acuífero Liberia.....	103
Gráfico 10. Cantidad de pozos vs usos, según base de datos de SENARA y AyA.	105
Gráfico 11. Distribución de la transmisividad del acuífero Bagaces. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).	124
Gráfico 12. Distribución de la transmisividad del acuífero Liberia. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).	126
Gráfico 13. Variaciones del nivel estático en mayo del 2012 en pozos de la red de monitoreo de SENARA.	112
Gráfico 14. Diagrama de Piper para las muestras agua de pozos del AyA y Collins (1999).	132
Gráfico 15. Relación $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en distintos tipos de agua. Tomado de Collins (1999).	135

Abreviaciones

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

BCIE: Banco Centroamericano de Integración Económica.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación.

IGN: Instituto Geográfico Nacional

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

MINAET: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

ONU: Organización de las Naciones Unidas.

PEN: Proyecto Estado de la Nación.

PRO –GIRH: Programa de Gestión Integral de Recursos Hídricos.

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento.

SEV: Sondeo eléctrico vertical.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Ubicación geográfica

El área de estudio está ubicada en el cantón de Liberia, provincia de Guanacaste, cubre parte de los distritos de Liberia, Nacascolo y Curubandé, se extiende desde la margen izquierda de la parte media de la cuenca del río Tempisque, hasta la ciudad de Liberia, abarcando un área total de 262,3 km².

La zona se encuentra dentro de las coordenadas 280800 N- 295500 N y 362000 E - 383200 E del sistema Lambert Norte, y 1166342 N – 1181022 N y 325720 E – 346942 E del sistema CRTM05, en parte de las hojas topográficas Carrillo Norte, Monteverde, Ahogados y Curubandé, escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (figura 1).

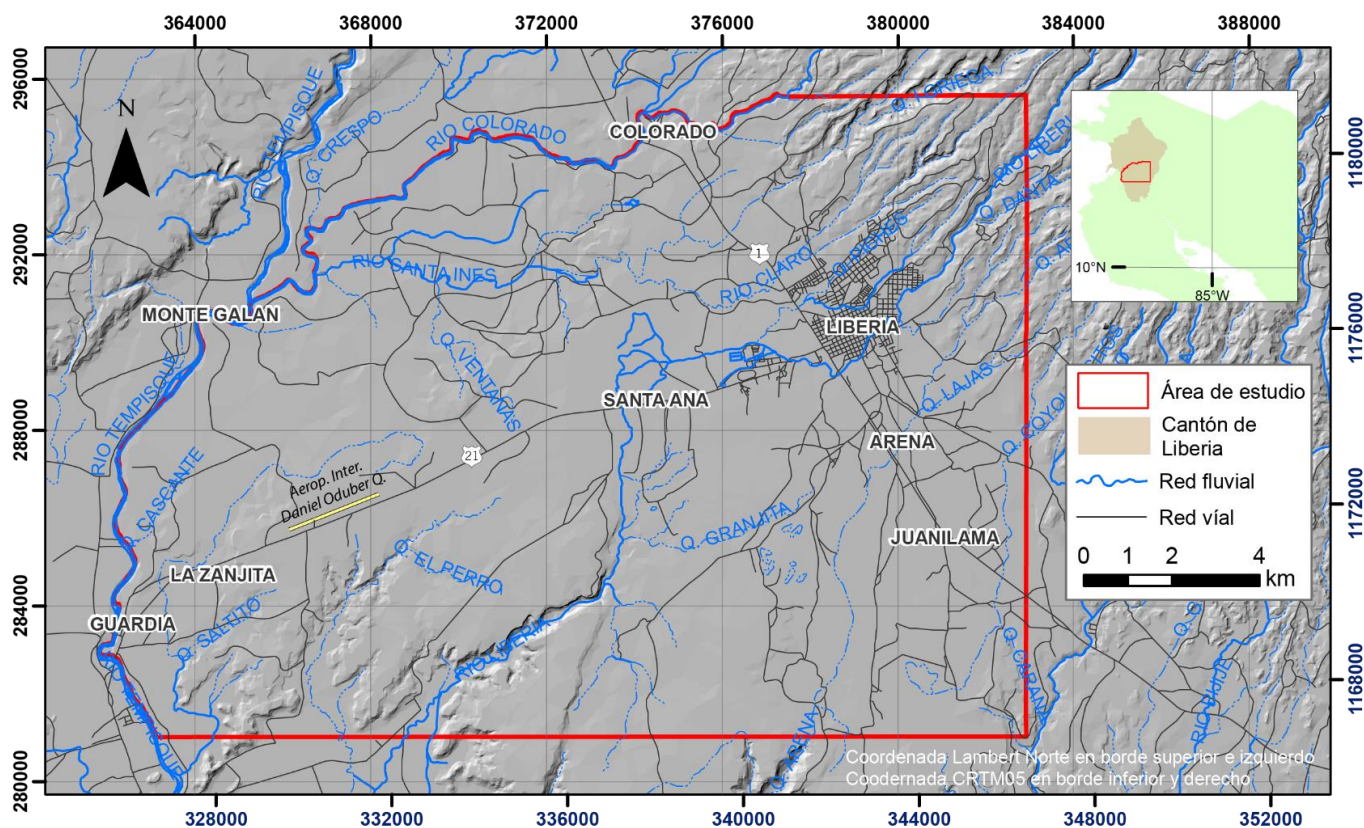


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

1.2 Justificación

La cuenca hidrográfica del río Tempisque, se ubica en la región Pacífico Norte de Costa Rica, en la provincia de Guanacaste. Se forma a partir de la confluencia de los ríos Tempisquito y Ahogados, tiene un área de 3411 km², representa un 6,69% del territorio nacional y un 60% de la provincia de Guanacaste (Astorga, 2007). En ella se encuentran importantes ecosistemas, como los humedales Bolsón, Riberino, Zapandí, Palo Verde, algunos hábitats como: bosques secos de bajura, sabanas arboladas y bosques siempreverdes, algunas de estas áreas se encuentran dentro de parques nacionales (Echeverría, 2005).

La cuenca ha sido transformada por sus pobladores, a lo largo de varios siglos: desde el bosque tropical seco con agricultura itinerante en la época precolombina, pasando por la hacienda ganadera extensiva en los tiempos de la Colonia, hasta los cultivos intensivos con uso de riego en los últimos años (Peters, 2001). Actualmente la base económica desarrollada en la zona es la producción agrícola- principalmente de productos como la caña de azúcar, el arroz, el melón y pastos en la parte baja y media de la cuenca-, la producción agroindustrial y el turismo (Bermúdez et al., 2002). Según Echeverría (2005), en la cuenca, se siembran 24000 hectáreas de caña, 5300 hectáreas de melón y cerca de un 25% de la producción de arroz nacional, por lo que la gran demanda de agua para el riego de los cultivos es evidente. De acuerdo con el mismo autor, el agua de riego representa 82% del total de agua concesionada para la cuenca Tempisque, donde 0.61 km³ proviene de aguas superficiales y 0.03 km³ de fuentes subterráneas.

De acuerdo con Bermúdez et al. (2002) mientras que la cuenca presenta un exceso de agua en la época lluviosa, que incluso provoca graves y recurrentes inundaciones, en la época seca la disponibilidad del recurso disminuye sustancialmente, con prolongaciones de hasta seis meses. Durante los años 2014 y 2015 en la Zona Pacífico Norte se registró una de las sequías más fuertes de su historia, El Niño comenzó sus efectos entre abril y mayo del 2014, con una relativa débil intensidad, no obstante en el 2015 las condiciones cambiaron de forma rápida e intensa, llegando a la máxima intensidad entre agosto y setiembre de dicho año (IMN & MINAE, 2016).

El acelerado desarrollo urbano y turístico en Guanacaste, caracterizado por una planificación deficiente, genera una presión en el recurso hídrico, tanto en calidad como en cantidad (Astorga, 2007). Es importante notar que aunque los hoteles y sitios turísticos se ubican principalmente en la costa, fuera del área de la cuenca, dada la poca disponibilidad de agua en estos lugares, tendrán que suplirse de aguas superficiales y subterráneas ubicadas dentro de la cuenca del Tempisque, para

irrigación de jardines, campos de golf, suministro de agua potable y otras necesidades propias de la infraestructura hotelera (Echeverría, 2005).

Ante estas situaciones, se ha generado una serie de conflictos debido a la competencia por los diferentes usos del agua, entre ellos destacan: concesión de grandes caudales a usuarios tradicionales del sector agrícola y agroindustrial, demanda creciente de agua para abastecimiento de diferentes poblaciones y las necesidades del sector turístico, impacto a poblaciones biológicas y ecosistemas, como los humedales de la parte baja de la cuenca (Echeverría, 2005; Astorga, 2007; MINAE et al, 2008 & Guzmán, 2013). Sin embargo, estos conflictos pueden ser un reflejo de una mala gestión y de la incapacidad del estado para resolver la problemática.

Particularmente en Liberia se ha dado un crecimiento importante en los últimos años producto del impacto del Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós, el cual ha sido fundamental en el desarrollo de la provincia, pues ha permitido el crecimiento del comercio y el turismo dentro y fuera del cantón. La figura 2 muestra las zonas con mayor crecimiento urbano en el cantón, está fue elaborada con base en las licencias urbanas solicitadas a la Municipalidad de Liberia, para distintas actividades entre 2011 y 2017 (Mauricio Molina, com. esc., 2017), el mapa permite tener un panorama claro de las tendencias de crecimiento espacial en el cantón, el área de estudio de la presente investigación cubre gran parte de estas zonas.

De acuerdo con el vigésimo tercer Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (PEN, 2017) Liberia, junto con otras seis ciudades del país, es considerada una “ciudad intermedia”, es decir, funciona como canal para el desarrollo de las actividades económicas y sociales de la región. Las ciudades intermedias son polos de atracción de empleo y de movilidad de personas trabajadoras provenientes de áreas vecinas; sus indicadores de desarrollo son mejores que los del resto de la región, ofrecen mayores oportunidades y niveles de calidad de vida que el promedio cantonal (Sánchez, 2017). Según este estudio presentado por el Programa Estado de la Nación, en términos generales, en nuestro país, las ciudades intermedias exhiben síntomas preocupantes, similares a los de la GAM, en cuanto a patrones de crecimiento urbano (lineal y de baja densidad) no solo se asemejan, sino que en algunos casos avanzan a ritmos aún más acelerados y están afectando los servicios, el transporte, la infraestructura y el ambiente. Es importante aumentar la resiliencia urbana de las ciudades para enfrentar los retos sociales, económicos y ambientales que amenazan el bienestar de la población, para ello se requiere conocimiento de sus sistemas para poder prepararse.

La combinación de los escenarios anteriores, muestra la necesidad de realizar estudios técnicos que evalúen y cuantifiquen los recursos naturales disponibles en la cuenca del río Tempisque, sin duda es de vital importancia una adecuada

planificación de los recursos hídricos ya que es imprescindible para el desarrollo humano y económico, además también es esencial para una planificación urbana resiliente. Para ello en el 2008, mediante la Ley 8685 se aprueba un contrato de préstamo entre el Gobierno de Costa Rica y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), para la ejecución del Programa de Gestión Integral de Recursos Hídricos (PRO GIRH) cuyo organismo ejecutor es el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA). El componente de Gestión de Aguas Subterráneas tiene como objetivo: desarrollar procesos planificados de investigación, manejo y conservación de las aguas subterráneas para garantizar la sostenibilidad de la cantidad y calidad de los recursos hidrogeológicos en los ámbitos local y regional (SENARA, 2008).

Una herramienta fundamental para conocer la dinámica del recurso hídrico en una región, es la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual, ya que permitiría evaluar las características hidrogeológicas condicionantes de los acuíferos y tener una visión integral del ciclo hidrológico, un modelo es una herramienta para la toma de decisiones sobre el desarrollo y gestión a partir de una base científica. Como parte del proyecto PRO GIRH, en el 2013 SENARA elaboró un modelo hidrogeológico conceptual en la margen derecha del río Tempisque con el objetivo de implementar un modelo de explotación sostenible del acuífero; si bien este permitió alcanzar un conocimiento amplio del marco hidrogeológico de la zona en la margen derecha del río Tempisque, muchos aspectos aún no han sido definidos para la margen izquierda del río mencionado, por lo que es necesario la continuidad de estudios para conocer mejor el funcionamiento de la cuenca. En este contexto surge esta investigación, la cual pretende elaborar un modelo hidrogeológico conceptual en la margen izquierda del río Tempisque, el cual permita conocer el comportamiento del agua subterránea y las características hidrogeológicas. Además este estudio será la base para realizar modelos numéricos, que permitan planificar el recurso hídrico con una visión de futuro.

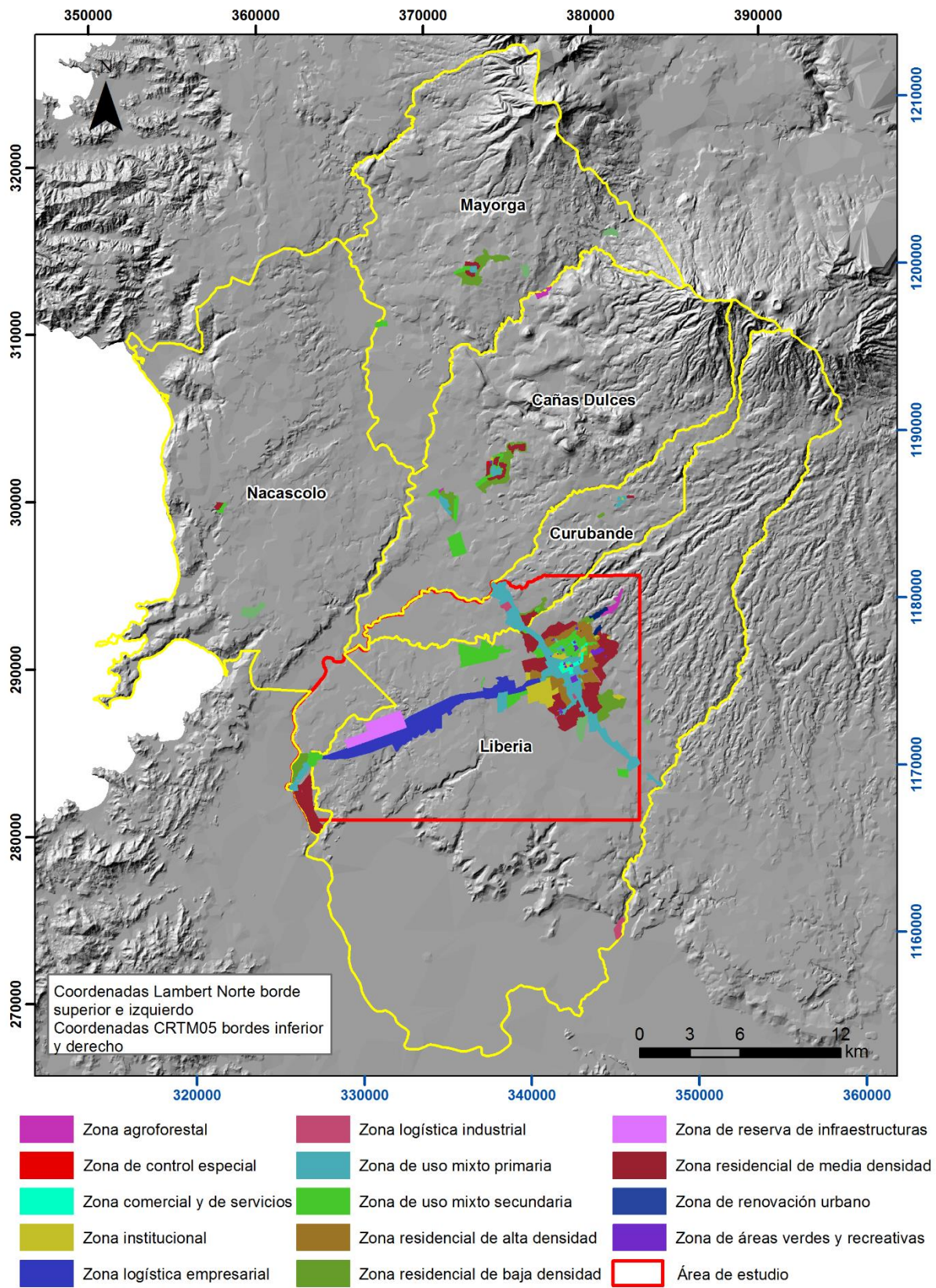


Figura 2. Mapa de crecimiento urbano del cantón de Liberia. Elaboración propia, basado en datos de la Municipalidad de Liberia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Caracterizar hidrogeológicamente la margen izquierda del río Tempisque, en el sector central del cantón de Liberia, mediante un modelo conceptual para mejorar el entendiendo del sistema de flujo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar el marco geológico local de una parte de la margen izquierda del río Tempisque mediante cartografía geológica, datos geofísicos y de pozos como base para el modelo hidrogeológico conceptual.
- Determinar las propiedades hidráulicas del acuífero en la margen izquierda del río Tempisque mediante datos de pruebas de bombeo con el fin de definir su potencial.
- Realizar un balance hídrico de suelo en la margen izquierda del río Tempisque a partir de las propiedades físicas de los suelos e información climática con el fin de estimar la recarga potencial del acuífero.

1.4 Hipótesis

En la zona de estudio existen dos unidades hidrogeológicas, el acuífero en la Formación Bagaces y el acuífero en la Formación Liberia, las heterogeneidades de estas formaciones influyen en la distribución y almacenamiento del agua subterránea.

1.5 Antecedentes hidrogeológicos

Diversos estudios relacionados con aguas subterráneas se han realizado en la cuenca del río Tempisque. Desde julio de 1955 la agencia *Bureau of Reclamation* del Departamento del Interior de los Estados Unidos, presentó un informe sobre el “Proyecto de Investigaciones del Valle del Tempisque, provincia de Guanacaste” con el que se justificaba el desarrollo de un proyecto para el abastecimiento de agua de riego y generación de energía en la margen derecha del río Tempisque (Banks, 1971). Si bien se hizo muy poco por el fomento del proyecto, investigaciones posteriores de AQUASUB indicaban la posible disponibilidad de aguas subterráneas para riego en la margen derecha del río Tempisque (Banks, 1971).

Bohnenberger (1968) realizó un extenso reconocimiento fotogeológico en Guanacaste, como parte del Proyecto de Investigaciones de Agua Subterránea de Naciones Unidas, el autor realiza las primeras descripciones de las características hidrogeológicas de las diferentes formaciones geológicas. En 1975, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo estudió el área de Guanacaste con el fin de evaluar la cantidad de agua disponible. De acuerdo con el estudio, en el Complejo de Nicoya la probable circulación de aguas subterráneas se hace únicamente por zonas meteorizadas y fracturadas, estas zonas de meteorización con un espesor generalmente menor a 1 m, la cual gradualmente pasa a un basalto residual que permite alguna infiltración y movimiento lateral del agua; por debajo se presenta una zona de grietas de la roca que raras veces permanecen abiertas pues han sido rellenadas y desaparecen a los pocos metros de profundidad (ONU, 1975). Según los mismos los pozos en condiciones de productividad óptima dentro del complejo presentan rendimientos ligeramente superiores a 0,5 l/s.

Mientras tanto, según ONU (1975), el acuífero Bagaces, asociado con las formaciones del mismo nombre, es el más rico en el área, está formado por brechas, basaltos, asociados con ignimbritas y lavas densas pero fracturadas del miembro intermedio. En este estudio indican la importancia de las capas lávicas pues existen grandes diferencias en capacidad específica y transmisividad de los pozos que las atraviesan y los que no las penetran; en el primer caso se reportan valores de capacidad específica de 6,6 L/s/m y transmisividades de hasta 2800 m²/d, en contraposición con 2 l/s/m y 745 m²/d de capacidad específica y transmisividad respectivamente (ONU, 1975). Según Losilla et al. (2001), de acuerdo a la base de datos de SENARA hasta 1996, algunos pozos indican valores de transmisividad cercanos a los 100 m²/d, para los casos que no se capten las lavas de la formación Bagaces.

Según el Mapa Hidrogeológico de la península de Nicoya elaborado por SENARA (1992), en la zona de estudio existen 4 unidades hidrogeológicas (figura 3), las cuales se mencionan a continuación:

- 1- Unidad de potencial acuífero mediano: Son acuíferos locales limitados en capas delgadas o lentes arenosos libres y/o confinados. Incluyen también acuíferos profundos de difícil explotación debido a la gran profundidad de los niveles de agua. Consisten de sedimentos clásticos no consolidados. Permeabilidad baja. Calidad química del agua generalmente buena. Caudales probables $1 < Q < 20$ l/s. Este tipo se localiza en el límite Oeste del área de estudio, en la margen derecha del río Tempisque.

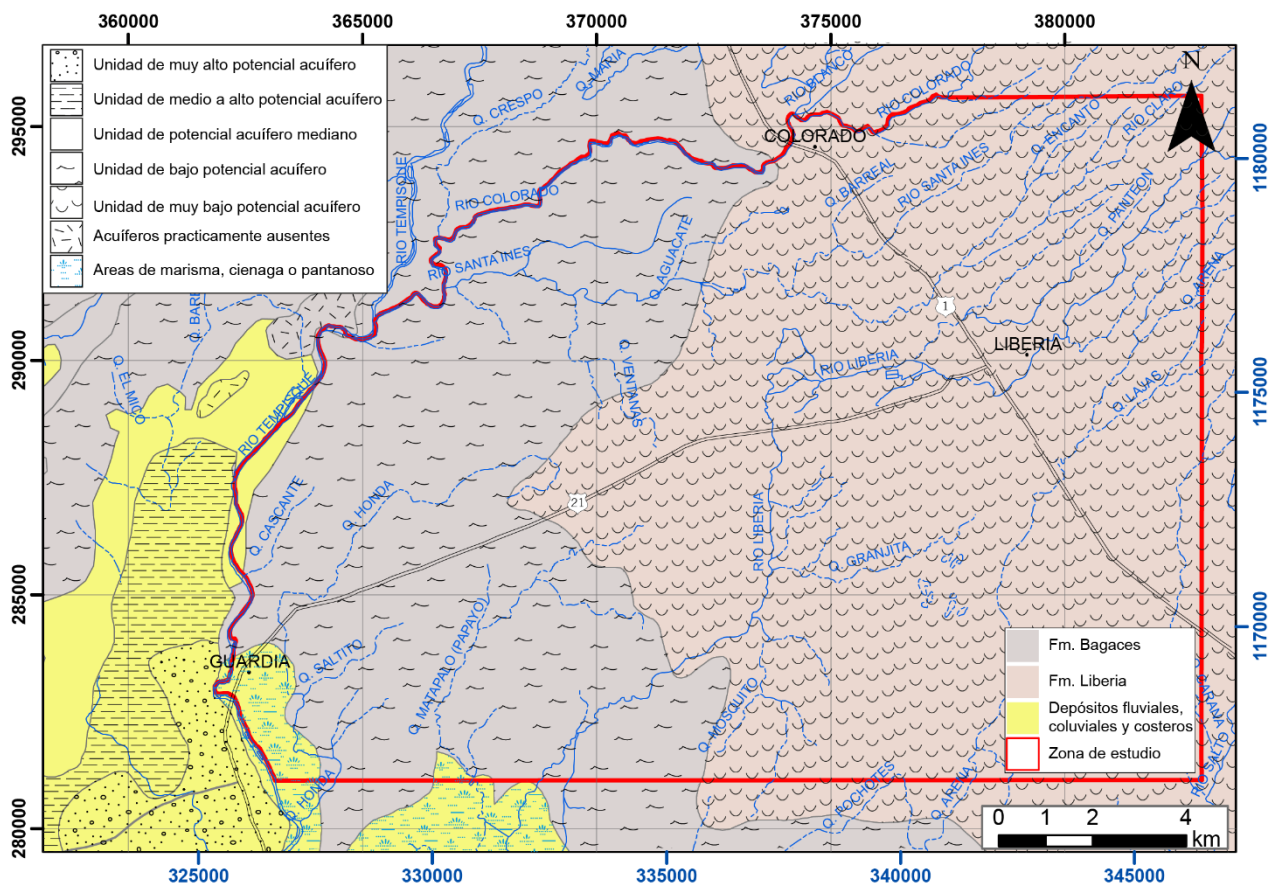


Figura 3. Parte del mapa hidrogeológico de la península de Nicoya. Tomado de SENARA (1992).

- 2- Unidad de bajo potencial acuífero: son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas. Ampliados en ciertos trechos debido a la asociación con rocas porosas del manto de intemperismo o por la disolución kárstica. Libres y/o confinados. Están constituidos de rocas sedimentarias consolidadas, metaclásticas y/o carbonáticas. Permeabilidad baja, calidad química de las aguas generalmente buena. Caudal probable $10 < Q < 15$ l/s. En la figura 3 corresponde con la Formación Bagaces al Oeste del área de estudio.
- 3- Unidad de muy bajo potencial acuífero: son acuíferos locales de extensión variable restringidos zonas fracturadas, libres y/o confinadas. Constituidos por rocas volcánicas y mixtas sedimentario-volcánicas. Permeabilidad baja. Calidad química de las aguas generalmente buena a regular. Caudal probable $Q = 10$ l/s. Está representada por la Formación Liberia en la figura 3
- 4- Áreas de marisma, ciénaga o pantanoso, de importancia hidrogeológica relativa muy pequeña o nula. Se encuentra en límite suroeste del área de estudio.

Por otra parte, según ONU (1975) el desfase entre el ascenso de los niveles del acuífero Bagaces y la época de lluvias demuestra la lenta infiltración proveniente de la cordillera, posiblemente la principal zona de recarga. En la ciudad de Liberia, Collins (1999) determinó que la mayoría de la recarga del acuífero Bagaces la recibe por la infiltración vertical a través del acuífero Liberia.

Alpízar (2014) divide la Formación Bagaces en dos subunidades de acuerdo a su comportamiento hidrogeológico y el contraste observado en los sondeos eléctricos verticales. Según el autor la unidad Ignimbritas y Tobas de la Formación Bagaces presenta un comportamiento hidrogeológico irregular, debido a la génesis variada y muchas veces sin continuidad lateral, por lo que es difícil asignar propiedades hidráulicas representativas. En general la productividad de los pozos es baja cuando captan los depósitos granulares finos, las productividades varían de moderadas a altas cuando se captan las ignimbritas fracturadas y son altas a muy altas cuando se logra captar los lentes conglomeráticos. Mientras tanto la unidad Depósitos Epiclásticos gruesos de la Formación Bagaces presenta una forma lenticular o incluso rellenando paleocauces, su granulometría gruesa explica el comportamiento de alta productividad encontrado en algunos pozos de la zona (Alpízar, 2014).

Según ONU (1975) las características de permeabilidad han hecho que la formación Liberia genere un acuífero de baja producción. A pesar de su aspecto granulado, la formación contiene más de un 60% de volumen ocupado por material arcilloso, lo cual reduce su permeabilidad. Según los mismos autores, la infiltración desde la superficie es lenta y depende más de la duración de la lluvia que de su intensidad, también contribuye al ascenso del nivel de saturación el agua que se mueve lateralmente por el piedemonte la cual recorre distancias considerables a muy baja velocidad. Collins (1999) realizó una evaluación de los acuíferos volcánicos en los alrededores de la ciudad de Liberia, la cual determinó que la recarga en el acuífero Liberia es mucho más rápida que la del acuífero Bagaces.

Respecto a los parámetros hidrogeológicos, Losilla et al. (2001) indica que el acuífero Liberia presenta transmisividades entre 7 y 14 m²/d, y los caudales máximos a obtenerse por pozo no superan los 6 l/s. Collins (1999) reporta valores de transmisividad bajas de hasta 55 m²/d.

Elizondo (1982) realizó un estudio hidrogeológico en los aluviones de la margen derecha del río Tempisque entre Belén en el Sur y la finca Monte Galán al Norte aproximadamente. Según este estudio, los aluviones aumentan progresivamente su potencia hacia la margen derecha, existiendo tanto variaciones laterales como verticales en los espesores y distribución de las distintas capas de materiales. De acuerdo a sus características hidrogeológicas se determinaron 3 unidades acuíferas las cuales se consideran interconectadas hidráulicamente de tal forma que pueden considerarse un solo acuífero, el acuífero superior posiblemente tendría una

desecación importante por recarga a los inferiores si éstos son sobre explotados extensivamente (Elizondo, 1982). De acuerdo con el mismo autor esta unidad está constituida por gravas, arenas, arcillas y sedimentos tobáceos con intercalaciones de ceniza de aspecto arenoso, sedimentos lacustres, ignimbritas y tobas conglomeráticas a cineríticas depositadas en agua. Para Echandi & Schosinky (2001) el espesor de los aluviones en el valle del Tempisque es de hasta 73 m, está compuesto por arcillas de muy baja permeabilidad hasta arenas medias a gruesas con tramos de gravas con alta permeabilidad. Se han detectado transmisividades de hasta 2300 m²/d y para dicho estudio estas llegaban hasta 450 m²/d.

Sin embargo Alpizar (2014) estudió el Acuífero Aluvial del río Tempisque en la parte alta de la cuenca, y determinó que la columna que se tomaba como acuífero aluvial en estudios anteriores, está compuesta mayormente por depósitos de diferentes facies de la Formación Bagaces que van desde tobitas, hasta depósitos granulares epiclásticos relacionados y los parámetros hidrogeológicos del acuífero corresponden con el comportamiento promedio de la totalidad de la columna, ya que los pozos captan la mayor parte del espesor saturado. Según este estudio el acuífero aluvial presenta espesores menores a los 12 m, siendo normal coberturas entre 1 y 9 m que corresponden con arenas medias a gruesas algunas veces con limos.

Vargas (2013) propone un modelo conceptual del Acuífero Tempisque, en la margen derecha del río, desde Monte Galán hasta Filadelfia, con base en este estudio posteriormente Orozco (2014) realiza un modelo numérico con el que se analizó distintos escenarios climáticos asociados a probabilidades de excedencia en las precipitaciones anuales en el área estudiada. La presente investigación se ubica en la margen izquierda, es menos estudiada en los trabajos de los autores mencionados previamente, por lo tanto se pretende determinar si existen variaciones en las unidades hidroestratigráficas y así contribuir a tener un mayor conocimiento en la cuenca del río Tempisque.

De acuerdo al modelo conceptual propuesto por Vargas (2013) el basamento lo forman las rocas del Complejo de Nicoya, principalmente los basaltos y el intrusivo potrero. Sobreyaciendo los basaltos se encuentra la Formación Bagaces al norte del área de estudio y en forma generalizada depósitos aluviales y coluviales, ambas formaciones propician la presencia de acuíferos, en el caso de los depósitos aluviales y coluviales, forman un acuífero somero, cuya continuidad está en función de la presencia de lentes arenosos a gravosos, con transmisividades variables en función de la granulometría (Vargas, 2013). Según los mismos autores, en la zona existen dos acuíferos, uno superficial compuesto por sedimentos volcanoclásticos, el cual se conecta al norte de la zona de estudio con el acuífero de Bagaces y otro ubicado en las rocas volcánicas el cual es más profundo. En general ninguna de las

unidades geológicas, excepto el aluvión de Sardinal, se pueden considerar como un acuífero de muy alto potencial (con caudales mayores a 50 l/s), serían más bien de alto y medio potencial, con pozos entre los 1 y 20 l/s (Orozco, 2014).

1.6 Clima y vegetación

De acuerdo a la división climática del país realizada por Solano & Villalobos (2001), la cuenca del río Tempisque se ubica en la región geográfico-climática Pacífico-Norte, la cual pertenece al régimen de precipitación del Pacífico, conocido por la presencia de un período seco y otro lluvioso bien definidos. Según esta clasificación la zona de estudio se encuentra dentro de la Subregión Central del Pacífico Norte (PN2), abarcando además Santa Rosa, Bagaces, Cañas, Las Juntas de Abangares, Filadelfia, Santa Cruz y Nicoya; la tabla 1 presenta un resumen de la climatología de esta subregión.

Tabla 1. Resumen sinóptico-climático y tipo de vegetación de la subregión Pacífico Norte (PN2). Tomado de Solano & Villalobos (2001).

Subregión climática	TAP	TMx (°C)	TMn (°C)	TM (°C)	DLL	PS (meses)	Tipo de vegetación
PN2	1800	33	22	28	97	5	Bosque seco tropical

TAP: Total anual de precipitación TMx: Temperatura máxima promedio mensual.

TM: Temperatura media mensual TMn: Temperatura mínima promedio mensual.

PS: Período seco

DLL: Número de días con lluvia > 1mm.

Según Herrera (1985) en la zona de estudio el clima varía de subhúmedo seco, muy caliente a subhúmedo húmedo, caliente (figura 4), las características de los tipos de clima se pueden observar en la tabla 2.

En Liberia la estación seca se extiende de diciembre hasta abril y la lluviosa, comprende de mayo a noviembre, con una disminución relativa de la cantidad de lluvia durante los meses de julio-agosto, conocida como veranillo (IMN, 2016).

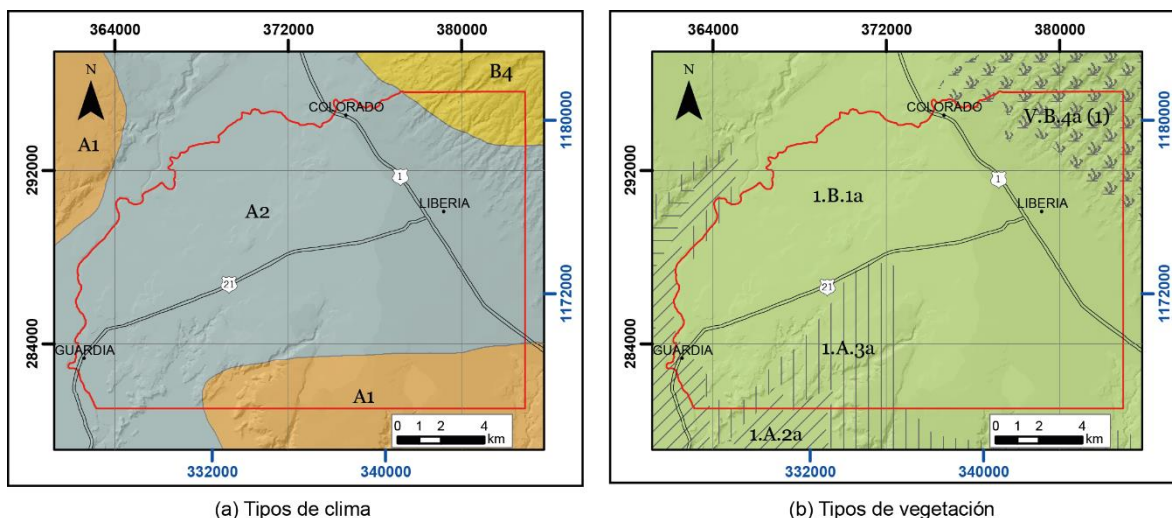


Figura 4. Mapa de tipos de clima y vegetación. Tomado de Herrera (1985) y Gómez (1986) respectivamente. Detalles en la tabla 2 y 3.

Tabla 2. Detalle de los tipos de clima presentes en el área de estudio según Herrera (1985).

Tipos de clima	Descripción
A1	Clima subhúmedo seco, muy caliente, con un período o períodos de exceso pequeño de agua.
A2	Clima subhúmedo seco, muy caliente, con un período o períodos de exceso moderado de agua.
B4	Clima subhúmedo húmedo, caliente, con una estación seca muy larga (>70 días con déficit de agua).

Holdridge (1967) divide a Costa Rica en 12 zonas de vida y 12 zonas de transición, con base en factores ambientales como humedad, precipitación y temperatura, el resultado es la división del país en diferentes tipos de bosque; este es uno de los sistemas más utilizado en la clasificación de los bosques (Quesada, 2007). De acuerdo al mismo autor este sistema de clasificación tiene su fundamento en la relación que existe entre el clima y la vegetación, basado en estudios de largo plazo de los patrones de clima y de la vegetación en muchos lugares tropicales.

Para el cantón de Liberia, las zonas de vida, según la clasificación Holdridge, corresponde al bosque húmedo premontano, bosque seco tropical, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical (Inder, 2014). De acuerdo con Solano & Villalobos (2001) en la subregión Pacífico Norte la zona de vida, según la

clasificación Holdridge, corresponde al bosque seco tropical. La lluvia en esta zona de vida disminuye notablemente desde noviembre hasta principios de mayo, lo que determina una periodicidad muy marcada en la fenología de la vegetación (Fournier, 1980).

Otro sistema de clasificación es el de macrotipos de vegetación elaborado por Gómez (1986) el cual define 53 macrotipos de vegetación para Costa Rica, estos están caracterizados por la fisionomía de la vegetación e incluye rasgos morfológicos, estructurales, demográficos y fenológicos de la vegetación. De acuerdo con esta clasificación en la zona de estudio se encuentran 4 tipos de vegetación (figura 4), las características de estos tipos de vegetación se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Detalle de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio según Gómez (1986).

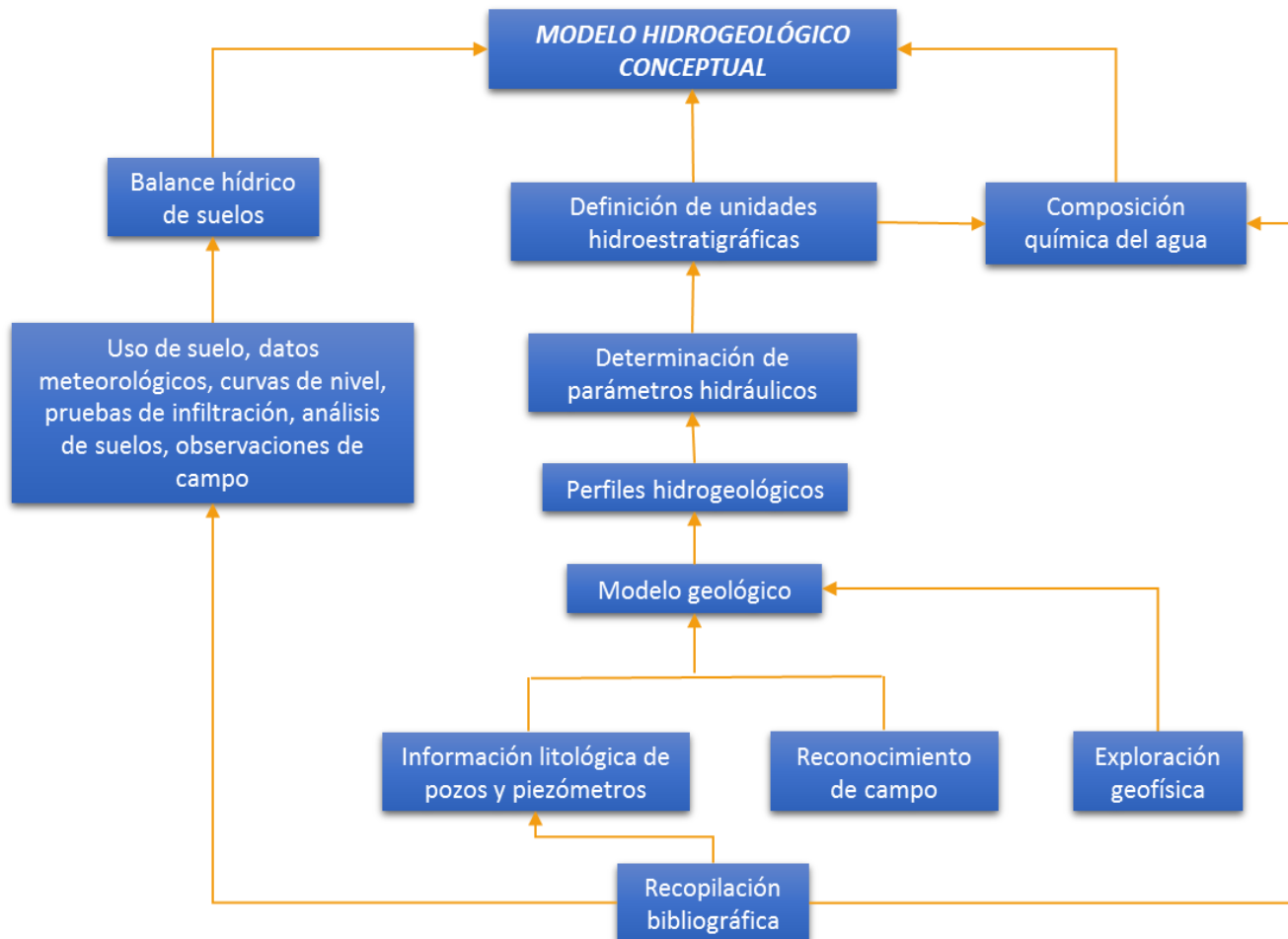
Tipo de vegetación	Descripción
1.B.1a	Bosques deciduos de bajura: Sobre formas de origen volcánico del tipo Meseta de Sta. Rosa, topografía plana o plano-ondulada, o con cerros y colinas irregulares. Suelos inceptisoles, los latosoles son profundos, bien drenados, en sitios pueden asociarse a depósitos volcánicos (tobas) y arcillas derivadas poco permeables. Secos por más de 90 días al año.
1.A.3a	Bosques semideciduos de bajura: Tropicales, sobre formas de origen volcánico, con topografías moderadas: planas, plano-cóncavas en algunas zonas, a terreno accidentado (pendientes 5-30%). Suelos inceptisoles, secos por más de 90 días al año.
1.A.2a	Bosque siempreverde estacional de bajura: Sobre formas de sedimentación aluvional. Topografía moderada, de plano-ondulada o sistemas de colinas y cerros bajos e irregulares. Suelos inceptisoles, latosoles pardos o pardo amarillento.
V.B.4a	Sabana arbolada: vegetación sobre formas de origen volcánico, de topografía moderada: plana, plano cóncava o plano ondulada. Suelos inceptisoles, aluviales o litosoles, secos por más de 90 días al año.

1.7 Vías de acceso

Se llega a la ciudad de Liberia utilizando la ruta nacional 1 (Interamericana Norte) o bien la ruta 21 (Liberia – Paquera), los caminos vecinales en general son bastante accesibles, algunos de ellos requieren el uso de un vehículo doble tracción principalmente en invierno.

1.8 Metodología

Un resumen de la metodología que se utilizó en esta investigación se muestra en el esquema 1.



Esquema 1. Metodología para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual. Elaboración propia.

El trabajo se realizó en 3 fases descritas a continuación:

1.8.1 Fase 1: Recopilación de información previa y trabajo de campo

- Recopilación bibliográfica que incluyó datos geológicos, geomorfológicos, estructurales e hidrogeológicos disponibles en tesis, artículos, informes y mapas, con el fin de conocer el contexto geológico e hidrogeológico en el área de estudio y los alrededores.

- Revisión de aproximadamente 275 pozos y piezómetros de la base de datos de SENARA y el AyA, con la finalidad de obtener información litológica, e hidrogeológica importante.
- Recopilación de datos climáticos de estaciones meteorológicas, mapa de uso del suelo, pruebas de infiltración y parámetros geotécnicos necesarios para el cálculo del balance hídrico y determinación de la recarga potencial.
- Elaboración de los mapas base utilizando la base cartográfica del proyecto TERRA (1:25000), las capas de ríos, caminos y poblados fueron tomadas del Atlas del TEC (2008).
- Se llevaron a cabo giras de campo para el reconocimiento de las unidades geológicas y comprobación de litologías, para la medición de niveles de agua de pozos de la red de monitoreo de SENARA y para la realización de 7 tomografías eléctricas.

1.8.2 Fase 2: Análisis de la información

- Interpretación de las tomografías eléctricas y correlación con pozos cercanos.
- Modelo geológico del área de estudio con base en la geología, información de pozos y tomografías eléctricas.
- Elaboración de redes de flujo utilizando mediciones de niveles de agua reportados en la base de datos del SENARA (1967-2017) y niveles medidos por SENARA en los pozos de monitoreo y piezómetros (2012-2017).
- Perfiles hidrogeológicos con base en el modelo geológico, la red de flujo y el análisis de las tomografías eléctricas.
- Recopilación de los parámetros hidráulicos de las unidades hidroestratigráficas existentes.
- Diagrama de Piper con base en los análisis químicos de aguas de algunos pozos del AyA aportada por el Laboratorio Nacional de Aguas con el fin de conocer su composición y clasificarla a partir de las concentraciones de los iones mayores, para ello se utilizó el software AquaChem 3.7.
- Cálculo de la recarga potencial del acuífero mediante la metodología de Schosinsky (2006).

1.8.3 Fase 3: Elaboración de modelo hidrogeológico conceptual

- Con la información recopilada y generada en las etapas anteriores se determinaron las unidades hidroestratigráficas presentes en el área de

estudio y sus características, y se propone un modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero.

- El diseño final de los mapas se realizó utilizando un modelo de elevación digital generado a partir de las curvas 1:25000 del proyecto TERRA, aquellos mapas que incluyen la cima de algunos volcanes no cuentan con curvas 1:25000 por lo que se unió con otro modelo generado con las curvas 1:50000 del IGN. Además todos los mapas cuentan con coordenadas Lambert Norte en el borde superior e izquierdo y coordenadas CRTM05 en los bordes inferior y derecho.
- Redacción de resultados, conclusiones y recomendaciones.

1.9 Limitaciones

- La descripción de la litología de los pozos en los reportes de perforación muchas ocasiones es muy general, lo que no permitió diferenciar los flujos y/o facies de la Formación Bagaces y se debió tomar todo como una sola unidad geológica. Debe tomarse en cuenta también, que muchas veces el método de perforación y la frecuencia de muestreo dificulta la identificación de capas de poco espesor.
- La mayoría de los pozos no describen la variación del nivel de agua durante la perforación, únicamente se reporta un nivel final. Además algunos pozos y los piezómetros tiene la rejilla a varias profundidades o a lo largo de todo el pozo por lo que el nivel reportado es una mezcla los niveles de las unidades acuíferas.
- Los pozos de la red de monitoreo del SENARA no están bien distribuidos en el área de estudio, estos se localizan principalmente a las cercanías del centro de Liberia y la mayoría de los pozos son excavados, debido a esto se realizó la red de flujo con los niveles estáticos reportados en los informes de perforación, si bien, en la medida de lo posible, se intentó separar los niveles de cada unidad, en algunos casos podría tratarse de una mezcla de niveles de las unidades hidrogeológicas, que además fueron medidos en años diferentes y épocas del año diferente, no obstante se brinda un panorama general del flujo regional en la zona.
- En la zona suroeste del área existe un vacío de información de pozos, gran parte de esta zona es una propiedad privada a la cual no se obtuvo permiso de acceso para realizar tomografías eléctricas.
- Únicamente se cuenta con los promedios mensuales de distintos parámetros de dos estaciones meteorológicas, los rangos de mediciones entre ambas varían considerablemente.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Modelo hidrogeológico conceptual

Un modelo es una representación simplificada de la realidad. Esto se logra mediante la división de la complejidad de un sistema real a sus elementos esenciales, que podemos resumir como una lista de supuestos justificados sobre la naturaleza global del sistema (Younger, 2007). Este conjunto de supuestos expresan nuestra comprensión de la naturaleza del sistema y su comportamiento (Bear & Verruijt, 1987).

El término modelo conceptual en hidrogeología se refiere a una representación simplificada del sistema de aguas subterráneas, que resume nuestra comprensión actual de lo que se sabe acerca de la situación hidrogeológica (Anderson et al., 2015). Esto es necesario porque reproducir la situación real no es operativo ni posible, la validez de la simplificación depende del objetivo que se pretende conseguir con el modelo (Custodio & Llamas, 2001).

Los modelos conceptuales son estáticos, estos describen la condición actual del sistema. Para hacer predicciones del comportamiento futuro, es necesario desarrollar algún tipo de modelo dinámico (Fetter, 2001). Existen varios tipos de modelos hidrogeológicos dinámicos, estos incluyen: modelos analíticos, modelos matemáticos y modelos analógicos (Custodio & Llamas, 2001). Si bien el manejo proactivo de las cuencas depende de modelos numéricos con capacidad predictiva, según Rushton (2003) el modelado conceptual siempre debe proceder a cualquier intento de modelar matemáticamente el sistema de aguas subterráneas.

Al elaborar un modelo conceptual se debe definir la litología dominante, espesores, continuidades y estructuras de los acuíferos y de las unidades confinantes de manera que se pueda identificar los límites, las características y el comportamiento del acuífero a estudiar así como la evaluación de reservas (Betancur et al., 2009; Córdoba et al., 2013). Para Custodio & Llamas (2001) el modelo hidrogeológico conceptual constituye la fase de identificación y caracterización del acuífero, para ello se precisa de algunos datos tales que permitan definir la geometría del sistema así como las características hidráulicas.

De acuerdo con el mismo autor, para conocer la geometría del sistema se debe contar con la siguiente información:

- Cota de la base y el techo de cada una de las formaciones consideradas. Se obtienen a partir de los datos de sondeos existentes y de la cartografía geológica e hidrogeológica de detalle con o sin apoyo de geofísica.
- Límite de cada una de las formaciones. Se obtiene a partir de la cartografía geológica y de los datos de sondeos, con o sin apoyo de geofísica.
- Límites del sistema, sean físicos (barreras impermeables) o hidráulicos (río o lago o mar conectado al acuífero, divisoria de aguas subterráneas, etc.). Se obtienen de los datos de cartografía geológica y sondeos, por un lado, y de la observación de las superficies piezométricas, resultados de ensayos de bombeo e hidrogramas de los pozos y piezómetros, por otro.

Mientras que para el conocimiento de las características hidráulicas se requiere:

- Distribución espacial de la permeabilidad (en algunos casos basta con la transmisividad) de cada una de las formaciones. Se obtiene a partir de los ensayos de bombeo, complementados con ensayos de descenso de pozos y ensayos en piezómetros. Los análisis granulométricos y ensayos con permeámetros pueden ser un buen complemento si previamente se establece una correlación con datos más precisos *in situ*. En algunos casos se puede emplear métodos de trazadores.
- Distribución espacial de la porosidad eficaz obtenida mediante balances locales y del estudio del material que forma el acuífero, en el caso de acuíferos libres. En algunas ocasiones se puede obtener mediante trazadores. En acuíferos y acuitardos permanentemente cautivos se puede prescindir de este dato.
- Distribución espacial del coeficiente de almacenamiento para cada una de las unidades, se adquiere mediante ensayos de bombeo.
- En caso de que los datos anteriores no lo definan suficientemente, factor de goteo y/o resistencia hidráulica de los acuitardos. Se obtiene mediante ensayos de bombeo.

Según Custodio & Llamas (2001) por lo general el conocimiento geométrico e hidráulico de un sistema acuífero que se modela no es completo ni exacto. Esto se debe a que, muchas veces la cantidad y calidad de la información es limitada. Además es importante toma en cuenta que un modelo hidrogeológico contiene muchas interpretaciones cualitativas y subjetivas y la prueba de su validez sólo puede lograrse mediante la aplicación de técnicas de investigación específicas y luego construyendo un modelo numérico y comparando los resultados de la simulación con las observaciones de campo (Betancur et al., 2009). Por lo que el primer modelo es solo una primera aproximación que precisa retoques.

2.2 Balance hídrico de suelos

Un balance hídrico es un análisis basado en la aplicación del principio de conservación de masas, el cual establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada (Sokolov & Chapman, 1981).

Esto se puede representar en la siguiente ecuación básica para realizar un balance hídrico:

$$\frac{dV}{dt} = E - S \quad \text{[Ecuación 1]}$$

La ecuación 1 expresa que la variación del volumen V es igual a las entradas (E) menos las salidas (S) de agua para un intervalo de tiempo t específico (Aparicio et al., 2006).

Schosinsky (2006) desarrolló una metodología para calcular la recarga potencial al acuífero mediante un balance hídrico de suelos, esta es de uso obligatorio en el país según el acuerdo 60-2012 del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) en el cual se oficializa el documento técnico Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico.

2.2.1 Metodología Schosinsky (2006)

Consiste en evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona y mediante un balance de suelos estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado (Schosinsky, 2006). La metodología considera varios factores que influyen en la recarga como: la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno.

Para calcular la recarga potencial del acuífero se debe:

- ✓ Conocer la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje.
- ✓ Conocer la infiltración de agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a la superficie.
- ✓ Estimar el agua que drena del suelo al acuífero, mediante un balance de suelos.

En primera instancia, según la metodología, es necesario conocer:

1. La infiltración pluvial mensual

Esta se obtiene a partir de valores de precipitación mensual registrada en estaciones meteorológicas, pruebas de infiltración y mapas de uso de suelo y pendientes, estos parámetros también permiten calcular la escorrentía superficial generada por la lluvia mensual.

Posteriormente al cálculo de la infiltración mensual es necesario realizar el balance de suelos, para ello se debe conocer:

2. La capacidad de campo y el punto de marchitez

Estos valores se obtienen mediante análisis de laboratorio de suelos o bien mediante tablas con valores teóricos. Según Schosinsky (2006) la capacidad de campo es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado, mientras que el punto de marchitez es la mínima humedad que puede tener el suelo, pues con una humedad menor la planta muere.

3. La evapotranspiración potencial y evapotranspiración real

La evapotranspiración se define como la transpiración de la planta cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo más la evaporación del suelo. Este parámetro es difícil de calcular en una cuenca o zona de la misma, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas, por ello Schosinsky (2006) propone asumir una evapotranspiración que se estime como promedio de la cuenca o la zona de estudio, esta evapotranspiración promedio se asumirá igual a la evapotranspiración potencial (ETP).

Existen distintos métodos para calcular la ETP, la selección del mismo está en función de los datos disponibles. En este estudio se utilizaron 4 metodologías diferentes para estimar la ETP, estas son:

- Blaney & Criddle

Esta es una de las metodologías más fáciles de aplicar para calcular la ETP, pues requiere pocos parámetros. La ecuación, tomada de ONU (1972), es:

$$\text{ETP (mm/mes)} = (8,10 + 0,46T) P_s, \quad [\text{Ecuación 2}]$$

donde:

ETP= Evapotranspiración potencial en [mm/mes].

T= Temperatura media mensual [°C].

P_s= % de horas de luz solar mensual con respecto al año [%].

- Hargreaves

La fórmula Hargreaves (Hargreaves & Samari, 1985) es comúnmente utilizada en estudios hidrogeológicos en el país, esta requiere datos de temperatura y radiación solar incidente. La ecuación general es la siguiente:

$$ET_o = 0,0135 * RS (T^{\circ}C + 17,8), \quad \text{[Ecuación 3]}$$

donde:

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

T = temperatura media [$^{\circ}C$]

RS = radiación solar incidente [mm/día]

Según Hargreaves & Samari (1985) se han desarrollado varias fórmulas para estimar la radiación incidente a partir de mediciones indirectas como horas de luz solar o cálculos de la radiación solar extraterrestre, es decir la que llega al tope de la atmosfera, o la que llegaría al suelo si no existiese atmósfera, esta se puede obtener de tablas en función de la latitud de a la zona de estudio. Hargreaves & Samari (1982) proponen la siguiente ecuación para calcular RS :

$$RS = K_{RS} * RA * TD^{0,50}, \quad \text{[Ecuación 4]}$$

donde:

RA = radiación solar extraterrestre

TD = temperatura máxima – temperatura mínima

K_{RS} = coeficiente de ajuste (0,16 – 0,19).

Según Allen (2006) el coeficiente empírico K_{RS} se diferencia para zonas del “interior” y las regiones “costeras”. Utilizando un $K_{RS} = 0,17$ en la ecuación 4 y sustituyendo en la ecuación 3, se obtiene la siguiente expresión la cual es comúnmente utilizada y es recomendada por Allen (2006) cuando no se cuentan con otros datos meteorológicos:

$$ET_o = 0,0023 (T_{media} + 17,8)(T_{máx}-T_{mín})^{0,5} R_a, \quad \text{[Ecuación 5]}$$

donde:

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

T_{media} = temperatura media [$^{\circ}C$]

$T_{máx}$ = temperatura máxima [$^{\circ}C$]

$T_{mín}$ = temperatura mínima [$^{\circ}C$]

R_a = radiación solar extraterrestre

- Tanque evaporímetro

Según Allen (2006) los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua; si bien el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores que afectan la transpiración del cultivo, varios factores afectan producen diferencias en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y una superficie cultivada. Por ejemplo, el almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una evaporación significativa durante la noche, mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día; también se distinguen diferencias debido a la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies (Allen, 2006).

A pesar de estas diferencias, de acuerdo con Allen (2006), la evapotranspiración potencial puede ser estimada utilizando la siguiente fórmula:

$$ET_o = K_p E_{pan}, \quad [\text{Ecuación 6}]$$

donde:

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

K_p = coeficiente del tanque evaporímetro

E_{pan} = evaporación del tanque evaporímetro [mm/día]

El coeficiente del tanque (K_p) depende del tipo de cobertura del suelo, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad.

- FAO Penman-Monteith

La Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) recomienda este método como único método para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) con parámetros climáticos, el cultivo de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas (Allen, 2006). Esto se debe a que la metodología aproxima de manera cercana la ET_o de cualquier localidad evaluada, tiene base físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos, esta metodología muestra gran consistencia en el ámbito global y predice correctamente los valores de ET_o en una amplia gama geográfica y climática (Allen, 2006).

La ecuación de la metodología FAO Penman-Monteith es:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)}, \quad [\text{Ecuación 7}]$$

donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia [mm/día]
 R_n = radiación neta en la superficie del cultivo [MJ/m² día]
 R_a = radiación extraterrestre [mm/día]
 G = flujo de calor del suelo [MJ/ m² día]
 T = temperatura media del aire a 2 m de altura [°C]
 u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura [m s⁻¹]
 e_s = presión de vapor de saturación [kPa]
 e_a = presión real de vapor [kPa]
 $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor [kPa]
 Δ = pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/°C]
 γ = constante psicrométrica [kPa/°C]

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. La ET_o se puede estimar, mediante esta metodología, utilizando una plantilla de cálculo o bien existen muchos programas informáticos que utilizan ya la ecuación FAO Penman-Monteith. Por ejemplo, CROPWAT es un software libre desarrollado por la FAO para estimar requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego, el programa utiliza el método FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos.

4. La humedad de suelo al inicio y al final del mes.

Cálculo de recarga potencial al acuífero:

Finalmente, según Schosinsky (2006), la recarga al acuífero se lleva a cabo si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas, una vez satisfechos estos parámetros, el agua sobrante se calcula con la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{si} - H_{sf} - ETR,$$

[Ecuación 9]

donde:

R_p = Recarga potencial mensual en mm/mes
 P_i = Precipitación que infiltra en mm/mes
 H_{si} = Humedad inicial del suelo un mes cualquiera en mm
 H_{sf} = Humedad del suelo al final del mes en mm.
 ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

Existen otras metodologías para la determinación de la recarga las cuales fueron tomadas en cuenta (hidrograma de pozos), sin embargo la cantidad de datos para su realización es limitada. La metodología de Schosinsky (2006) se puede realizar con datos relativamente fáciles de obtener y además es la oficial para el país como se indicó anteriormente.

2.3 Prospección geofísica

La prospección geofísica es, a primera vista, un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (Orellana, 1972). De acuerdo con Arias (2002) los métodos geoelectrónicos han sido y son comunes en la investigación hidrogeológica para obtener información del subsuelo, estos se basan en el estudio de la resistividad eléctrica, la cual revela el grado de oposición que determinado volumen de terreno ofrece al paso de las cargas eléctricas (Arias & Mojica, 2003).

La aplicación de los métodos exige el conocimiento de las propiedades de las rocas y del contexto geológico, puesto que la resistividad depende de demasiados factores, tales como: la composición de la roca, la temperatura, la presencia de agua, el contenido de arcilla, etc., pero en general pueden identificarse rocas o estructuras, aunque a veces puedan existir ambigüedades (Orellana, 1972).

2.3.1 Principios teóricos básicos

Según Serway & Jewett (2008) si tenemos un conductor de área de sección transversal A que transporta una corriente I , la densidad de corriente J en el conductor se define como la corriente por unidad de área, es decir:

$$J = \frac{I}{A} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Tan pronto como se mantiene una diferencia de potencial a través del conductor se establece una densidad de corriente y un campo eléctrico:

$$J = \sigma E, \quad \text{[Ecuación 11]}$$

donde la constante de proporcionalidad σ se conoce como conductividad del conductor. Los materiales que obedecen la ecuación 11 siguen la ley de Ohm, es decir son materiales *óhmicos* (Serway & Jewett, 2008).

Según el mismo autor si consideramos un segmento de alambre de sección transversal uniforme A , de longitud l y se mantiene una diferencia de potencia

$\Delta V = V_b - V_a$ (figura 5), se genera en el alambre un campo eléctrico y una corriente, esta diferencia de potencial está relacionada con el campo mediante la relación:

$$\Delta V = El. \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Por tanto, la densidad de corriente se puede expresar de la forma:

$$J = \sigma E = \sigma \frac{\Delta V}{l}. \quad [\text{Ecuación 13}]$$

Reemplazando en la ecuación 10, la diferencia de potencial a través del alambre se obtiene:

$$\Delta V = \frac{l}{\sigma} J = \left(\frac{l}{\sigma A} \right) I = RI. \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Donde $R = l/\sigma A$ se conoce como resistencia del conductor y puede ser definida como:

$$R = \frac{\Delta V}{I}. \quad [\text{Ecuación 15}]$$

El recíproco de la conductividad (σ) es la resistividad (ρ), se decir $\rho = 1/\sigma$, reemplazando en la ecuación 14 obtenemos:

$$R = \rho \frac{l}{A}. \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Todo material óhmico tiene una resistividad característica que depende de las propiedades del material y de la temperatura (Serway, 2008).

2.3.2 Medida de resistividad en un punto

De acuerdo con Hallof (1980) si introducimos un flujo de corriente de intensidad I , en la superficie de un medio de resistividad uniforme, podemos calcular resistencia al paso de la corriente de la semiesfera de radio r y espesor dr (figura 6), reemplazando A y l (de figura 6) en la ecuación 16, de la siguiente forma:

$$R = \rho \frac{dr}{2\pi r^2}. \quad [\text{Ecuación 17}]$$

Aplicando la ecuación 6, podemos obtener:

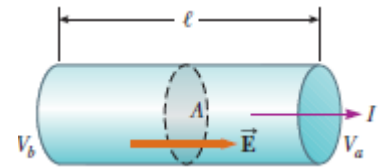


Figura 5. Conductor uniforme. Tomado de Serway & Jewett (2008).

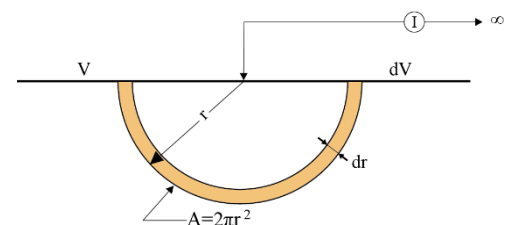


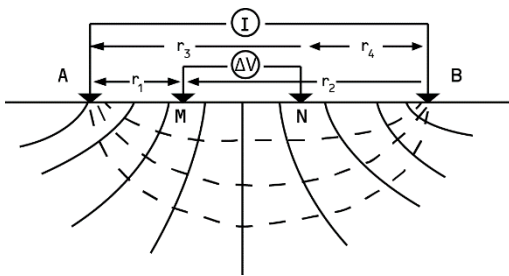
Figura 6. Inyección de corriente en la superficie de un sólido conductor. Tomada de Hallof (1980)

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r^2} I. \quad [\text{Ecuación 11}]$$

Integrando resulta:

$$V = \rho \frac{I}{2\pi r}. \quad [\text{Ecuación 12}]$$

Para introducir la corriente necesitamos otro electrodo para medir la diferencia de potencial en otros dos puntos. Según Udías & Mézcua (1986) la configuración más sencilla es la representada en la figura 7; el potencial en el punto M y N, debido a la corriente introducida por los electrodos A y B, teniendo en cuenta que la corriente en ambos casos es I , pero de distinto signo, es:



$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right); \quad V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right). \quad [\text{Ecuación 18}]$$

Figura 7. Esquema de los dispositivos de las medidas de corriente y potencial en el método prospección eléctrica. Tomado de Udías & Mézcua (1896).

La diferencia de potencial entre los puntos M y N es:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}. \quad [\text{Ecuación 19}]$$

Despejando la resistividad se obtiene:

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)} \right\} = \frac{\Delta V}{I} K, \quad [\text{Ecuación 20}]$$

donde ρ_a representa la resistividad aparente, esta se debe a que se aplican los datos obtenidos sobre un medio heterogéneo (como es el subsuelo) a una expresión correspondiente a un medio homogéneo (Orellana, 1972). Mientras que K es un coeficiente que depende únicamente de la geometría del dispositivo electródico (Orellana, 1972).

Según Udías & Mézcua (1986) la configuración más simple es la llamada Wenner, donde los electrodos están a la misma distancia unos de otros, sin embargo, la más utilizada es la de Schlumberger (figura 8) donde los electrodos de potencial (M y N)

están separados por una pequeña distancia constante a , y los de corriente (A y B) por una distancia mucho mayor r , desde el centro de la configuración.

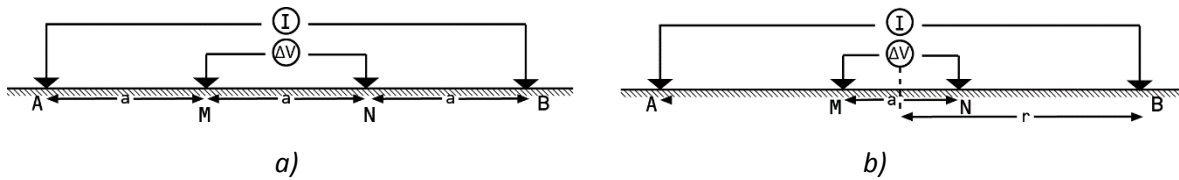


Figura 8. Distribución de los electrodos en las configuraciones de: a) Wenner y b) Schlumberger. Tomado de Udías & Mézcua (1986).

2.3.3 Tomografía eléctrica

La tomografía eléctrica es un método prospectivo geoelectrico no destructivo que analiza los materiales del subsuelo en función de su comportamiento eléctrico, diferenciándolos en función de la resistividad eléctrica (Arancil et al., 2003).

El método consiste en colocar en el suelo una cantidad determinada de electrodos a lo largo de una línea recta, normalmente con espaciado constante entre electrodos adyacentes, que depende del grado de resolución que se necesite; los electrodos se conectan mediante un cable multicanal (Loke, 2004). Los parámetros y el arreglo a utilizar se ingresan a la computadora portátil, la cual selecciona automáticamente los electrodos apropiados para cada medición (Loke, 2004). Cada uno de esos cuadrípolos hace una medida de la resistividad que se atribuye a un determinado punto geométrico del subsuelo cuya posición y profundidad en el perfil depende de la posición de dicho cuadrípulo y de la separación entre los electrodos que lo conforman (Arancil et al., 2003).

Si bien la tomografía utiliza el mismo principio físico que los sondeos eléctricos verticales (SEV), es un modelo más preciso pues es bidimensional (2D), es decir, toma en cuenta que la resistividad cambia en la dirección vertical, así como en la horizontal a lo largo de la línea topográfica (Loke, 2004). En este caso, se supone que la resistividad no cambia en la dirección perpendicular, sin embargo, según el mismo autor esta es una suposición razonable en muchos contextos geológicos.

Los datos pueden ser interpolados y unidos por medio de líneas de iso-resistividad obteniendo una pseudosección en 2D (Arias, 2002). La técnica de inversión automatizada, generalmente está basada en el método de suavizado de mínimos cuadrados que produce un modelado de dos dimensiones a partir de los valores de resistividad aparente de la pseudosección, este modelo presentará la profundidad y resistividad real del subsuelo (Arias, 2002). La pseudosección proporciona una imagen muy aproximada de la verdadera distribución de resistividad sub-superficial, sin embargo es importante tomar en cuenta que está depende del tipo de arreglo

utilizado (Loke, 2004), por ellos es importante elegir adecuadamente la geometría a utilizar y realizar una inversión apropiada de los datos (Arias, 2002).

2.4 Composición química del agua

El agua subterránea natural nunca es pura, siempre contiene al menos pequeñas cantidades de gases y sólidos disueltos, la composición de la misma está en función de una multiplicidad de factores, por ejemplo, la composición inicial del agua, al entrar al acuífero y las reacciones con minerales presentes en las rocas, el tiempo de residencia, la presión parcial de la fase gaseosa, el pH y el potencial de oxidación de la solución, efectos de la contaminación, entre otros factores (Freeze & Cherry, 1979; Appelo & Postma, 1994; Fetter, 2001).

Los componentes químicos y bioquímicos en el agua subterránea determinan su utilidad para la industria, la agricultura y el hogar, además proporcionan pistas sobre su historia geológica, su influencia sobre suelo o rocas a través de las cuales ha pasado, la presencia de yacimientos minerales ocultos y su origen en el ciclo hidrológico (Freeze & Cherry, 1979).

Si bien no es fácil establecer valores concretos para las sales que pueden aportar los diferentes tipos de rocas pues existen importantes diferencias de composición y alterabilidad de minerales dentro de cada uno de ellos, entre otras variables que influyen de forma importante y a veces dominante; no obstante es posible establecer criterios generales (Custodio & Llamas 2001).

Como resultado de las interacciones químicas y bioquímicas entre el agua subterránea y los materiales geológicos, y en menor medida debido a las contribuciones de la atmósfera y el agua superficial, el agua contiene una gran variedad de componentes químicos inorgánicos disueltos en diversas concentraciones, casi todos sus constituyentes disueltos, mayores y menores, están presentes en forma iónica (Freeze & Cherry, 1979).

La tabla 4 muestra la clasificación de las especies inorgánicas presentes en el agua subterránea. La concentración total de los iones mayores es mayor al 90% del total de sólidos disueltos en el agua, independientemente si está diluida o tiene una salinidad mayor que la del agua de mar (Freeze & Cherry, 1979). El origen y rangos típicos de concentración se muestran en la tabla 5.

Tabla 4. Clasificación de los componentes inorgánicos disueltos en aguas subterráneas. Modificado de (Freeze & Cherry, 1979).

Componentes mayores (>5 mg/l)		Componentes menores (0,01-10,0 mg/l)	Componentes traza (<0,1 mg/l)
SiO ₂ H ₂ CO ₃		B ³⁺ CO ₃ ²⁻ F ⁻	Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, Br, Cd, Ce, Cs, Cr, Co, Cu, Ga, Ge, Au, In, I, La, Pb, Li, Mn, Mo, Ni, Nb, PO ₄ ³⁻ , Pt, Rb, Ru, Sc, Se, Ag, Tl, Th, Sn, Ti, W, U, V, Yb, Y, Zn, Zr
Aniones HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻	Cationes Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺	NO ₃ ⁻ Fe ²⁺ K ⁺ Sr ²⁺	

Tabla 5. Rangos típicos de concentración de algunos componentes de aguas subterráneas y su origen. Basado en Custodio & Llamas (2001) y Appelo & Postma (1994).

Elemento	Concentración típica (mmol/l)	Origen
Cationes		
Na ⁺	0,1-2	Feldespatos, feldespatoides y otros silicatos, sedimentos marinos, mezcla con agua de mar, disolución de sales evaporitas, raras veces de emanaciones y procesos magmáticos, contaminación urbana e industrial, agua de lluvia.
K ⁺	0,01-0,2	Ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc), disolución de sales potásicas naturales (silvinita, carnalita, etc), en pequeña cantidad de aportes de agua de lluvia, abonos.
Mg ²⁺	0,05-2	Dolomita, serpentina, piroxenos, anfíboles, olivino, micas, lavado de rocas evaporitas magnéticas, mezcla con agua de mar, contaminación industrial y minera.
Ca ²⁺	0,05-5	Carbonato, yeso, feldespatos, piroxenos, anfíboles, agua de lluvia.
Fe ²⁺	0-0,5	Silicatos ferríferos, sulfuros, óxidos de hierro, ataque a mayoría de rocas sedimentarias, con carácter local procede del entubado de los pozos.
Aniones		
Cl ⁻	0,05-2	Lavado de terrenos de origen marino, aguas congénitas y fósiles, agua de lluvia, mezcla con agua marina, sal gema.
HCO ₃ ⁻	0-5	Carbonatos, materia orgánica
SO ₄ ²⁻	0,01-5	Lavado de terrenos áridos o de origen marino, oxidación de sulfuros en rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias, disolución de yeso, anhídrida y terrenos

		yesíferos, agua de lluvia, actividades urbanas, industriales y agrícolas.
NO_3^-	0,001-0,2	Bacterias nitrificantes, materia orgánica, contaminación urbana, industrial y ganadera, abonos, en pequeña proporción del agua de lluvia, muy raramente de minerales nitrogenados, emanaciones volcánicas o lavado de suelos antiguos, muy localmente del desarrollo de pozos con explosivos.

2.4.1 Visualización y clasificación del agua subterránea

Un aspecto importante en el estudio hidrogeoquímico es la síntesis y presentación de los datos químicos, el manejo y estudio de estos puede verse simplificado con el uso de distintos gráficos y diagramas, cada uno de estos presenta ventajas y limitaciones, la elección del mismo depende del objetivo del estudio.

Algunos de los diagramas de uso más frecuente son: diagramas columnares, diagramas triangulares, diagramas circulares, diagramas poligonales y radiantes, diagramas de columnas verticales y diagramas bidimensionales de dispersión (Custodio & Llamas, 2001).

De acuerdo con Younger (2007) el diagrama de Piper es el más utilizado, este consiste en dos diagramas triangulares que describen la composición relativa de cationes y aniones y un diagrama en forma de rombo que combina las composiciones de los aniones y cationes (Appelo & Postma, 1994). Lo más usual es representar como aniones $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$ y como cationes $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} y Mg^{2+} (figura 9), en casos especiales se pueden tomar otros iones o cationes, como en estudios de contaminación (Custodio & Llamas, 2001).

Según Custodio & Llamas (2001) una de las mayores ventajas de estos gráficos triangulares es que se pueden representar muchos análisis sin dar origen a confusión y las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas. La facies hidroquímica es función de la litología, la cinética de la solución y los patrones de flujo del acuífero, estas facies se pueden clasificar en función de los iones dominantes en un diagrama trilineal o diagrama de Piper (Fetter, 2001) (figura 9).

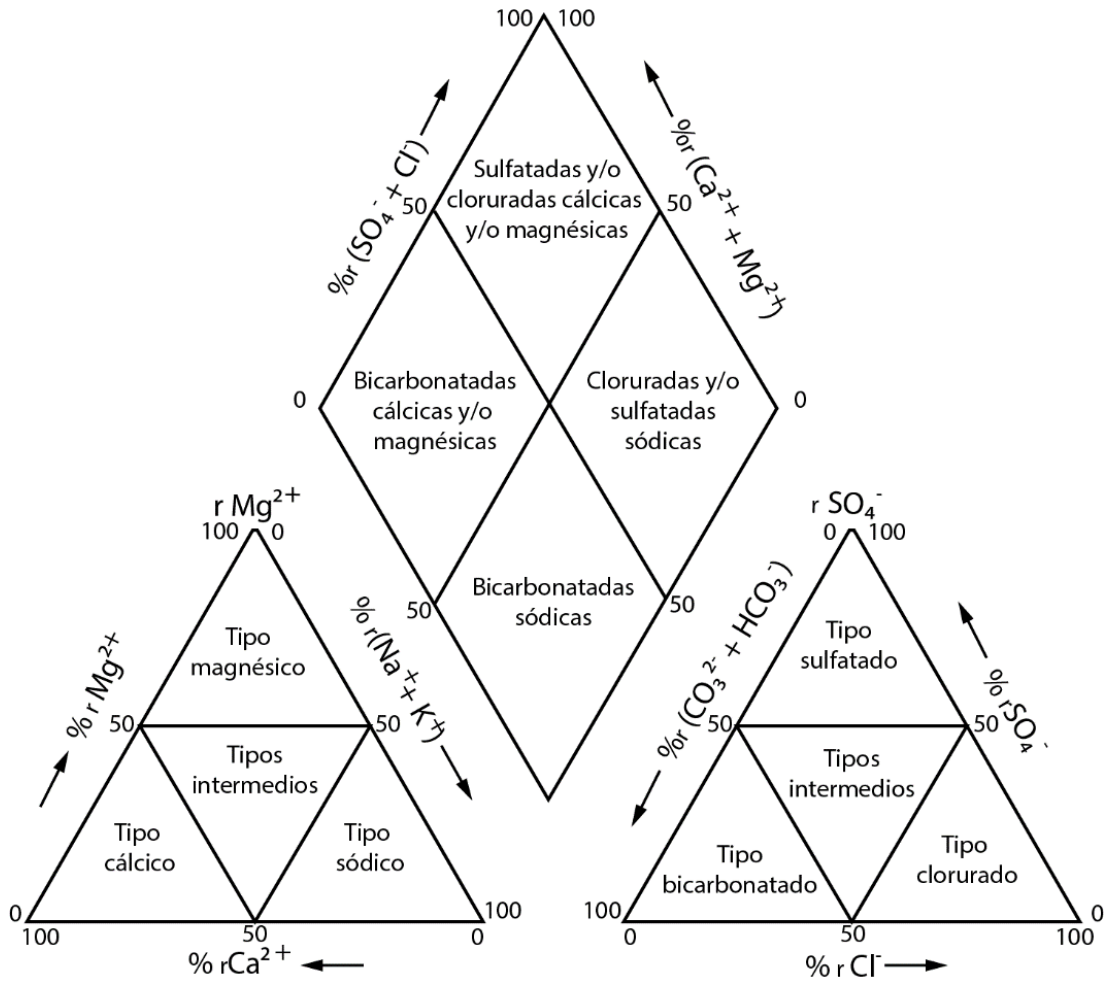


Figura 9. Tipos de agua deducidas de un diagrama triangular de Piper. Modificado de Custodio & Llamas (2001).

Capítulo 3: Descripción del medio físico

1.1 Marco geológico regional

Costa Rica se localiza en el istmo Centroamericano, en una región donde interactúan tres placas litosféricas, la placa del Coco, Nazca y Caribe. La costa del Pacífico del país se caracteriza por presentar esfuerzos regionales producto de la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe, a lo largo de la Fosa Mesoamericana (figura 2).

La placa del Coco se caracteriza por presentar grandes heterogeneidades en su morfología, estas variaciones producen cambios en las alturas batimétricas, que a su vez producen diferentes comportamientos en la interacción entre la placa subducida y la cabalgante (Wells et al., 1988; Barckhausen et al., 2001). En la región de la península de Nicoya, particularmente, la velocidad de subducción es aproximadamente 80 mm/año (DeMets et al., 2010).

Como consecuencia de esta subducción, entre el Plioceno y Pleistoceno, se originó el Arco Volcánico de América Central, paralelo a la trinchera. La Cordillera Volcánica de Guanacaste (CVG) constituye un segmento de este arco, en el extremo sur oriental. Está constituida por complejos volcánicos que muestran una orientación NO-SE, estos son los volcanes Chato, Arenal, Tenorio, Miravalles, Santa María, Rincón de la Vieja, Cacao y Orosí (Chiesa et al., 1992).

En este contexto geotectónico se ubica la cuenca del río Tempisque, en una región que presenta un control estructural de tipo compresivo importante, debido a los procesos tectónicos producto de la interacción en el límite convergente entre las placas del Coco y Caribe (Denyer et al., 2014). Además producto de la actividad volcánica, en la vertiente Pacífico de la CVG se desarrolló una meseta a partir de flujos ignimbríticos con rocas que datan desde el Mioceno Superior. Estos flujos, en el área de interés, corresponden con lo que se ha descrito como Formación Bagaces y Formación Liberia.

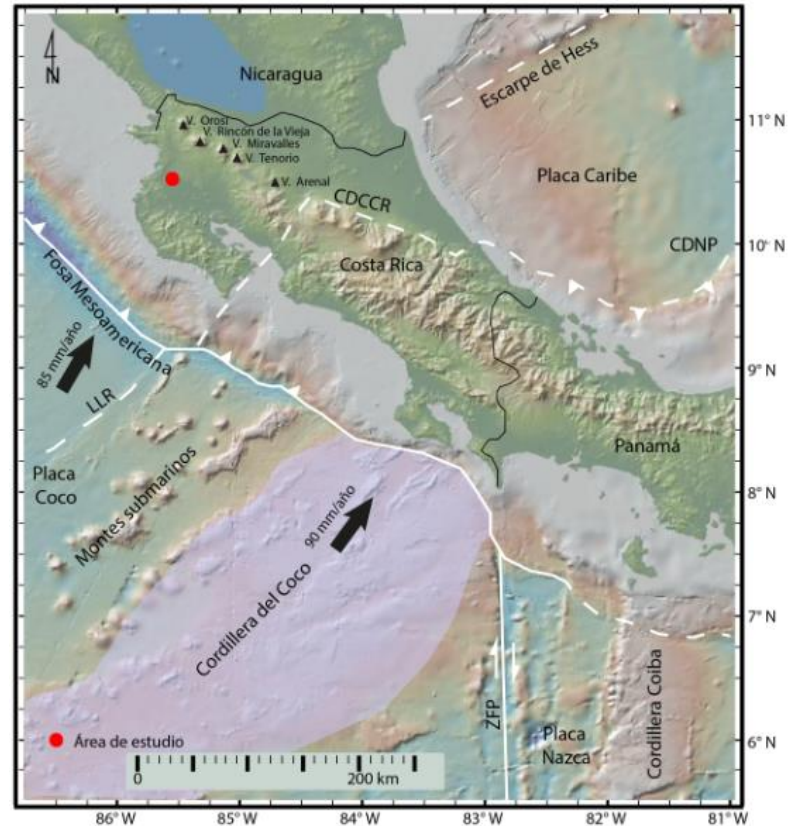


Figura 10. Marco tectónico regional. CDNP: Cinturón deformado del Norte de Panamá, CDCR: Cinturón deformado del Centro de Costa Rica, LLR: Límite liso-rugoso, ZFP: Zona de fractura de Panamá, modificado de Hey (1977) y Marshall & Fisher (2000). Las flechas negras indican la velocidad de movimiento de las placas respecto a la Placa Caribe de acuerdo con DeMets et al. (1994) y DeMets et al. (2010).

1.1.1 Complejo de Nicoya

Dengo (1962) lo describe formalmente como varias unidades de rocas ígneas y sedimentarias e indica que fue denominado así por los geólogos de la Compañía Petrolera de Costa Rica, para referirse a las rocas más viejas que afloran en la Península de Nicoya. Kuijpers (1979) redefine el Complejo de Nicoya estableciendo dos unidades litoestratigráficas: Unidad Matapalo (Cretácico Inferior) y Unidad Esperanza (Cretácico Superior). Debido a la complejidad de la zona diversos estudios han agrupado estas rocas en diferentes unidades, con base en geoquímica, geocronología y correlaciones estratigráficas se han producido una

serie de datos, permitiendo una evolución en el pensamiento estratigráfico (Denyer et al., 2014).

De acuerdo con Denyer et al. (2014) se trata de una secuencia de afinidad oceánica, compuestas por rocas ígneas, tanto volcánicas como intrusivas, y radiolaritas que conforman el basamento regional, y son parte de una secuencia ígnea que constituye el CLIP (Caribbean Large Igneous Province). En su trabajo Denyer et al. (2014) dividieron y cartografiaron esta formación en cinco unidades diferentes: Complejo de Nicoya-Basaltos, Complejo de Nicoya-Radiolaritas, Intrusivo Potrero, Plagiogranito Ocotál, Komatitas Tortugal.

1.1.1.1 Basaltos

Representa el basamento local y regional, es además la unidad más abundante tanto en el complejo como en la Península de Nicoya. Consiste en flujos masivos, los cuales están cruzados por varias generaciones de fracturas y vetillas en su mayoría zeolitas ya algunas silíceas, también se encuentran estructuras de almohadilla y en ocasiones microalmohadilla. Asociado a los basaltos se presentan brechas que se formaron como autobrechas o como brechas de explosión de las almohadillas (Denyer et al., 2014).

Los basaltos toleíticos son de grano fino, en general afíricos, compuestos por plagioclasa, augita, clorita y óxidos de hierro y titanio, todo esto en una matriz afanítica. Generalmente se presentan vetillas de calcedonia, zeolitas, ópalo y rara vez de calcita. Es de destacar el alto grado de fracturamiento presente en esta litología, que indican el intenso tectonismo que los ha afectado (Denyer et al., 2014).

1.1.1.2 Radiolaritas

Se trata de rocas sedimentarias de grano fino a muy fino, de origen pelágico, estratificadas en estratos milimétricos a centimétricos, duras y presentan variedad de coloraciones que van desde rojo, verde, amarillo, blanco, gris hasta negro. Generalmente se observan replegadas en pliegues cerrados hasta isoclinales, siendo los tipo chevron muy frecuente, dando a estas rocas un aspecto caótico (Denyer & Arias, 1993).

Hasta el momento no se ha encontrado el basamento magmático de las radiolaritas más antiguas del Jurásico Medio (170 Ma), se considera que se depositaron sobre un fondo oceánico antiguo, que actualmente no aflora en la península y quizás está cubierto por los eventos más recientes (Denyer & Baumgartner, 2006).

1.1.1.3 Intrusivo Potrero

Está compuesto por gabros, doleritas y en menor grado plagiogranitos. Los gabros (hasta microgabros o diabasas) son de coloración oscura, presentan textura porfirítica rica en minerales máficos con acumulaciones esferoidales centimétricas de piroxenos (Denyer & Arias, 1993). Según el mismo autor a nivel microscópico presentan una textura holocristalina-intergranular a ligeramente subofítica con fenocristales de plagioclasa, augita titanífera, algunos opacos, rara vez apatito, olivino y comúnmente cloritas y nontronitas como minerales de alteración.

Asociados a estos intrusivos se presentan diques de doleritas con nódulos de anortositas (An_{88-83}) (Tournon, 1984), los cuales tienen una forma redondeada, alcanzan diámetros superiores a 10 cm y no presentan zonación (Denyer et al., 2014). Mientras tanto los plagiogranitos son rocas intrusivas de coloración blancuzca, textura holocristalina, rica en minerales leucocráticos así como algunos máficos del tipo hedenbergita (Denyer & Arias, 1993).

Esta unidad intruye los basaltos y radiolaritas del Complejo de Nicoya, que conforma el basamento regional (Denyer et al., 2014). Sinton et al. (1997) estima una edad entre 84 a 83 Ma basado en dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

1.1.2 Formación Bagaces

Inicialmente llamada “toba gris” por Dondoli (1950), fue definida formalmente por Dengo (1962) como el miembro inferior del campo volcánico de Guanacaste, la cual describió como tobas, en su mayoría de tipo ignimbritas, formadas por una masa heterogénea en fragmentos de pómez y fragmentos líticos, muy pobremente estratificados, cementados en una matriz vítrea aglutinada, y sedimentos lacustres asociados con las tobas. De acuerdo con Bohnenberger (1968) la Formación Bagaces corresponde con una potente sucesión compleja de erupciones volcánicas que se alternan con procesos sedimentarios, reconociendo la presencia de al menos cuatro miembros arenosos intercalados entre las tobas, estos miembros arenosos serían los más importantes de la Formación Bagaces desde el punto de vista hidrogeológico según el autor.

Según Denyer et al. (2014) en general las litologías son piroclásticas del tipo vitro-pumítico cuya matriz es rica en vidrio con variaciones de texturas vítreas, vítrica pumítica y vitroclástica; en ocasiones se presenta variación en el contenido de líticos, también se presentan plagioclasas y minerales opacos. Los fragmentos líticos identificados se dividen en andesita-dacita (sin vidrio) e hipocristalinos (con

vidrio entre los intersticios), vítricos a vitroclásticos. Además se presentan tobas grises y blancas intercalada con conglomerados decimétricos de clastos bien redondeados y capas de pómez de caída (Denyer et al., 2014).

La Formación Bagaces sobreyace de forma discordante a la Formación Descartes, se destacan los paleosuelos de esta unidad quemados por la llegada de los flujos piroclásticos de Bagaces (Denyer et al., 2014).

La división de la formación ha sido modificada constantemente, en las investigaciones realizadas por Bohnenberger (1968) y ONU (1975), con fines hidrogeológicos, se subdivide la Formación Bagaces en: Miembro Inferior, Intermedio y Superior. Chiesa et al. (1987) destaca 3 unidades: Serie Pre-Carbonal, Formación Cerros Carbonal y Serie Post-Carbonal, las rocas de los cerros Carbonal corresponderían con lavas con disyunción prismática. Según Alvarado & Gans (2012) sobre las Dacitas Carbonal existe una potente serie de ignimbritas intercaladas con coladas de lava y depósitos fluviales y fluvio-lacustrinos, con un espesor de al menos 200 m, que junto con Carbonal la formación tiene una potencia total de 500 m. Las coladas de lava intercaladas son de composición andesítico basáltica hasta dacítica (Chiesa et al., 1994) masivas o lajeadas (Alvarado & Gans, 2012).

Otros estudios cartográficos, petrográficos y geoquímicos locales se han realizado en la Formación Bagaces, entre ellos se encuentran los de la Campaña Geológica 2002, David (2005), Semm (2005), Mansor (2005) y Szymansk (2007).

Denyer et al. (2014) realizan una síntesis y proponen la siguiente división:

- Miembro Inferior

Consiste en ignimbritas bien soldadas, gris blancuzco con fiammes blancuzcos y negros, tobas grises y blancas con intercalaciones de coladas basalto-andesíticas hasta dacíticas, masivas y lajeadas. Las coladas de lava intercaladas son de composición andesítico-basáltica hasta dacítica, masivas lajeadas (Chiesa et al, 1994). Las dataciones indican una edad de 4,87 a 3,64 Ma (Denyer et al., 2014).

- Miembro Intermedio

Litológicamente corresponde con tobas grises y blancas intercaladas con conglomerados decimétricos de clastos bien redondeados y capas de pómez de caída, con más de 30 m de depósitos fluviales y fluvio-lacustres (Denyer et al., 2014). Aguilar & Alvarado (2004) asocian con los sedimentos epiclásticos de este miembro, depósitos marinos someros que afloran en los Cerros Barbudal, estos en conjunto con la fauna (braquiópodos, moluscos, bivalvos y gasterópodos) indican

que estos sedimentos recibieron un fuerte aporte de cenizas volcánicas, quizás coignimbritas.

Según Denyer et al. (2014) su origen se debe a que las violentas erupciones el Miembro Bagaces Inferior produjeron un desequilibrio de todo el sistema de drenaje, y originaron grandes avenidas fluviales, que se evidencian en depósitos de espesor considerable, así como la formación de lagos y lagunas por taponamiento de los cauces, cuyos depósitos se observan intercalados en esta unidad geológica.

Con base en los hallazgos fósiles Aguilar & Alvarado (2004) estiman una edad entre 4 y 6 Ma.

- Medio Superior

Representado por ignimbritas con fiammes de hasta 30 cm de largo, y pómez grandes de color blanco y amarillento, presentan diferentes grados de soldamiento, así como variable grado y tipo de alteración (Herrera & Vargas, 2012; Denyer et al., 2014). Su edad varía entre 3,21 y 2,0 Ma (Denyer et al., 2014).

Según Denyer et al. (2014) la distinción entre los miembros inferior y superior es difícil de determinar con criterios de campo, excepto cuando se observa el miembro Medio pues es muy característico.

Dengo (1962) considera que la distribución de la Formación Bagaces fue originada desde una fractura a lo largo de una línea que se extiende desde el noroeste del volcán Tenorio al volcán Orosi, lo que posiblemente es una extensión de la falla del río Cañas. Sin embargo, el origen de estos depósitos ignimbríticos no ha sido determinado con claridad.

Recientemente Solano (2018) realizó un estudio integral de tipo estratigráfico, petrográfico y geoquímico de la Formación Bagaces, en este divide las rocas piroclásticas de la Formación Bagaces en dieciséis unidades basado en el contenido de cristaloclastos (principalmente plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y opacos), litoclastos (líticos recristalizados, de otras rocas y juveniles no vítreos) y vitroclastos (pómez, escoria y fragmentos de vidrio), estas unidades son: Toba Alto Mirador, Toba Potrerillos, Toba Limbo I, Toba Sandillal, Toba Rama de Nance, Toba Pan de Azúcar, Toba Limbo II, Toba Mata de Caña, Toba Poza Salada, Toba Santa Rosa, Toba La Casona, Toba Cuajiniquil, Toba Río Colorado, Toba Cañas y por último la Toba Montenegro, mientras que a las lavas les denomina Lavas Pelón de la Bajura.

1.1.3 Formación Liberia

Descrita inicialmente como toba blanca de composición riolítica y rica en cuarzo por Dondoli (1950), posteriormente definida como Formación Liberia por Dengo (1962). Bohnenberger (1968) describe la formación como tobas blancas tipo ignimbritas, formadas por la acumulación caótica de cenizas pomáceas, con un efecto aglutinante muy bajo, las cenizas típicas son ricas en cuarzo, feldespatos, biotita y pedazos de pómez, así como fragmentos líticos. Según el mismo autor el piso de estos mantos contiene fragmentos abundantes de tobas de Bagaces y otras rocas extrusivas duras. Los granos están cementados por un material riolítico blanco-grisáceo (Denyer et al., 2014).

Chiesa et al. (1992) estudian los flujos ignimbríticos asociados a la Caldera de Guayabo, y definen la Formación Piroclástica Guayabo la cual comprende los miembros: Salitral, Buena Vista y La Ese, mientras que asigna el flujo de pómez biotítico a la Formación Río Liberia. Alvarado & Gans (2012) proponen una nueva clasificación donde los miembros de la Formación Piroclástica Guayabo y la Formación Río Liberia conforman cuatro unidades de lo que llaman Formación Liberia, estas unidades sobreyacen a la Formación Bagaces por medio de un paleosuelo rojizo regional.

1.1.3.1 Unidad Río Liberia

De acuerdo con Denyer et al. (2014) es la unidad más característica. Chiesa (1991) la describe como un flujo de pómez biotítico compuesto por abundante matriz (vidrio más cristales con diámetro < 2mm), pómez redondeada con cristales, fragmentos líticos y fenocristales de cuarzo, biotita, plagioclasa (An₃₀₋₃₅), según Gillot et al. (1994) y esporádicos anfíboles; el color es claro (blancuzco a rosado) con matices amarillos y verde-amarillentos. Presenta fuertes variaciones en su estructura y porcentaje de constituyentes (matriz 50-70%, pómez 10-50%, fragmentos líticos (10-20% y cristales 15-30 %), pues al tratarse de un depósito piroclástico sus características no son homogéneas (Chiesa, 1991).

Alvarado & Gans (2012) mencionan que en la actualidad existe un consenso de que este extenso flujo de pómez rico en biotita proviene de la caldera Alcántaro-Guachipelín-Cañas Dulces, fundamentado en el incremento de los líticos y pómez hacia dicho sector, en la existencia de brechas coignimbríticas cercanas y en que se han encontrado espesos paquetes de ignimbritas similares dentro de dicha caldera.

Gillot et al. (1994) asignan a esta unidad una edad de 1,6 Ma, Alvarado & Gans (2012) y Vogel et al. (2004) proponen $1,47 \pm 0,02$ Ma, mientras que Denyer et al. (2014) estiman $1,595 \pm 0,02$ Ma.

1.1.3.2 Unidad Salitral

Según Chiesa et al. (1992) está constituido por un flujo piroclástico muy compacto que contiene pómez, líticos negros a rojizos de naturaleza lávica, a veces escoriácea, y cristales de plagioclasa, cuarzo, ortopiroxeno y poco anfíbol en una matriz de cenizas gruesas de color entre blanco, gris y rosado. Su espesor es variable entre pocos metros hasta unos 50 m cerca del borde meridional de la caldera (Chiesa et al., 1992).

Vogel et al. (2004) asignan a esta unidad una edad de $1,36 \pm 0,02$ Ma.

1.1.3.3 Unidad Buenavista

Constituido por una matriz de ceniza gris claro con pómez entre 3-4 cm, líticos lávicos de hasta 10 cm y abundantes cristales de anfíbol, plagioclasa, cuarzo, clinopiroxenos y minerales opacos contenidos en los fragmentos de pómez y en la matriz. En la base del flujo se observan cuatro diferentes depósitos de caída separados por paleosuelos y cerca de la caldera de Guayabo alcanza hasta 30 m de espesor (Chiesa et al, 1992).

Su edad es de $1,35 \pm 0,01$ Ma (Alvarado & Gans, 2012 y Denyer et al., 2014).

1.1.3.4 Unidad La Ese

De acuerdo con Chiesa et al. (1992) representa por lo menos 3 diferentes flujos piroclásticos constituidos por pómez blancas de hasta 15 cm y líticos lávicos y angulosos, con escasa matriz de ceniza; algunos depósitos lacustres finamente estratificados (cenizas, arenas volcánicas y pumitas sin cristales) forman parte de esta unidad. Su espesor es de al menos 40 m (Chiesa et al., 1992).

Según Alvarado & Gans (2012) los tres grandes flujos tienen una edad de 0,868 Ma y dos flujos de 0,622 Ma.

1.1.4 Depósitos cuaternarios

Corresponde con los depósitos aluviales del Cuaternario, originados por la sedimentación del río Tempisque, estos se ubican al oeste- suroeste del área de estudio (Denyer et al., 2014). Su granulometría es variable, entre gravas, arenas, limos hasta llegar a arcillas, además de mezclas entre ellas (Alpizar, 2014).

Según Denyer et al. (2014) y Alpizar (2014), al Oeste del área de estudio, en la margen derecha del río Tempisque estos depósitos son muy delgados y sobreyacen a la Formación Bagaces. En esta misma zona Alpizar (2014) asigna un espesor máximo de 25 m, de acuerdo con el autor el espesor mayor que normalmente es reportado en pozos, se debe a que ha sido confundido con depósitos epiclásticos de la Formación Bagaces.

1.2 Marco estructural regional

La península de Nicoya ha sido objeto de varios estudios estructurales tanto locales como regionales, pues está es una de las áreas del país más afectadas y controladas por procesos tectónicos. Denyer et al. (2014) realizan una síntesis con los trabajos hechos en la península y también cartografiaron fallas normales, inversas y de desplazamiento de rumbo neotectónicas y fallas paleotectónicas, con lo que proponen un marco tectónico de la región, desde el punto de vista hidrogeológico es importante el estudio de las estructuras ya que estas fallas pueden condicionar el flujo del agua.

1.2.1 Fallas neotectónicas y paleotectónicas

En el área de estudio Denyer et al. (2014) sugieren varias fallas neotectónicas, las cuales se encuentran en las cercanías de la quebrada Matapalo, al este de Guardia, tienen un rumbo NNW y una longitud promedio de 1,9 km (figura 11). Al sur los autores finalizan el trazo de la falla Belén, pues en este sector finaliza su zona de estudio, la falla Belén es neotectónica y se inicia al sur en el sector este de la bahía Sámara, su trazo es bastante rectilíneo y con rumbo cercano al N-S, hacía el norte la falla corta y desplaza de forma derecha las ignimbritas de la formación Bagaces (Denyer et al., 2014).

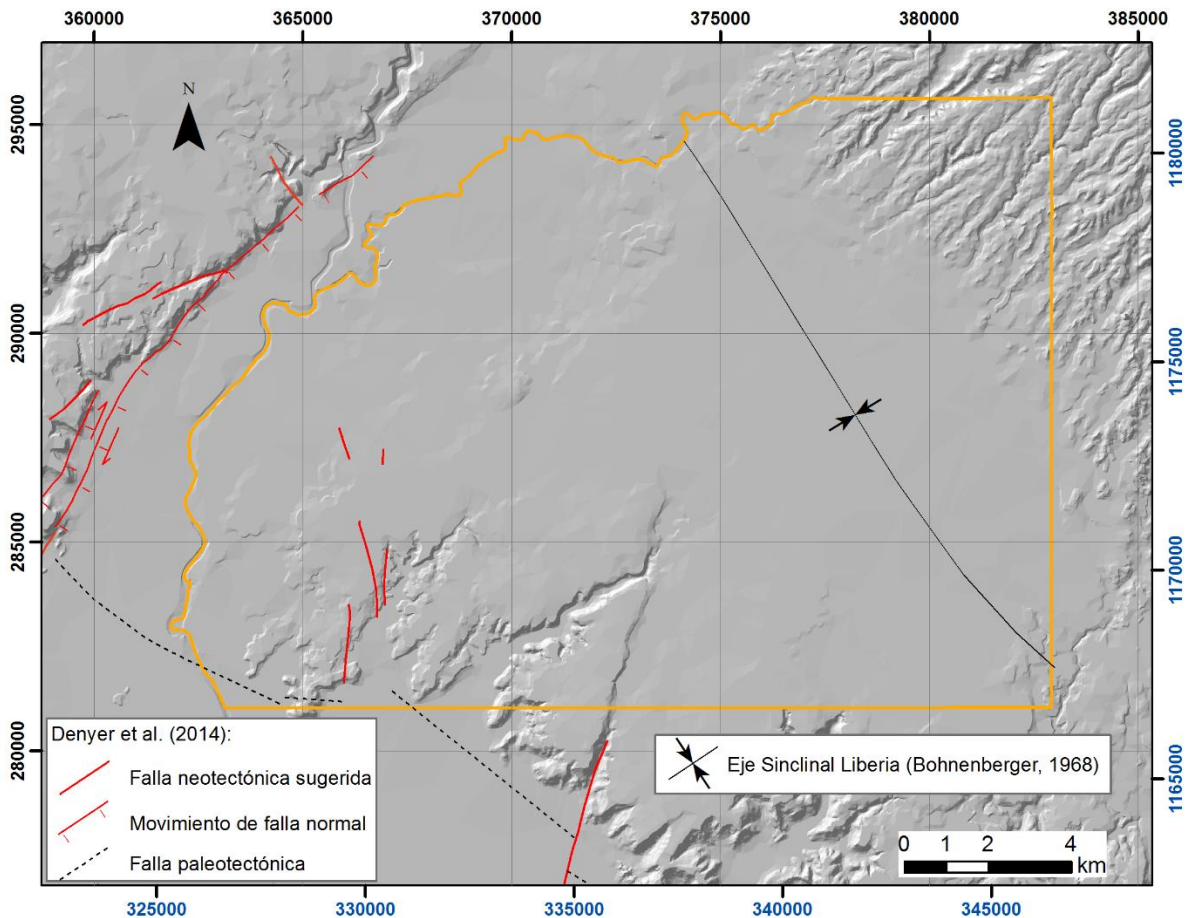


Figura 11. Marco estructural regional.

Al este del río Tempisque, fuera del área de estudio, se han determinado varias trazas de falla neotectónicas de rumbo NNW y NNE, estas son normales son un componente dextral, cuyo escarpe posee un rumbo NE y podría ser asociado con el sistema de falla Los Chanchos, esto se explicaría como una transtensión asociada al mismo, o bien pueden relacionarse con un episodio de levantamiento neotectónico vinculado con el proceso de convergencia Coco-Caribe, limitado por una falla de componente normal (Denyer et al., 2014).

Las fallas paleotectónicas se encuentran en el extremo suroeste de la zona de estudio, estas tienen un rumbo noroeste y WNW, su longitud dentro del área de estudio es corta y se encuentran desplazadas por el frente de ignimbritas de la formación Bagaces.

1.2.2 Sinclinal de Liberia

Con base en buzamientos fotogeológicos de la meseta ignimbrítica originada por las Formaciones Bagaces y Liberia Bohnenberger (1968) traza el eje de un sinclinal con rumbo noroeste-sureste, unos 2,5 km al Oeste de la ciudad de Liberia. De acuerdo con este autor, en general, las tobas de estas formaciones muestran buzamientos leves hacia el suroeste, debido a la inclinación original del depósito, sin embargo, hacia el Oeste y Sur de Liberia (en las hojas Carrillo Norte y Tempisque) ese patrón no es válido, en esta región se observan inclinaciones hacia el NNW y WNW, con base en lo anterior Bohnenberger (1968) traza la localización aproximada del eje del sinclinal.

1.3 Marco geomorfológico

1.3.1 Características generales

El área de estudio se encuentra dentro de una parte de las cuencas de los ríos: Tempisquito-Tempisque, Colorado, Liberia-Matapalo, Salto-Pijije y Zopilota, tal como se observa en la figura 12. Estas cuencas son alargadas con una orientación suroeste las que se originan al sur del volcán Rincón de la Vieja, mientras que la cuenca del río Tempisquito-Tempisque tiene una orientación norte-sur. A excepción de la cuenca del río Colorado, las demás tienen una orientación sureste al entrar en el valle del Tempisque. El río Tempisquito, que nace cerca del volcán Orosí fluye hacia el suroeste, luego de pasar cerca de la costa del golfo de Papagayo recorre un camino extenso y desemboca en el golfo de Nicoya, esto sugiere fuertemente que la península ha sufrido basculamiento hacia el NNW o NE (Denyer et al., 2014) evidencia además el control estructural en el flujo del agua del río Tempisque.

La mayor elevación en la zona de estudio es de 280 msnm en la zona montañosa al noreste de Liberia, mientras que la menor elevación es de 20 msnm en el río Tempisque, la figura 13 muestra que las pendientes altas se encuentran al noreste y suroeste del área, donde los cursos de agua están encañonados con pendientes mayores a 30° y algunas laderas son casi verticales con pendientes entre 60° y 86°, mientras que la zona plana, la cual cubre la mayor parte del área no superó los 5°, gran parte de ella es menor a 2°.

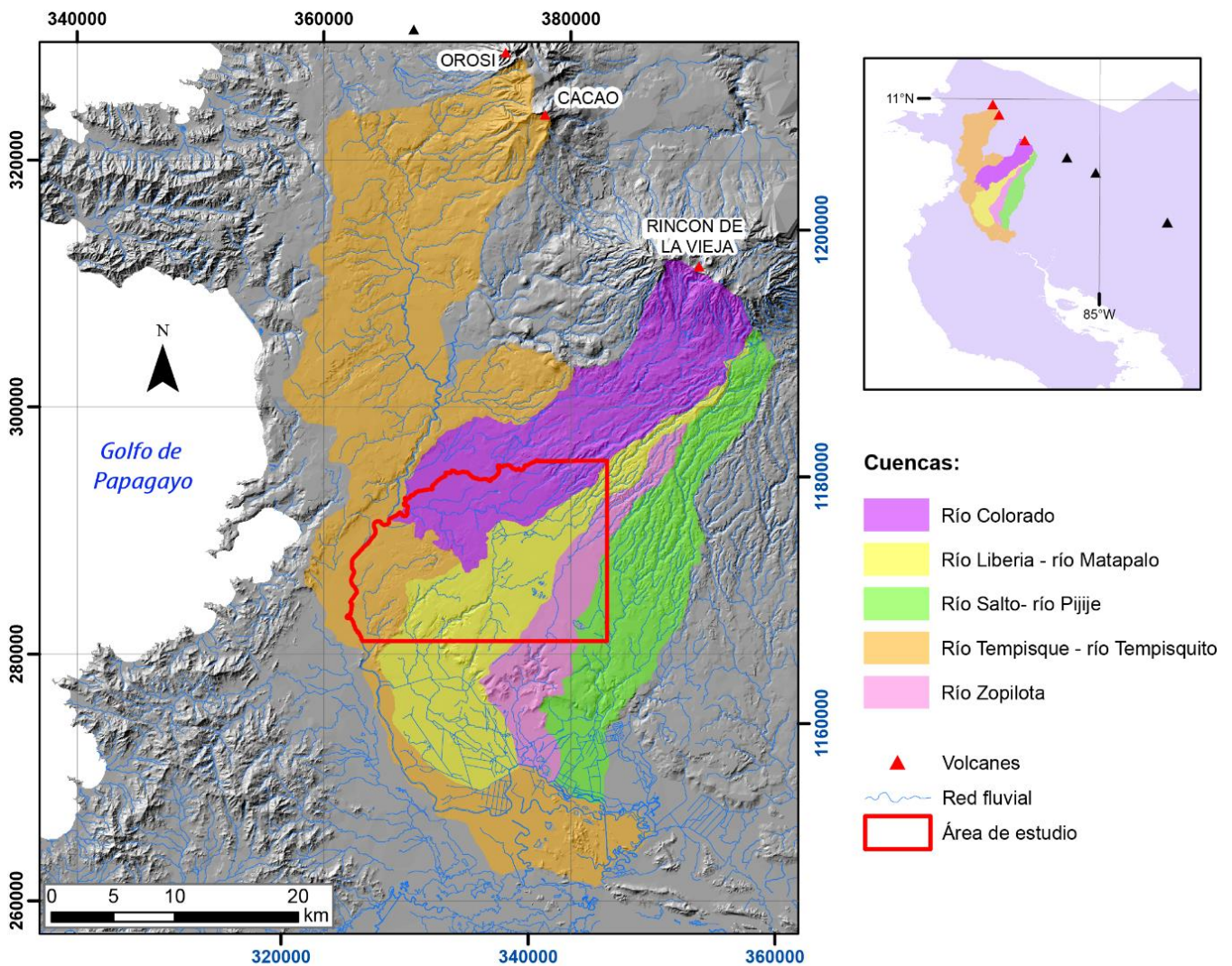


Figura 12. Cuencas que conforman el área de estudio.

El aspecto de la pendiente es variado, pero en general pueden verse dos zonas con una orientación predominante (figura 13), la primera de ellas es sur-suroeste hacia el noreste del área y la segunda es oeste noroeste al oeste-suroeste del área, ambas zonas son separadas por un eje aproximadamente noroeste-sureste a la altura de la ciudad de Liberia.

El patrón de drenaje es radial en las partes altas de las cuencas debido a los conos volcánicos, parte de este se puede observar en el extremo noreste del área de estudio, en el resto de la zona el patrón es rectangular ocasionado por algunas zonas de fractura o fallas. La densidad de drenaje disminuye hacia el sector de Liberia en concordancia con la pendiente del terreno, al igual que la frecuencia de drenaje, lo que podría influir en una mayor infiltración del agua.

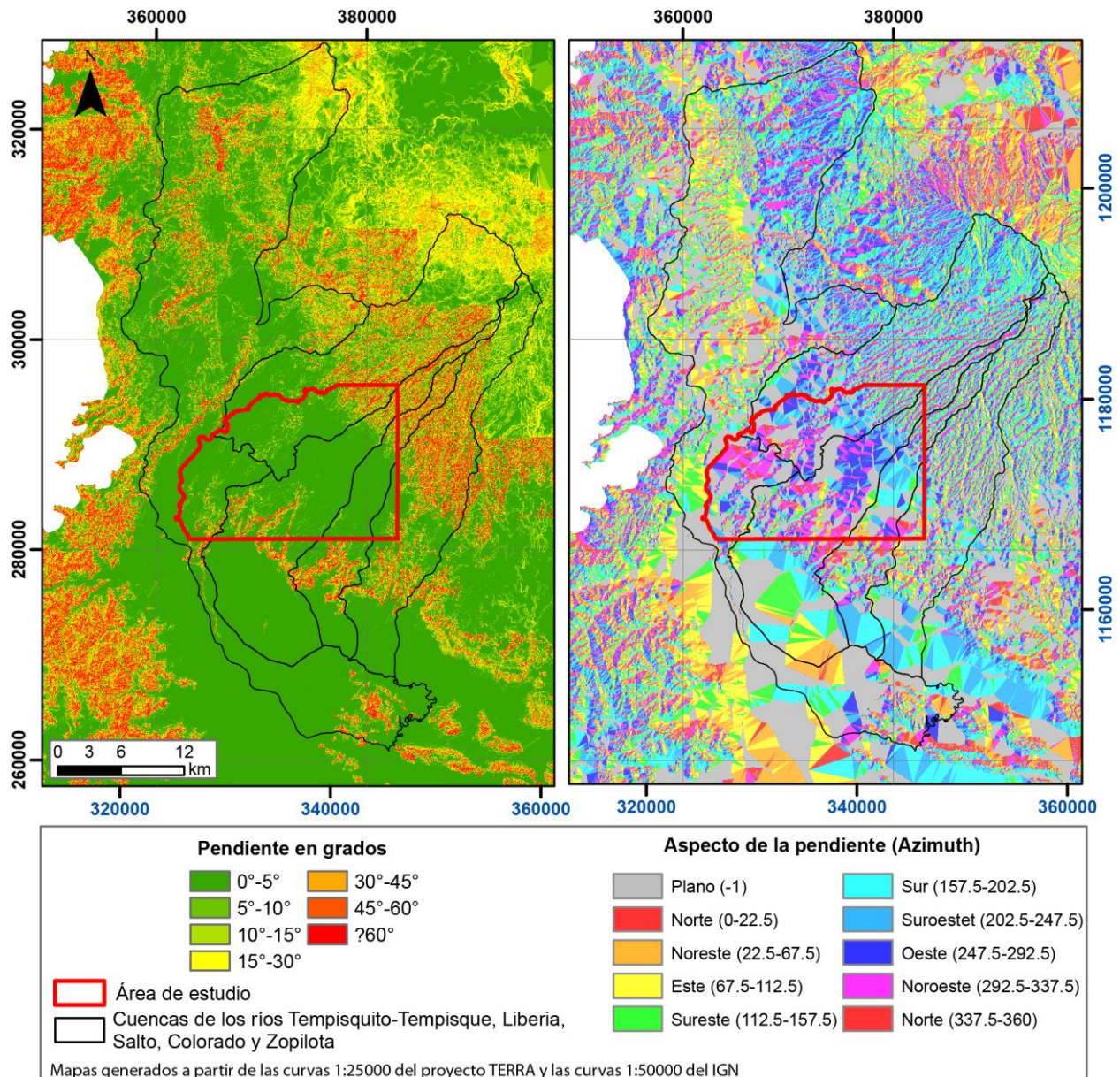


Figura 13. Mapa de pendientes y orientación de la pendiente.

1.3.2 Lineamientos

En la zona de estudio se observan varios lineamientos con rumbo N-S, NNW principalmente, estos se trazaron básicamente porque desvían el río del gradiente promedio o porque se alinean con contactos litológicos.

El mayor de ellos es el que se encuentra ubicado en la zona central del área, este tiene un rumbo norte-sur, se traza principalmente porque desvía el flujo del río Liberia el cual viene con un rumbo suroeste se desvía unos 4 km al Sur a la altura de Santa Ana y luego continúa con rumbo suroeste hasta llegar al valle del río Tempisque, además se alinea con el contacto entre las formaciones Liberia y Bagaces en la parte norte y sur de la zona de estudio. Este lineamiento podría ser una continuación de la falla Belén que Denyer et al. (2014) trazan al sur con un rumbo aproximado N-S.

1.3.3 Unidades geomorfológicas

Madrigal & Rojas (1980) identificaron tres unidades geomorfológicas en el área de estudio, con base en la información anterior estas fueron modificadas ajustándolas a la escala de trabajo, estas formas son originadas por procesos volcánicos, denudacionales y fluviales (figura 14).

La primera unidad corresponde con la Meseta de Santa Rosa, su nombre se debe a Dengo (1962); esta meseta es dividida por Madrigal & Rojas (1980) en dos subunidades debido a variaciones en la forma del relieve. La subunidad V1 cubre 220,7 km², es decir la mayor parte del área de estudio (84 %), la superficie es plana, en general no supera los 2°, con menor cantidad cauces que la cortan. Mientras la subunidad V2 es de valles escarpados e interfluvios planos, esta se ubica al noreste de la zona de estudio y cubre un área de 18,9 km², lo que representa 7,2 % del total, esta es mayormente disectada por valles de ríos y quebradas y su densidad de drenaje es mayor y las laderas son casi verticales, presenta un aspecto escalonado debido a la presencia de varias unidades casi horizontales de ignimbritas (Madrigal & Rojas, 1980).

La unidad D1 se denomina laderas muy empinadas y escarpes de erosión del frente de la Meseta Santa Rosa, cubre 11,7 km², 4,5 % del área de estudio. Esta se ubica al suroeste del área de estudio y representa el límite entre las ignimbritas y el relleno aluvial del río Tempisque, está cortado por los ríos Liberia y la quebrada Matapalo y presentan pendientes casi verticales. Según Madrigal & Rojas (1980) la génesis de este escarpe se debe posiblemente a la erosión del río Tempisque y posteriormente al retroceso por erosión regresiva.

Finalmente la unidad F1 corresponde con el valle aluvial del río Tempisque, esta unidad cubre 10,9 km², 4,16 % del área total, se ubica al oeste y suroeste del área de estudio y la pendiente normalmente es muy baja, en algunas ocasiones alcanza los 10°. De acuerdo con Madrigal & Rojas la textura del material del río es fina, con fracciones arenosas a limoarcillosas y su sedimentación es estrictamente de fracciones de rocas volcánicas de composición riolítica a andesítica.

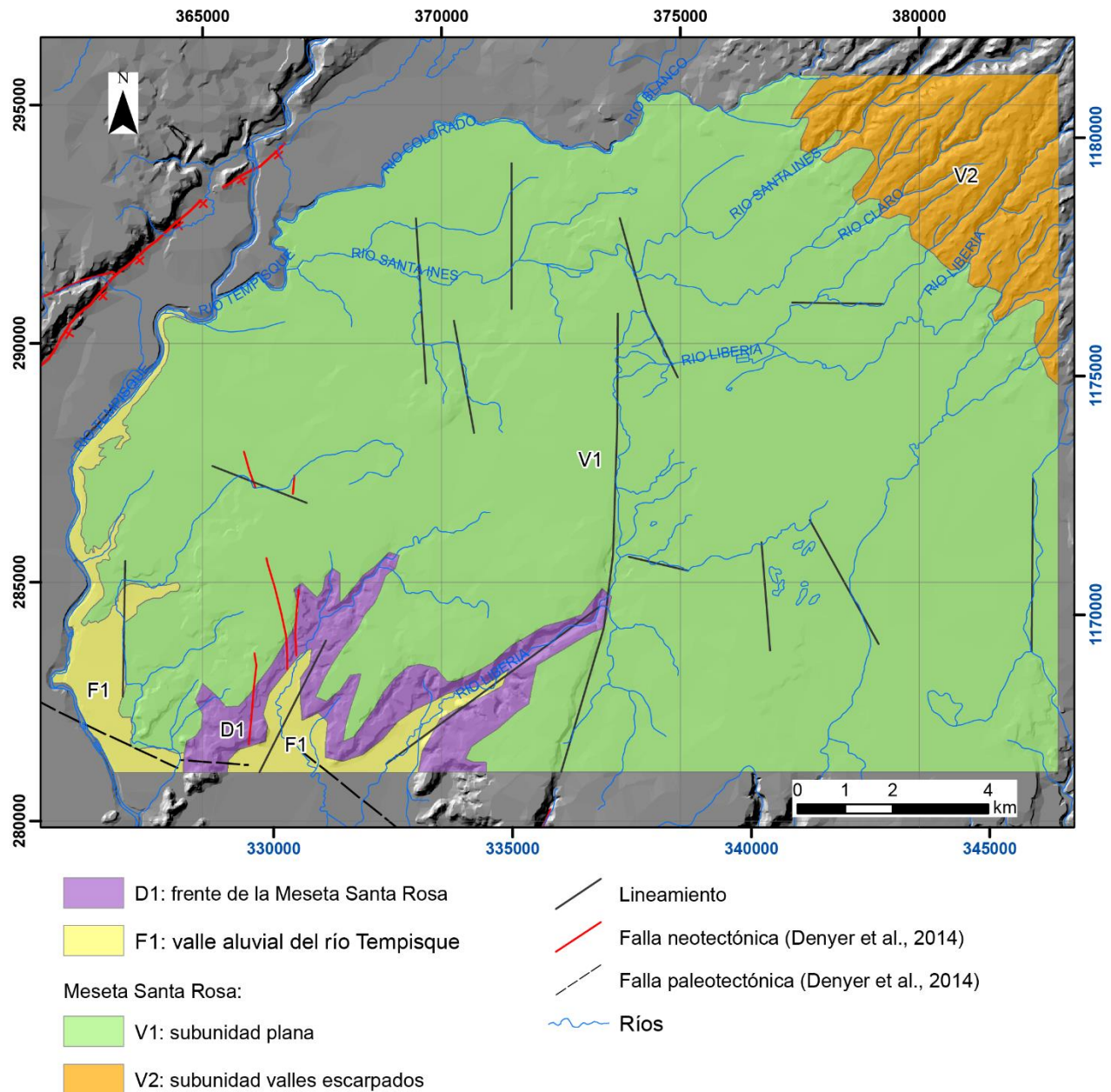


Figura 14. Mapa geomorfológico del área de estudio. Modificado de Madrigal y Rojas (1980).

1.4 Geología Local

Las rocas que afloran en el área de estudio son tobas de flujo que se correlacionan con la Formación Bagaces y Formación Liberia y depósitos aluviales. Como base para la geología de la zona de estudio se utilizó el mapa de geológico de la hoja Carrillo Norte de Denyer et al. (2013), el contacto entre las formaciones Bagaces y Liberia fue suministrado por P. Denyer (com. esc., 2017). Se realizó trabajo de campo para comprobar la geología, con el levantamiento de afloramientos realizado

para este trabajo y algunas descripciones de afloramientos suministradas por SENARA se genera el mapa de afloramientos de la zona de estudio, el mismo se observa en la figura 15.

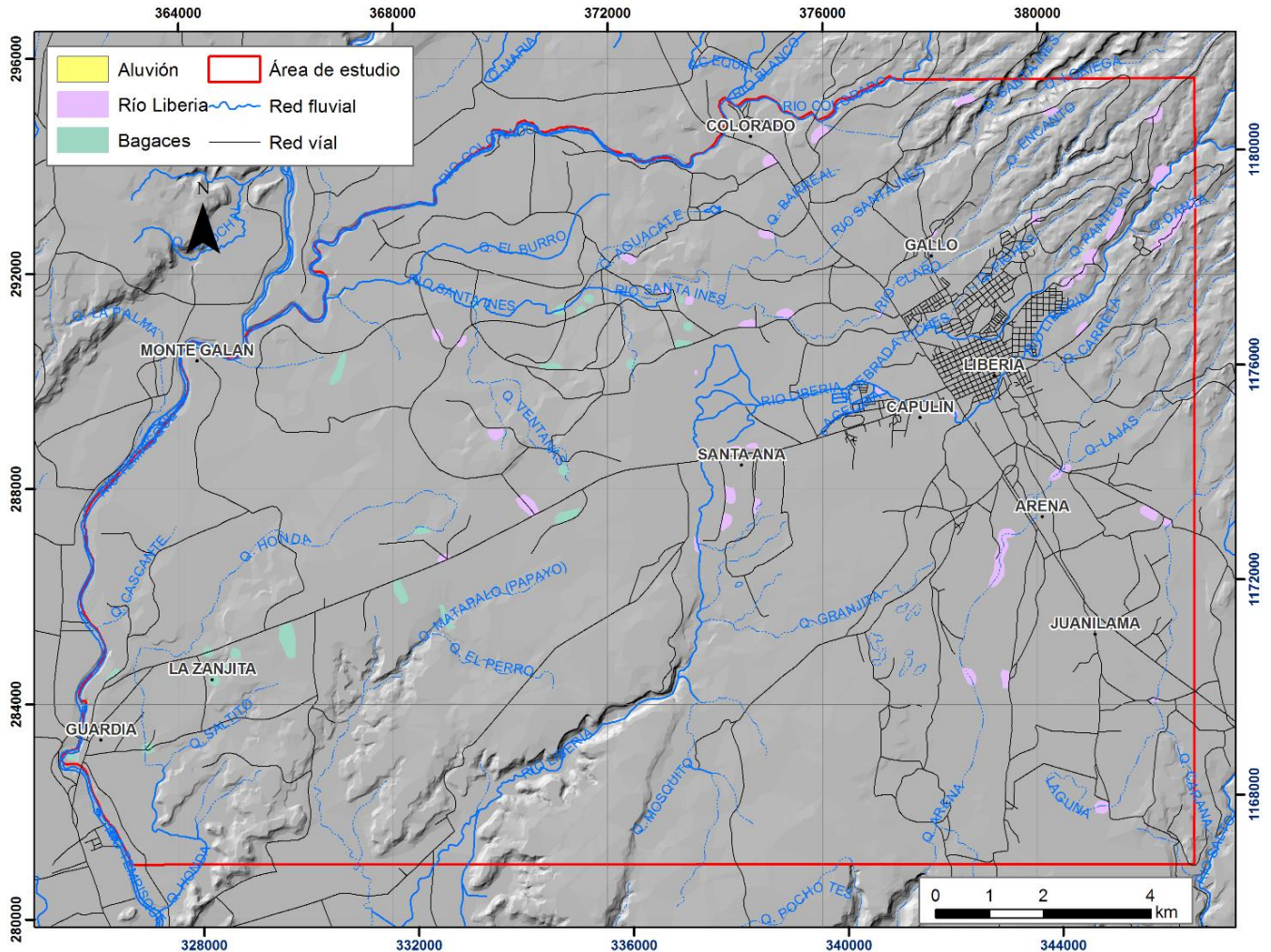
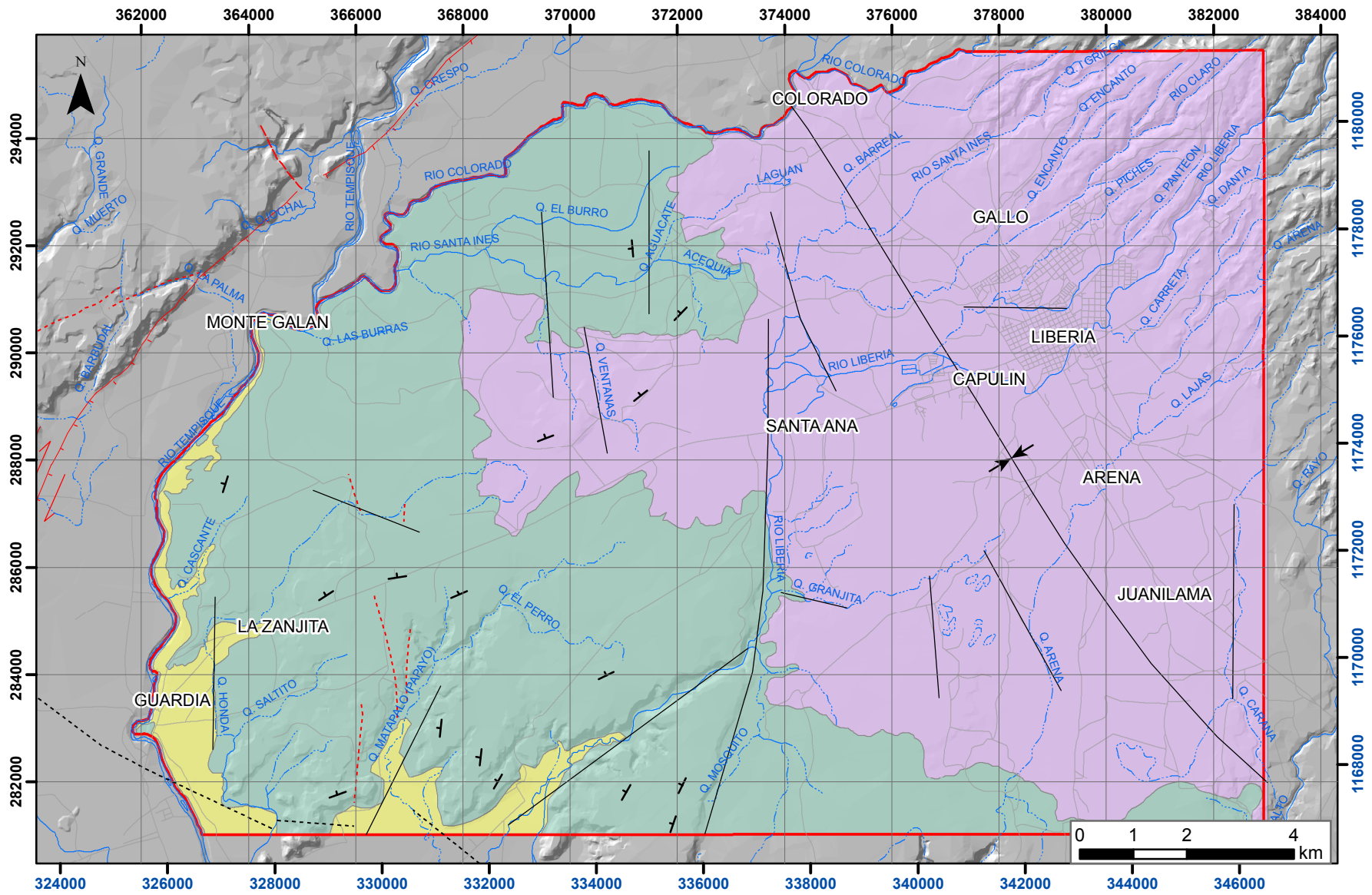


Figura 15. Mapa de afloramientos

A partir de la información anterior los mapas geológicos previos fueron modificados. Considerando los datos disponibles, donde las descripciones de los pozos normalmente son poco detalladas, y puesto que se sale de los objetivos de este estudio se decidió no dividir a la Formación Bagaces en unidades de flujo, sin embargo, de acuerdo a las observaciones de campo se correlacionan las rocas aflorantes en la zona de estudio con las unidad Montenegro descrita por Solano (2018). La distribución de las unidades geológicas se puede observar en la figura 16.



- | | | | |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Aluvión | Eje Sinclinal Liberia | Falla paleotectónica | Área de estudio |
| Unidad Río Liberia | Falla neotectónica cubierta | Buzamiento foto geológico suave | Red fluvial |
| Formación Bagaces | Falla neotectónica sugerida | Lineamiento | Red vial |
| | Movimiento de falla normal | | |

Figura 16. Mapa geológico del área de estudio. Basado en Denyer et al. (2014) y Bohnenberger (1968), modificado con trabajo de campo

1.4.1 Ignimbritas Bagaces

Aflora principalmente al Oeste y Suroeste del área de estudio, cubre un área de 108,5 km². Está compuesta por tobas de flujo tipo ignimbritas color gris a gris violáceo, normalmente estas rocas se presentan en forma masiva, además están fracturadas y en algunas ocasiones con hábito prismático por disyunción columnar (figura 17), su matriz es cinerítica (75-90%), contiene entre 2% y 7% de plagioclasas <1,5 mm, 3%-8% de líticos subangulares de composición lávica con un diámetro promedio < 3mm, 2%-10% de pómez < 2 cm y entre 1%-5% de fiammez de pómez con una longitud promedio < a 3 cm.

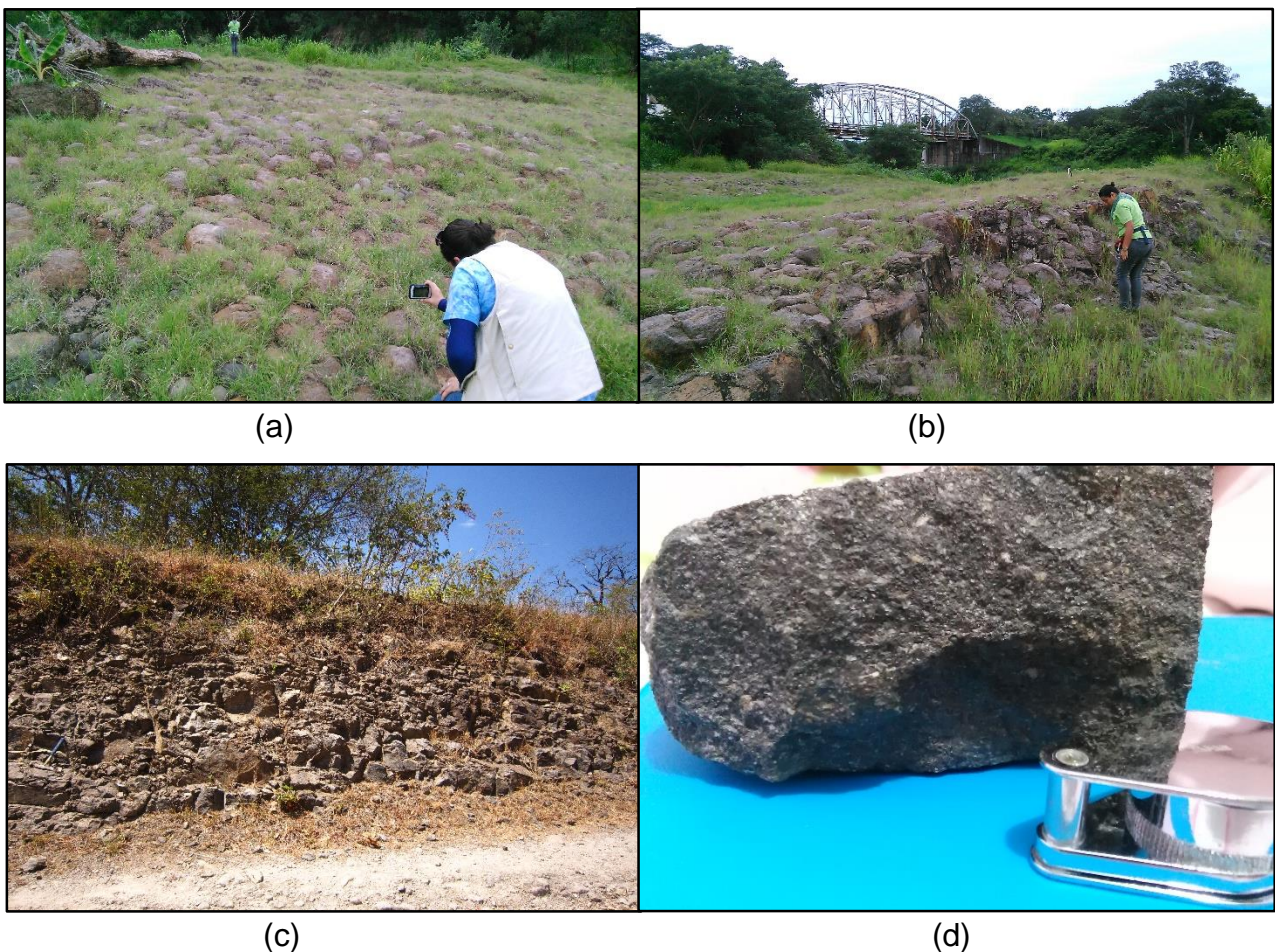
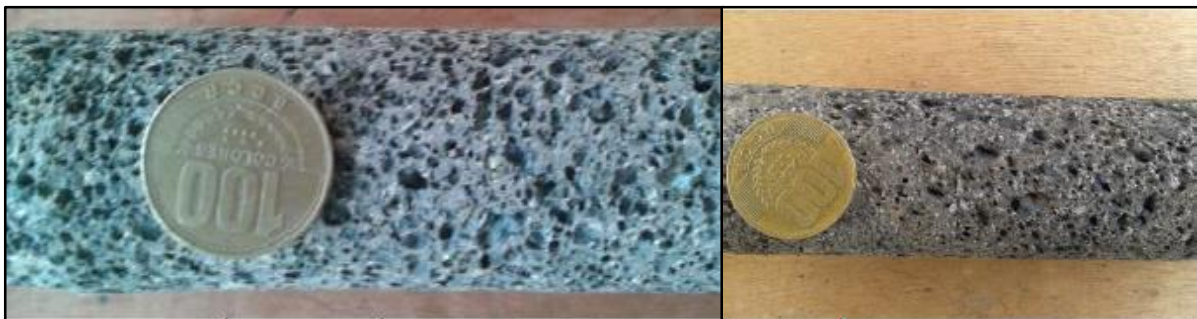


Figura 17. Afloramientos de la Formación Bagaces. (a) y (b) Ignimbritas columnares asociadas al Norte del puente de Guardia (362032/282913), (c) afloramiento masivo fracturado (368801/285625) y (d) vitrofire (368787/285775).

1.4.2 Lavas

Si bien estas rocas no afloran en el área de estudio, fueron descritas en las perforaciones de los piezómetros realizados por SENARA en la cuenca del Tempisque en el año 2014, de acuerdo con los registros las lavas intraignimbritas son de color gris oscuro de composición andesítica y basáltica, en la zona de estudio se encuentran entre los 28,6 m y 90 m de profundidad con espesores entre 34 m y 50 m, normalmente son vesiculares y se encuentran desde sanas hasta extremadamente fracturadas (figura 18). Según los informes de perforación estas lavas, en general, microscópicamente presentan textura hipocristalina-porfirítica, hipidiomórfica a xenomórfica y vesicular, con una matriz (50%-70%) microcristalina, hialopilitica, compuesta principalmente por vidrio y plagioclasa con fenocristales de plagioclasa (10%-30%) hipidiomórfica a idiomórfica y en algunos casos xenomórfica con tamaños menores a 1 mm, augita (2%-5%) hipidiomorfica a xenomórfica con tamaño promedio de 0,4 mm, olivino (0%-<7%) idiomórfico normalmente sericitizados y en forma de fantasmas, biotita (<2%) hipidiomórfica de hasta 0,5 mm, hornblenda (3%-5%) y <2% de magnetita y otros opacos, las vesículas presentan un volumen total en la roca que varía entre 2% en las rocas masivas hasta 40%, en estas ultimas presentan una textura fluidal, aplastada y alargada.



(a) ME-413

(b) ME-412

Figura 18. Lavas vesiculares de núcleos de perforación. Tomado de Vargas (2014).

1.4.3 Tobas blancas Liberia

Afloran al Este del área de estudio, cubren un área de 144,6 km². Se trata de una toba blanca a gris claro, cristalina, con líticos y pómez poco soldada, con buena selección en general, en algunas ocasiones se encuentra muy compacta aunque normalmente es deleznable. Está compuesta por cristales de cuarzo de hasta 2 mm, cuyo porcentaje varía entre 5% y 20%, <10% de biotita de hasta 1,5 mm, entre 3%

y 10% de líticos desde milimétricos hasta 3 cm y 5% de pómez blanco-rosáceo a amarillento con tamaños que van de 0,7 cm a 3 cm, en una matriz cinerítica blanco-grisáceo.

Los afloramientos se encuentran como capas subhorizontales, son masivos o como depósitos tipo “serge” (figura 19), se presentan algunos horizontes anaranjados probablemente producto de la lixiviación de la biotita.

Esta unidad se correlaciona con los flujos de pómez de la unidad Río Liberia de la Formación Liberia, la cual es la unidad más característica de la formación de acuerdo con Denyer (2014), según Alvarado & Gans (2012) su contacto con la Formación Bagaces es por medio de un paleosuelo regional, este contacto no fue observado en el campo. La unidad Río Liberia tiene una edad de $1,595 \pm 0,02$ Ma (Denyer, 2014).

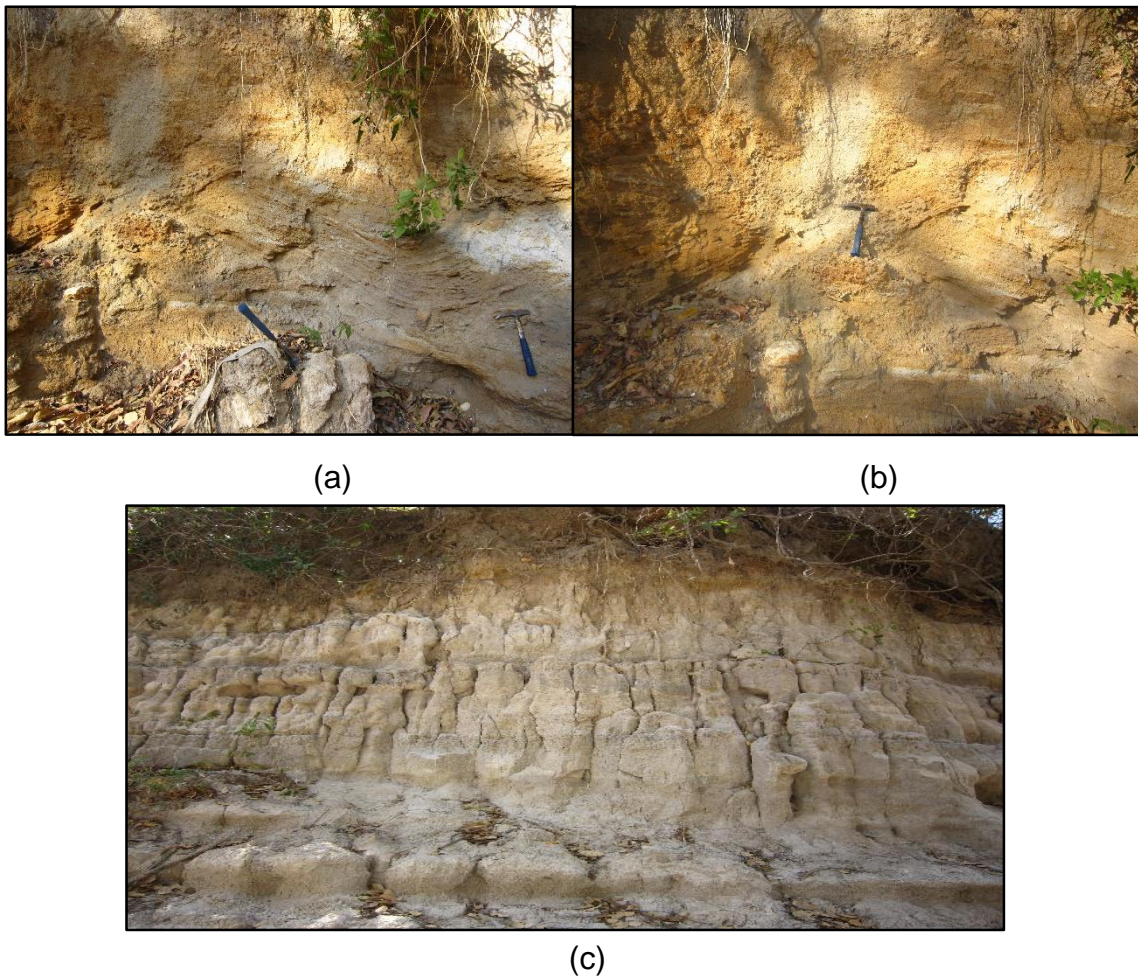


Figura 19. Afloramientos de la unidad Tobas blancas Liberia. (a) y (b) depósitos tipo “serge” en la quebrada Arena (380410/288364).

Capítulo 4: Geofísica

La prospección geofísica se realizó con el objetivo de determinar la distribución espacial de los materiales presentes en el área de estudio así como la profundidad del agua subterránea. Si bien Vargas et al. (2015) realizaron 11 SEVs dentro del área de estudio para el proyecto PROGIRH, se observaron algunas inconsistencias en el informe preparado, por lo que se decidió no utilizar esta información y realizar tomografías eléctricas para este trabajo.

En total se realizaron 7 tomografías eléctricas entre julio y agosto del 2017, la ubicación geográfica de estas se observan en la figura 20, aunque se intentó realizar algunas tomografías en las zonas con menos cantidad de pozos, tal como al suroeste y al noroeste no se obtuvieron los permisos necesarios para ingresar a las propiedades.

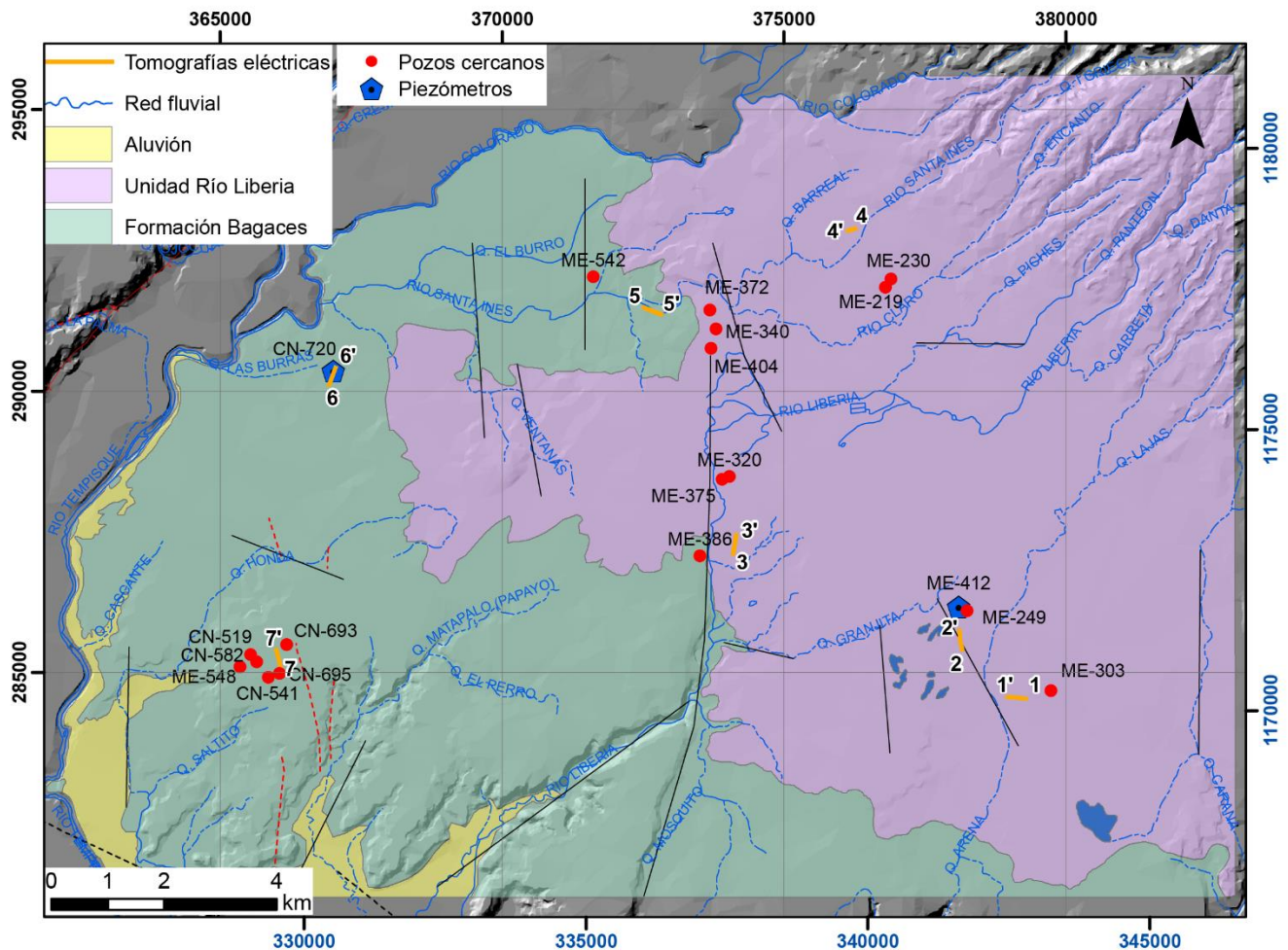


Figura 20. Mapa de ubicación de tomografías eléctricas.

Para la ejecución de las pruebas se utilizó el equipo TERRAMETER LS de la casa ABEM propiedad de la Escuela Centroamericana de Geología, mediante el método eléctrico Schlumberger, 6 de ellas se realizaron con una longitud de 400 m y una 200 m, con lo que se pudo obtener profundidades de investigación de aproximadamente 80 m y 33 m respectivamente; posteriormente se utilizó el software RES2DINV para la inversión de los datos, puesto que la topografía es muy plana esta no se incorporó en los modelos, la figura 21 muestra algunas fotografías de la realización de las tomografías.

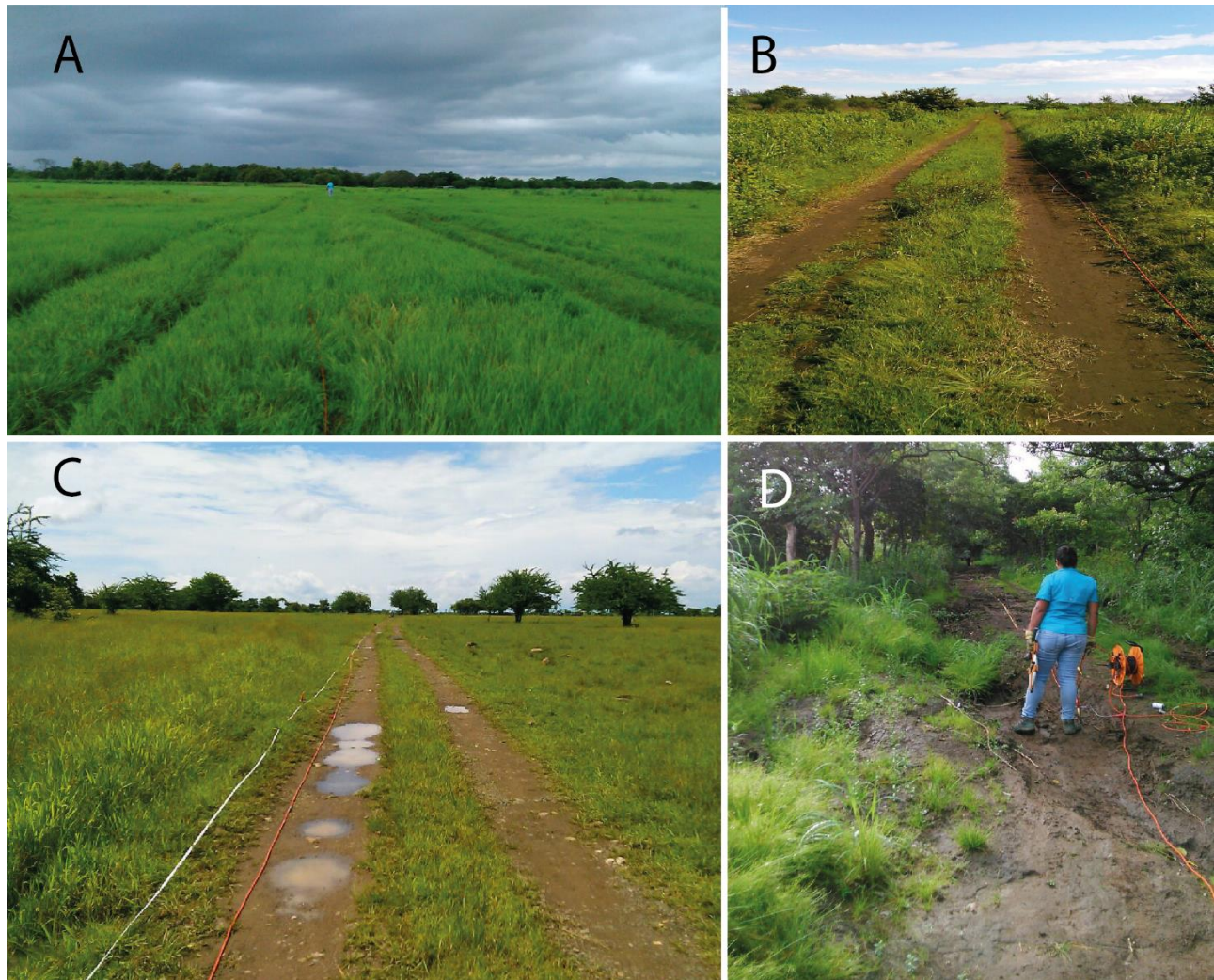


Figura 21. Tomografías eléctricas. A) tomografía 1, B) tomografía 2, C) tomografía 7 y D) tomografía 4.

Debido al objetivo de esta prospección geofísica es necesario contar con información previa para la correcta interpretación de las tomografías. Para ello se utilizó la información de pozos de la base de datos de SENARA cercanos a donde se realizaron las pruebas, además de los informes de perforación de 2 piezómetros contratados por el SENARA y construidos por la empresa Castro & DeLaTorre, los núcleos de perforación de estos piezómetros también fueron realizadas por Juan Pablo Solano (com. esc, 2017) como parte de su trabajo final de graduación, por lo que dicha información también fue considerada.

La tabla 6 indica el nivel del agua y la profundidad de los pozos más cercanos a la ubicación de las tomografías, es importante mencionar que en la mayoría de las ocasiones los pozos solo reportan un nivel final del agua, es decir, no se reporta como varió el nivel de agua durante la perforación, sin embargo debido a la ubicación de la rejilla en algunos casos puede asumirse que se trata de niveles confinados. La ubicación de estos pozos se puede observar en la figura 20 y la descripción litológica y demás detalles se encuentran en el anexo A.

Tabla 6. Detalle de pozos cercanos a tomografías eléctricas

Tomografía	Pozos más cercanos	NE (m)		Profundidad (m)	
1	ME- 249	25		55	
2	ME- 303	12		50	
	ME-412	6 y 71		152,3	
3	ME- 320	10		70	
	ME-375	4		120	
	ME-386	Prof (m)	Nivel (m)		148
		40	35		
98		70			
100		60			
148	60,1				
4	ME-219	13		90	
	ME-230	Prof (m)	Nivel (m)	82	
5	ME-340	23,4		90	
	ME-372	35		34	
	ME-404	43,9		67	
	CN-542	30		70	
6	CN-720	21		150	
7	CN-519	36,1		100	
	CN-541	43		90	
	CN-548	36,7		90	
	CN-582	45		80	
	CN-693	46		90	

4.1 Tomografía 1

Se ubica al SE del área de estudio (figura 21), su longitud es de 400 m con una separación de 10 m entre electrodos, su rumbo es este-oeste ubicado entre las coordenadas 284662 N – 284529 N y 379321 E – 378929 E.

La figura 22 muestra los resultados obtenidos, la primera imagen corresponde con la resistividad aparente medida, la segunda con la resistividad aparente calculada y la tercera con el modelo de resistividad. La inversión se realizó con un total de 6 interacciones, un error de 1,11% y alcanzó una profundidad de observación de 79,4 m. El pozo más cercano es el ME-303 el cual se encuentra a unos 400 m al noreste de la prueba, este únicamente tiene 50 m de profundidad, por lo que también los pozos ME-249 y ME-412, que se encuentran relativamente cercanos, se utilizaron para la interpretación.

En la parte superior de la pseudosección se observa una capa de 12 m de espesor promedio, con algunas secciones entre los 90 m y 190 m horizontales con profundidades de hasta 14,5 m aproximadamente, cuyas resistividades varían entre alrededor de 30 Ω m y 60 Ω m, esta capa es continua horizontalmente y se correlaciona con tobas arcillosas meteorizadas, las cuales podrían presentar distintos contenidos de humedad.

Por debajo de esta capa y hasta unos 40 m de profundidad se observan resistividades mayores que van desde 130 Ω m a 170 Ω m y hacia el oeste algunos lentes de hasta 240 Ω m aproximadamente, esta capa está asociada con tobas porosas pero no saturadas, el aire en las vesículas son la causa de la alta resistividad.

Entre los 130 m y 190 m se observan dos anomalías geofísicas debido a las variaciones laterales observadas en dos zonas, entre las cuales la resistividad desciende hasta los 112 Ω m y a una profundidad de 79,4 m, esto podría deberse a la presencia de una zona de mayor fracturamiento, asociada a una zona de falla la cual forma un graben, pero no llega a la superficie pues se encuentra rellena por la capa superior de tobas meteorizadas, sin embargo si se encuentran algunos rasgos geomorfológicos cercanos que indican que esta podría tratarse de una zona de falla, como se observa en la figura 20, además según las descripciones de Solano (com. esc., 2017) del piezómetro ME-412 existen zonas que presentan abundante fracturamiento. Hacia el Oeste, cerca de los 315 m horizontales se encuentra otra anomalía geofísica más pequeña posiblemente relacionada también con fracturamientos o por distintos grados de arcillitificación de la roca, asociada con la zona de falla.

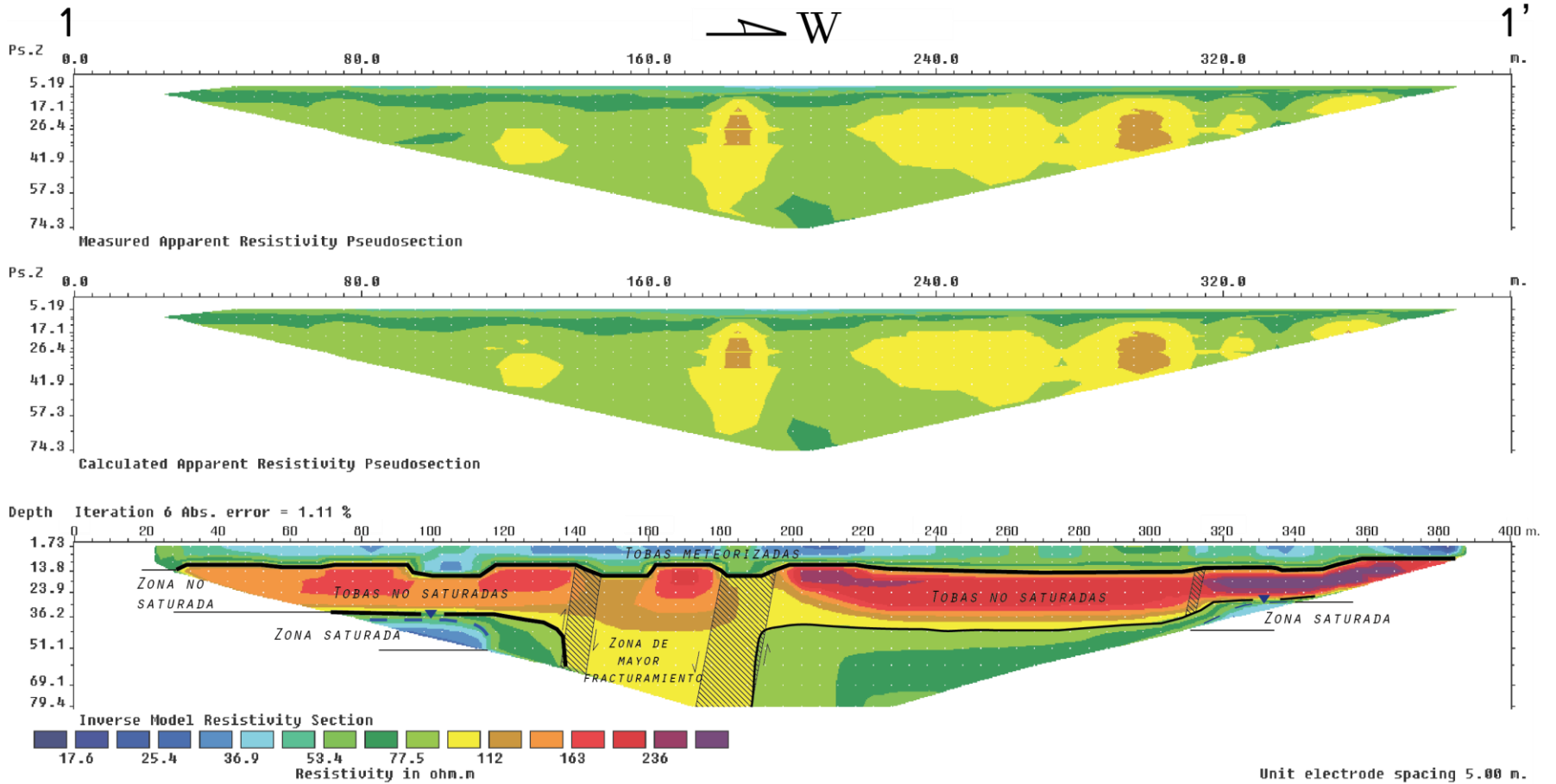


Figura 22. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 1.

Bajo la capa anteriormente descrita, al Este y al Oeste, hay una disminución en la resistividad que podría relacionarse con zonas saturadas con un nivel de agua cerca de los 40 m y 30 m al Este y Oeste respectivamente.

De acuerdo con la descripción de los pozos, las tobas de esta tomografía se asocian con la Unidad Río Liberia. Según la descripción del piezómetro ME-412 el contacto con la Formación Bagaces se encuentra a 60 m de profundidad, sin embargo no se observa un contraste claro en la tomografía para asociarlo con esta formación, posiblemente no se alcanzó el contacto o el contraste en resistividades es muy bajo al tratarse también de tobas de flujo.

4.2 Tomografía 2

Se ubica al noroeste de la tomografía 1, a unos 1400 m de distancia (figura 20), su rumbo es norte-sur y tiene una longitud de 400 m, con 10 m de separación entre electrodos, sus extremos se ubican en las coordenadas 285387 N – 285771 N y 378152 E – 378093 E.

La figura 23 muestra los resultados obtenidos, en este caso la inversión de los datos se realizó con un total de 4 interacciones con un error de 1,71% y se alcanzó una profundidad de 79,4 m. Al igual que la anterior la primera imagen corresponde con la resistividad aparente medida, la segunda con la resistividad aparente calculada y la tercera con el modelo de resistividad.

Los pozos cercanos a esta tomografía son el ME-249 y el piezómetro ME-412, los cuales se ubican a unos 300 m del extremo norte del último pin. A diferencia de la anterior esta tomografía tiene un rumbo Norte-Sur, casi paralelo a los patrones estructurales de la zona, por lo que estos no se van a observar anomalías de igual forma que en la tomografía 1.

La primera capa que se observa en la pseudosección se encuentra entre los 10 m y 200 m horizontales y su profundidad llega hasta alrededor de los 14 m, la resistividad de esta capa varía entre 80 Ω m y 133 Ω m y consiste en tobas superficiales las cuales presentan distintos grados de meteorización, las secciones con menor resistividad, de alrededor de 80 Ω m (color verde oscuro) podrían representar niveles colgados temporales.

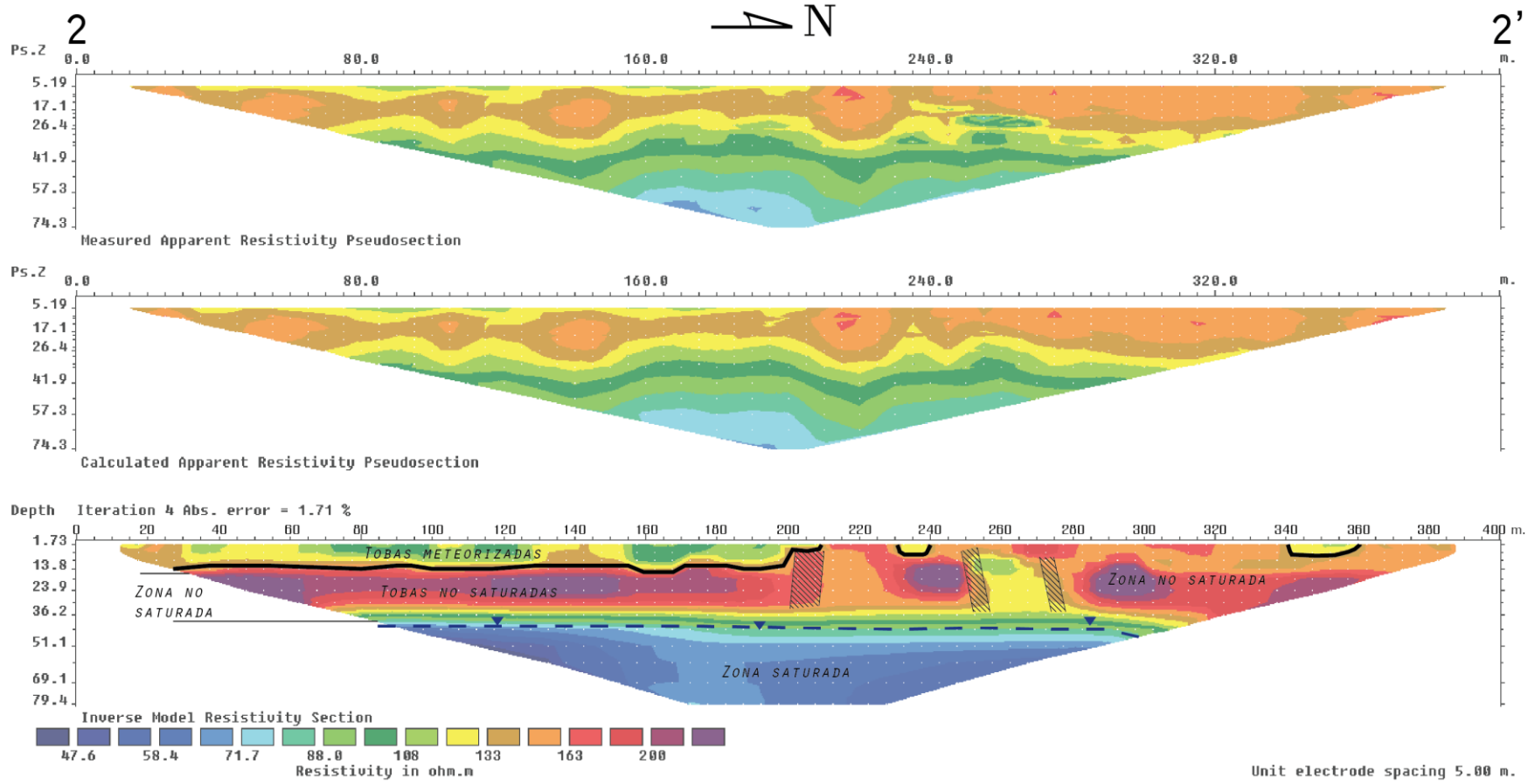


Figura 23. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 2.

Posteriormente se da un incremento en la resistividad que va desde los 160 Ωm a poco más de 200 Ωm , esta capa continua horizontalmente y tiene un espesor mínimo de 22 m al sur y máximo aproximadamente de 36 m al norte, estas se correlacionan con tobas porosas. La capa presenta algunas anomalías geofísicas debido a variaciones laterales las cuales podría deberse a fracturamientos, dureza o mineralizaciones, los lentes de mayor resistividad (rojo oscuro) se deben a una mejor condición física de la roca; las dos anomalías más al Norte se deben al relleno de paleorelieves por los flujos piroclásticos.

En la tercera capa hay una disminución en los valores de resistividad los cuales van desde alrededor de 50 Ωm a 100 Ωm , la profundidad a la que se encuentra es 36 m y es continua horizontalmente, esta capa se relaciona con una zona saturada la cual tiene un espesor máximo de 43 m en el centro de la tomografía.

Al igual que la primera tomografía, las tobas se correlacionan con la Unidad Río Liberia de la Formación Liberia y no se observa algún contacto que pudiese asociarse con la Formación Bagaces, la cual se encuentra a unos 60 m, según el piezómetro ME-412, posiblemente no existe suficiente contraste entre las unidades.

4.3 Tomografía 3

Esta se ubica al Suroeste de Santa Ana, tiene una longitud de 400 m y un espaciado entre electrodos de 10 m, su rumbo es N10E con los extremos ubicados en las coordenadas 287074 N – 287477 N y 374097 E – 374163 E. La inversión de los datos se realizó con 5 interacciones con un error de 0,59 % y se logró obtener una profundidad de 74,9 m.

En pozo ME- 386 es el más cercano a la prueba, se ubica a 570 m al Oeste de la misma, mientras que los pozos ME-320 y ME-375 se ubican a unos 1000 m al Noroeste, los tres pozos fueron utilizados en la correlación de la tomografía.

Los resultados se pueden observar en la figura 24, en la parte superior se observan resistividades que varían entre 50 Ωm y 60 Ωm las cuales representan niveles colgados que se encuentran en la capa superior, estos se extienden hasta los 270 m horizontales aproximadamente, estos se encuentran sobre una capa que va hasta alrededor de los 85 Ωm compuesta por tobas de la Formación Liberia.

La anomalía geofísica más al Suroeste presenta una inclinación de 25° aproximadamente la cual se interpreta como una variación litológica, es decir representa el contacto entre la formación Bagaces, al suroeste, y la formación Liberia al noreste, esto se debe al ángulo de inclinación de la anomalía y debido a la cercanía que contacto entre las formaciones. Las resistividades en ambos casos varían entre 100 Ωm y 130 Ωm pues debido a que se trata en ambos casos de flujos

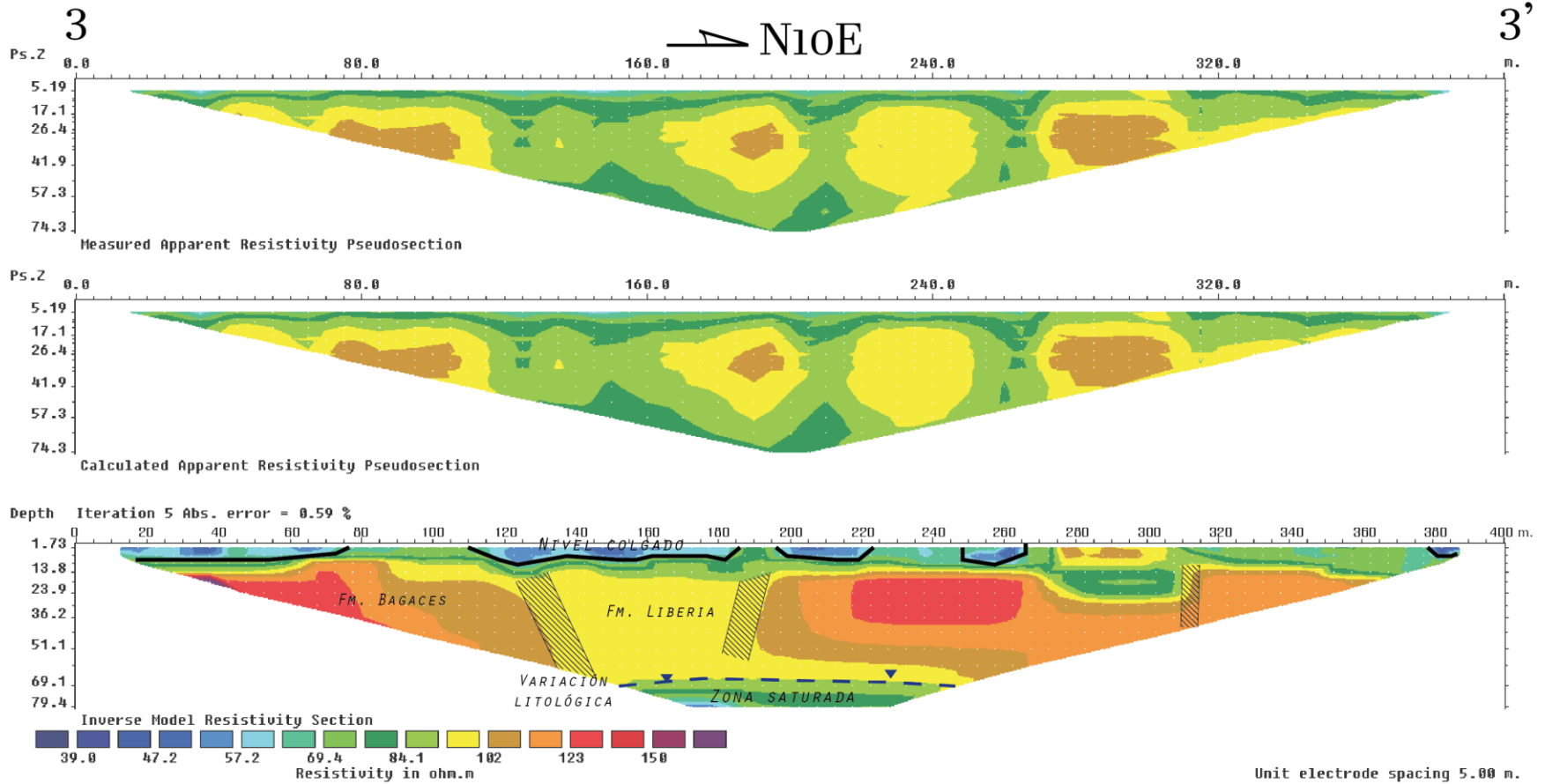


Figura 24. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 3.

piroclásticos, las anomalías hacia el noreste se deben a variaciones laterales en la Formación Liberia producto de grados de sanidad de la roca, fracturamientos o grados de arcillitificación.

Finalmente a una profundidad de aproximadamente 50 m se da una disminución en las resistividades que varía entre 50 Ω m y 70 Ω m la cual corresponde con una zona saturada, que se extiende hasta los 79 m.

4.4 Tomografía 4

Esta se realizó al noreste de la ciudad de Liberia, por limitaciones de espacio únicamente tiene 200 m de longitud, su rumbo S70W y sus extremos se ubican entre las coordenadas 292928 N – 292854 N y 376290 E – 376100 E. En esta ocasión la inversión de los datos se realizó con 6 interacciones obteniendo un error de 0,89% y se logró obtener una profundidad de 35 m aproximadamente.

Los pozos con información litológica más cercanos a esta tomografía se ubican unos 1100 m al sur (figura 20), de acuerdo con estos el espesor de la Formación Liberia es de alrededor de 70 m, por lo que se correlaciona la totalidad de esta pseudosección con tobas de la Unidad Río Liberia (figura 25). Las diferencias en las resistividades, que van desde los 120 Ω m hasta aproximadamente 286 Ω m se deben a variaciones en la condición física de la roca, las mejores condiciones se presentan en las secciones con mayor resistividad, mientras que la capa entre son 174 Ω m y 197 Ω m serían tobas con una condición física regular.

Entre los 20 m y 45 m horizontales y los 130 m y los 190 m a una profundidad de 9 m y 6,3 m respectivamente, se observan capas de menor resistividad, las cuales se extienden desde los 136 Ω m hasta los 154 Ω m las cuales consisten en zonas saturadas, a una profundidad de 32 m más o menos también hay una disminución en las resistividades que podría asociarse con un nivel de agua.

4.5 Tomografía 5

Se ubica al norte de Santa Ana y tiene una longitud de 400 m, con lo que se logró obtener una profundidad de observación de 79,4 m. Para la inversión de los datos se utilizaron 5 interacciones y se obtuvo un error de 0,93%. La tomografía tiene un rumbo S70E y se encuentra entre las coordenadas 291502 N – 291251 N y 372480 E – 372861 E.

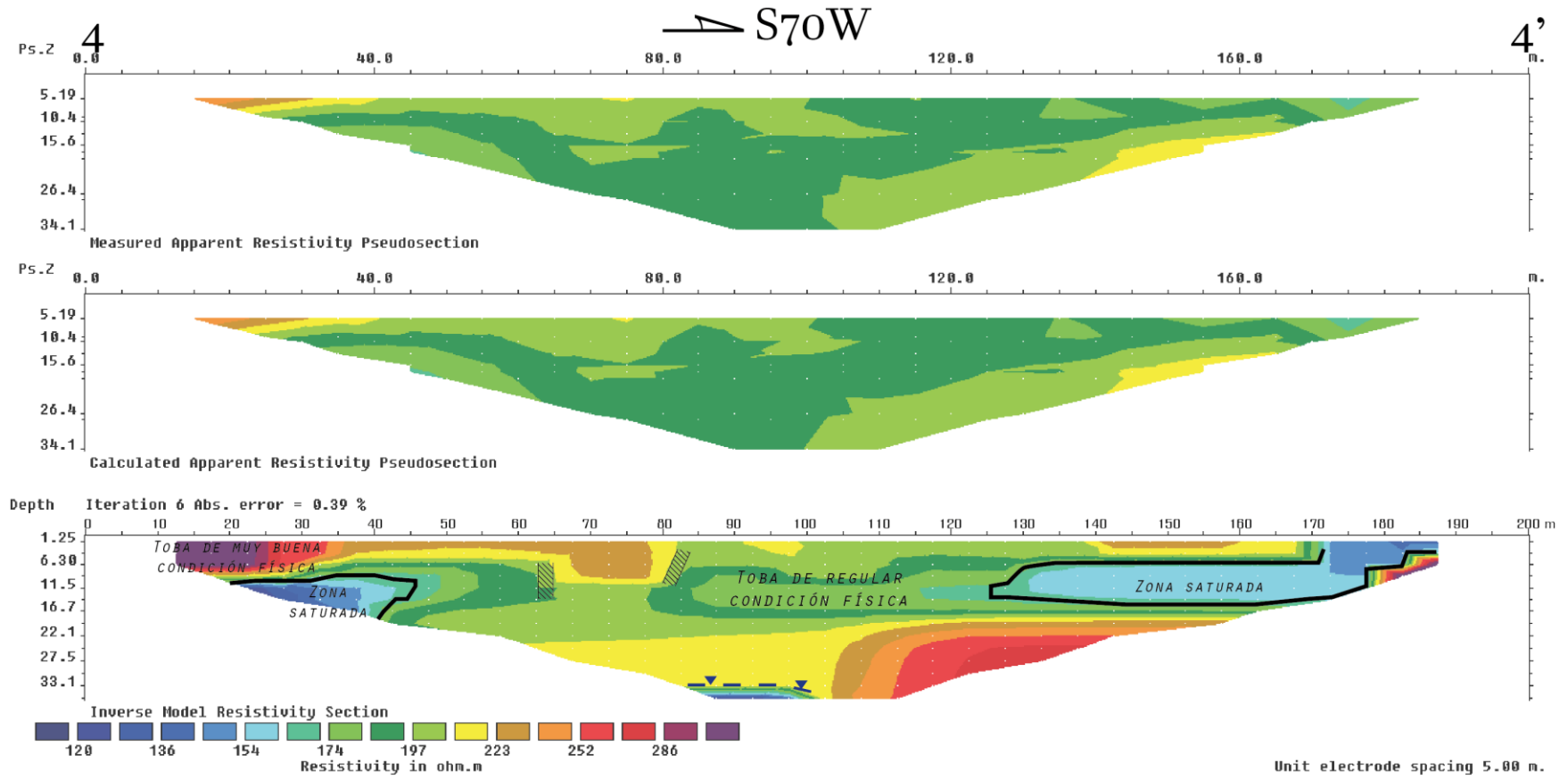


Figura 25. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 4.

Inicialmente se observa una capa de aproximadamente 14 m de espesor (figura 26), la cual se extiende horizontalmente y cuyas resistividades varían entre 121 Ω m y 187 Ω m, está se asocia con las facies distales de las tobas de la Formación Liberia, esta capa presenta anomalías geofísicas por variaciones laterales, al igual que en los casos anteriores, estas pueden deberse a los grados variables de sanidad de la roca, fracturamientos, mineralizaciones o grados de arcillitificación.

En la siguiente capa se da una disminución en las resistividades que ahora varían entre 50 Ω m y 90 Ω m aproximadamente, la capa se extiende desde los 14 m de profundidad hasta los 79,4 que en total tiene la pseudosección. Esta se correlaciona con las tobas de flujo de la Formación Bagaces, además cerca del contacto entre ambas formaciones se encuentra un nivel de agua somero (cerca de los 15 m), tal como se puede observar en la figura 26, la resistividad en este caso no presenta muchas variaciones, es bastante homogénea.

4.6 Tomografía 6

Esta tomografía se realizó en la Hacienda La Flor propiedad de la Universidad Earth, tiene una longitud de 400 m y el espacio entre electrodos es de 10 m. Su rumbo es N20E y sus extremos se localizan en las coordenadas 290076 N – 290436 N y 366925 E – 367062 E (figura 20).

A pocos metros de la ubicación de la tomografía se encuentra el piezómetro CN-720 el cual se utilizó para la correlación. Los resultados de la inversión de los datos muestran un medio constituido por 3 capas con resistividades variables (figura 27).

La capa superior tiene un espesor de alrededor de 15 m y se extiende horizontalmente en toda la pseudosección, las resistividades de esta se encuentran entre un rango de 59 Ω m y 80 Ω m, las cuales se deben a heterogeneidades en el medio.

La capa que subyace la anterior tiene un espesor de 21 m, su piso se encuentra aproximadamente a los 36 mbns., sus resistividades varían entre 28 Ω m y 50 Ω m, esta correspondería con una zona saturada, la cual podría deberse, según la descripción del piezómetro, a una sección de mayor fracturamiento la cual permitiría el almacenamiento del agua subterránea.

La última capa se extiende desde los 36 m hasta los 79,4 m de profundidad y las resistividades varían entre 69 Ω m y 80 Ω m, el aumento en las resistividades podría deberse a un menor contenido de arcillas.

De acuerdo con la información del piezómetro estas 3 capas se correlacionan con tobas de flujo de la Formación Bagaces.

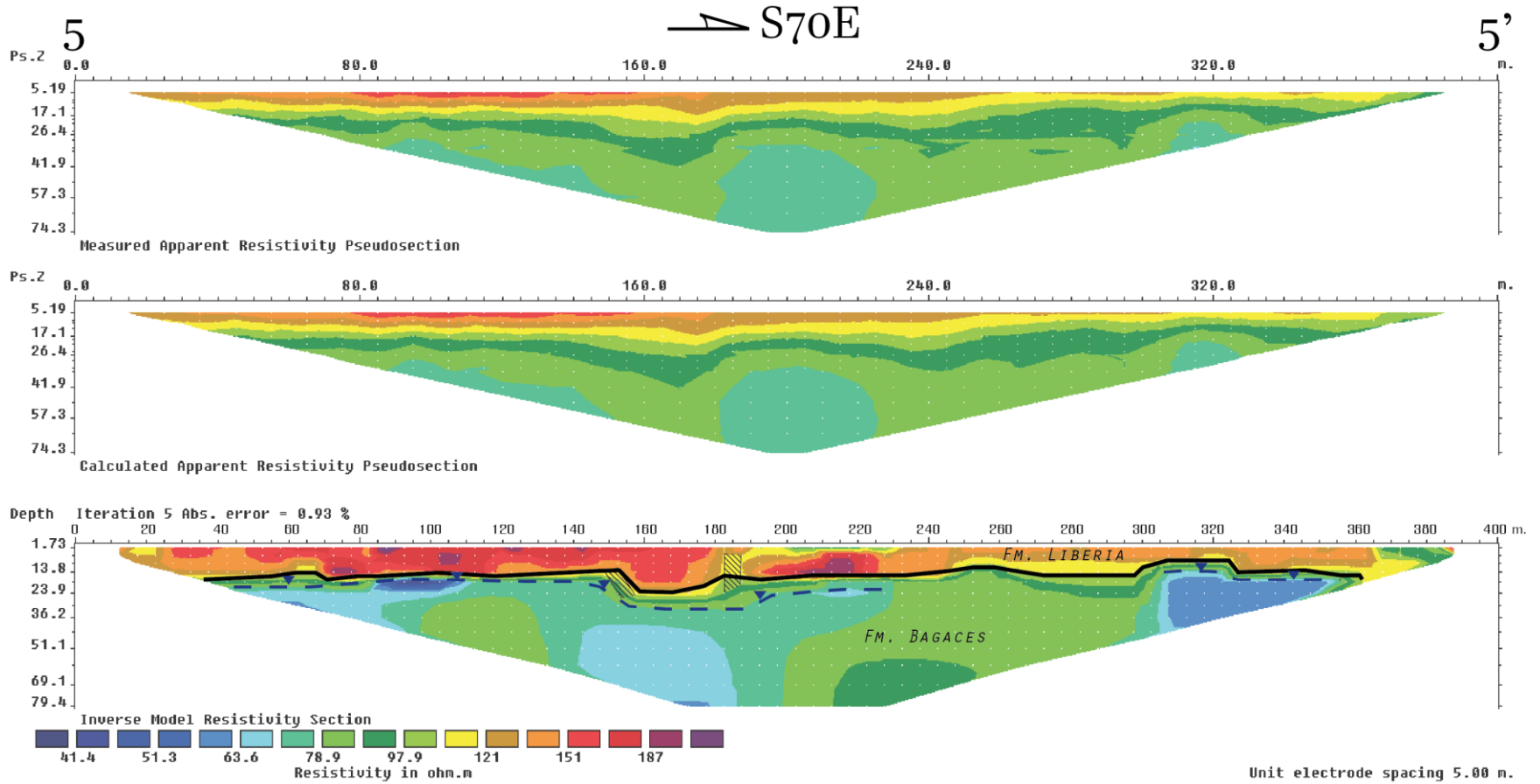


Figura 26. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 5.

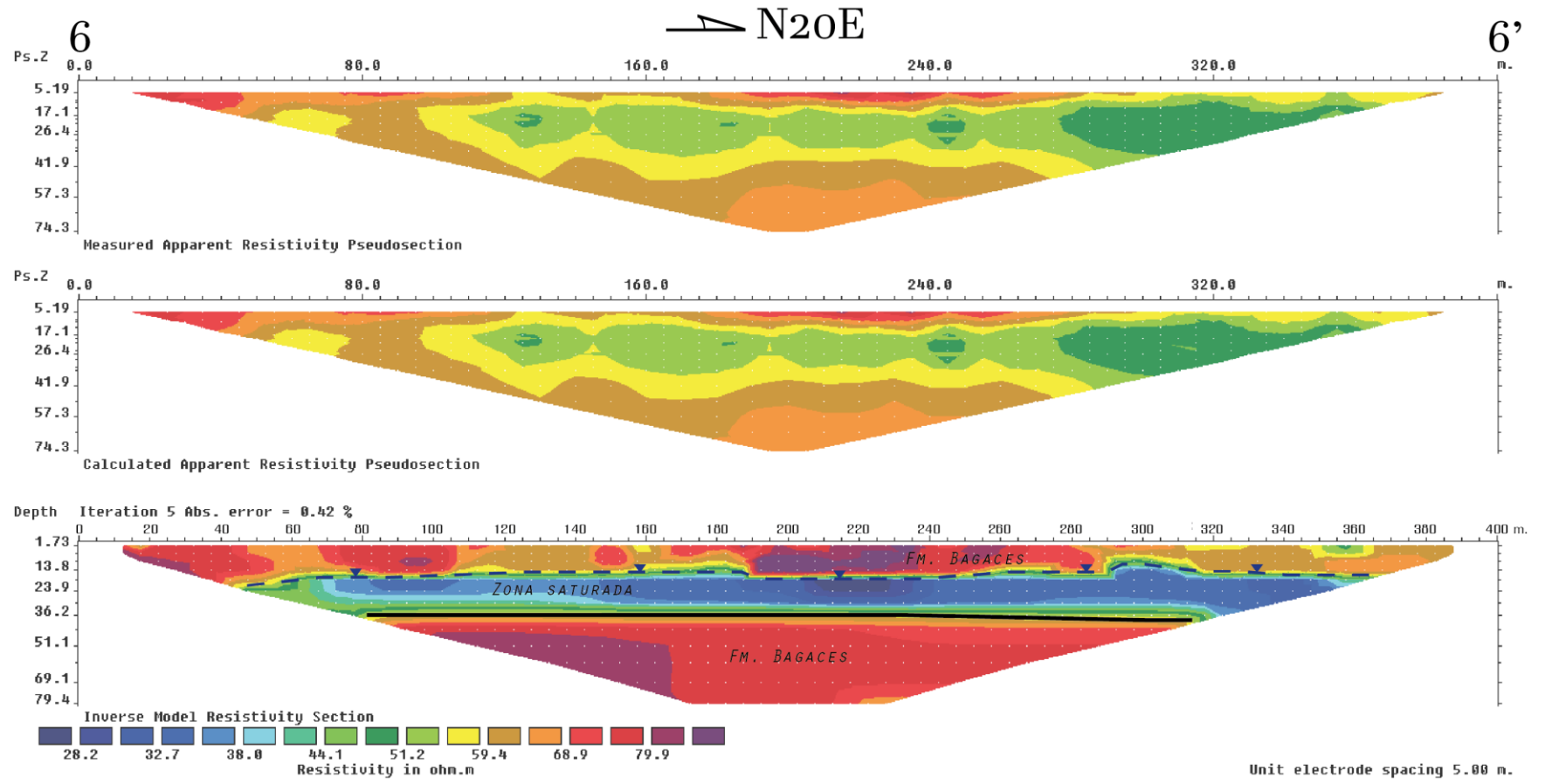


Figura 27. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 6.

4.7 Tomografía 7

Finalmente esta tomografía se ubica al suroeste del área de estudio, en una propiedad frente al Aeropuerto Internacional Daniel Oduber. Su rumbo es N13W y sus extremos se ubican en las coordenadas 285054 N – 285419 N y 366089 E – 365988 E (figura 20). En este caso la inversión de los datos se realizó con 7 interacciones y tiene un error de 0,71%.

De acuerdo a los resultados en la parte superior se observan dos capas con valores de resistividad entre los 97 Ωm y los 199 Ωm , la profundidad alcanza los 6 m y podría tratarse de ignimbritas fracturadas no rellenas. La capa subyacente presenta resistividades entre 16 Ωm y 40 Ωm , la cual correspondería con ignimbritas fracturadas pero con un mayor contenido de arcillas en sus fracturas lo que podría implicar cierto nivel de humedad, por lo que se interpreta esta como un acuitardo, el piso de este se ubicaría a los 20 m.b.n.s.

La siguiente capa se ubica entre los 20 m y 69 m de profundidad y las resistividades se encuentran entre 97 Ωm y 140 Ωm , esta presenta algunas variaciones lenticulares relacionadas con la condición física de los flujos piroclásticos de la Formación Bagaces.

La capa inferior presenta una disminución en los rangos de resistividad, los cuales se encuentran entre los 33 Ωm y 68 Ωm , esta se trataría de una zona saturada cuyo techo se ubicaría a los 69 m de profundidad y su espesor mínimo es de 10 m.

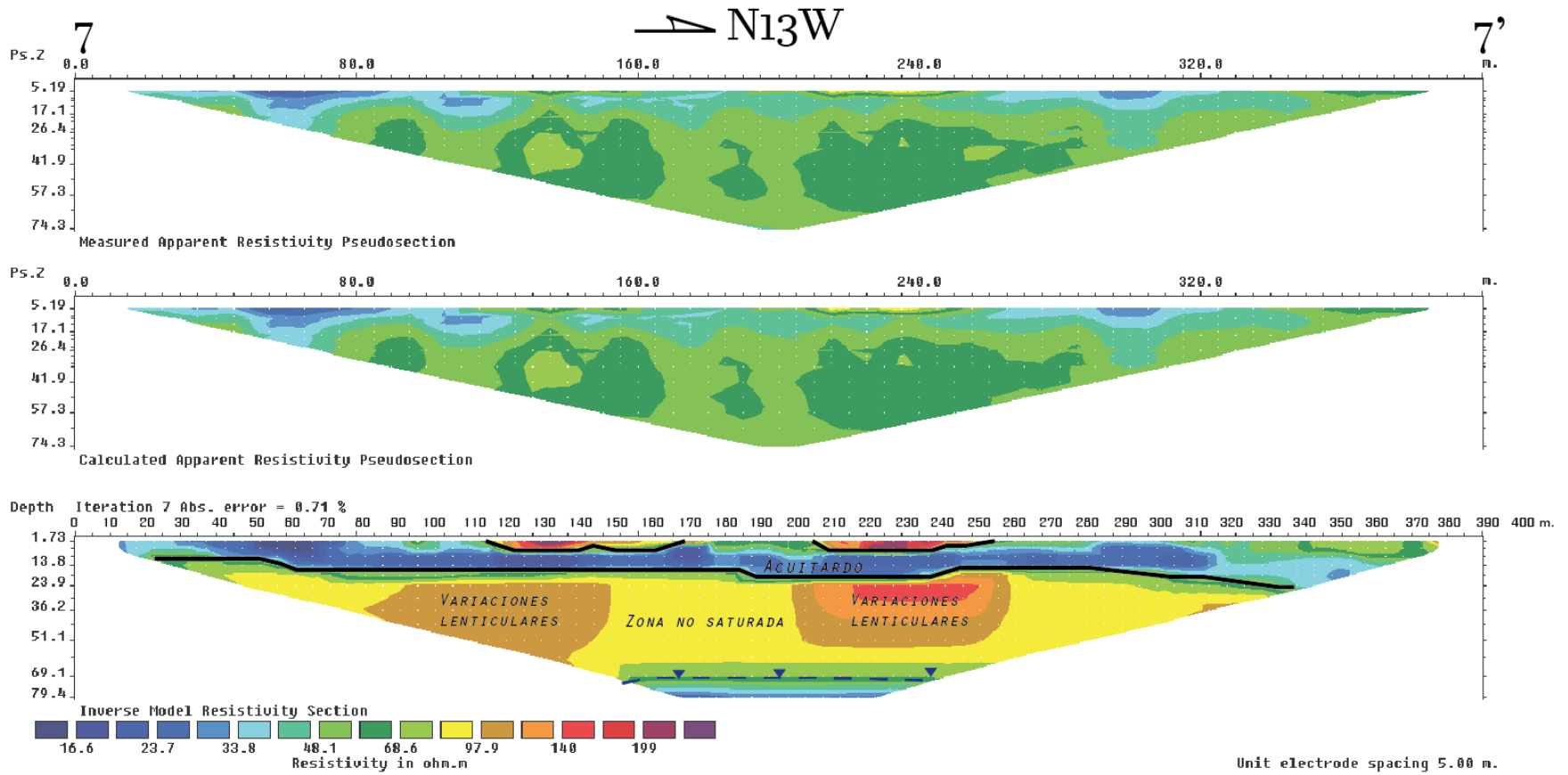


Figura 28. Pseudosección eléctrica e interpretación de tomografía 6.

Análisis general de las tomografías

Los resultados de las tomografías eléctricas muestran un medio compuesto por tobas de flujo relacionadas con la Formación Bagaces y la Formación Liberia, sin que haya un contraste significativo entre los flujos piroclásticos de ambas formaciones, tampoco fue posible encontrar capas correlacionables con la lavas de la Formación Bagaces.

En general se observan muchas variaciones en los rangos de resistividad de una misma capa, producto de las heterogeneidades propias de los flujos, así como por variaciones en las condiciones físicas de las rocas, las cuales condicionan el flujo del agua subterránea.

La tabla 7 muestra un resumen de los resultados obtenidos. Las resistividades menores se correlacionaron con zonas saturadas o con la presencia de arcillas o humedad que propiciaría el flujo de la corriente eléctrica. Fue posible identificar algunas estructuras geológicas con base en las anomalías geofísicas, como lo son zonas de mayor fracturamiento posiblemente relacionadas con una zona de falla y el contacto inclinado entre la Formación Bagaces y Liberia.

Tabla 7. Resumen de rangos de resistividad y su correlación en tomografías realizadas

Tomografía	Capa 1 [Ωm]	Correlación	Capa 2 [Ωm]	Correlación	Capa 3 [Ωm]	Correlación
1	30-60	Tobas arcillosas	112	Zona de falla	> 130	Tobas no saturadas
2	50-100	Zona saturada	80-133	Tobas Liberia meteorizadas	160-200	Tobas no saturadas
3	50-70	Zona saturada	100-130	Tobas Liberia	100-130	Tobas Bagaces
4	120-154	Zona saturada	174-197	Tobas Liberia, cond. física regular	>200	Tobas Liberia, cond. física buena
5	50-90	Tobas Bagaces saturadas	121-187	Tobas Liberia	-	-
6	28-50	Tobas meteorizadas Bagaces	59-80	Tobas Bagaces	-	-
7	16-40	Tobas Bagaces fracturadas con arcilla	33-68	Zona saturada	97-199	Tobas Bagaces

En cuanto al nivel del agua este es variable, se lograron identificar algunas zonas de mayor humedad a relativamente poca profundidad y en algunas tomografías otros niveles más profundos que varían entre aproximadamente 40 m (tomografía 1 y 2) y 70 m (tomografía 3 y 7).

Algunas dificultades que limitaron la cantidad de tomografías que se pudieron realizar son: la época en la cual se realizaron, ya que coincidió con el invierno, por lo que normalmente todos los días llovía, además debe mencionarse la dificultad para encontrar sitios idóneos para realizar las tomografías ya que era necesario encontrar rectas de 400 m con bajo flujo vehicular o sin cruce con otras calles o entradas a propiedad pues el equipo tarda unas 2 horas en realizar las mediciones, no se contó con permiso para entrar en algunas propiedades, como al sur del área que es la zona con menor cantidad de pozos.

Capítulo 5: Hidrogeología

5.1 Recarga potencial

El volumen de agua que potencialmente recarga anualmente el área de estudio se calculó mediante la metodología de Schosinsky (2006), descrita de manera general en la sección 2.2. Esta metodología permite estimar la recarga potencial del acuífero con base en datos relativamente fáciles de obtener, además es ampliamente utilizada en los estudios hidrogeológicos del país, pues esta oficializada por el MINAE tal como se mencionó anteriormente.

De acuerdo con Ramírez (2014) en el país normalmente la metodología se aplica asignando a áreas que tengan la misma litología o igual tipo de suelo los parámetros sugeridos por Schosinsky (2006), para posteriormente realizar los cálculos de la precipitación que infiltra y la recarga potencial, con la desventaja de que los valores obtenidos son promedios por área de igual litología. Además puesto que se trabaja por polígonos normalmente se realizan generalizaciones que podrían sobreestimar o subestimar la recarga total obtenida, por lo que es importante una elección adecuada de los polígonos y los parámetros a utilizar.

Con el fin de lograr mayor exactitud en el método, el balance se realizó con el software ArcGIS, para ello se generaron mapas con los parámetros de entrada en formato raster, utilizando celdas de 20 x 20 metros para un total de 655265 pixeles, posteriormente se utilizó la herramienta “*Algebra de Mapas*” la cual permite realizar análisis de archivos raster que se encuentren en el mismo espacio geográfico de los que se puede obtener información derivada. En este caso se realizaron operaciones matemáticas sencillas como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones, de acuerdo a las fórmulas de la metodología de Schosinsky, de esta manera se obtuvieron mapas mensuales de recarga potencial, además esta metodología permitió identificar áreas con mayor o menor recarga. El volumen se calculó utilizando el valor del pixel y una grilla de área conocida, normalmente 50 m x 50 m, excepto en los bordes.

La tabla 8 muestra los parámetros utilizados para la aplicación del método y la fuente de los mismos.

Tabla 8. Fuente de parámetros utilizados para balance hídrico de suelos.

Parámetros necesarios	Fuente	
Coefficiente de follaje y fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (Cfo y Kv)	Mapa de uso de suelo	Elaboración propia (fotos Google 2018)
Precipitación, temperatura, brillo solar, humedad, velocidad del viento, radiación.	Estaciones meteorológicas	IMN
Coefficiente de infiltración (Kfc)	Pruebas de infiltración	Vargas et al. (2015)
Fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Kp)	Curvas de nivel (1:25000)	Proyecto Terra
Capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente (CC, PM y DA)	Análisis de suelos	Vargas et al. (2015)
Profundidad de las raíces	Mapa de uso de suelo y observaciones de campo	

5.1.1 Precipitación y Temperatura

El IMN cuenta con dos estaciones meteorológicas en la zona de estudio, sin embargo estas se encuentran relativamente cerca una de la otra (figura 29). La estación Llano Grande (7420) es una estación mecánica y cuenta con un registro de precipitaciones de 39 años (1975-2014) y de temperatura de 36 años (1976-2012), mientras que la estación Aeropuerto Internacional Daniel Oduber (7451) es automática y cuenta con registro de precipitaciones y temperatura de 16 años (1999-2015). Se cuenta además con valores de humedad, velocidad del viento, presión, brillo solar, radiación y evaporación tanque, sin embargo estos datos no son homogéneos pues abarcan distintos rangos de tiempo. La información completa se encuentra en el anexo B.

El gráfico 1 muestra los valores de precipitación y temperatura promedio mensual, el comportamiento general de la precipitación es similar en ambas estaciones variando ligeramente en la cantidad, esta es mayor en la estación Llano Grande excepto en abril y octubre. También se puede apreciar en el gráfico 1 que la estación seca se extiende desde diciembre hasta abril cuando inicia el período de lluvia, los meses más secos corresponden con enero y febrero. La época lluviosa se extiende desde mayo hasta noviembre con un descenso en las precipitaciones los meses de julio y agosto, los meses más lluviosos corresponden con setiembre y octubre.

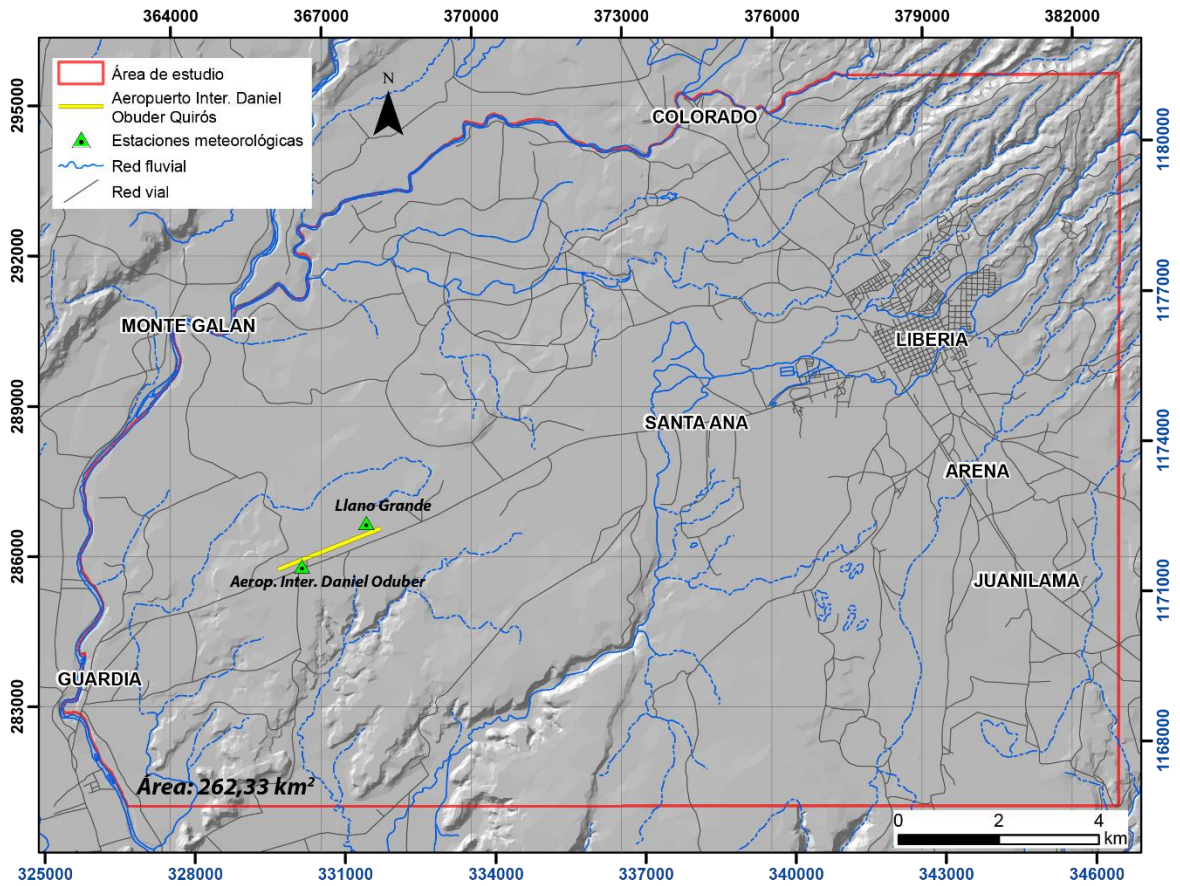
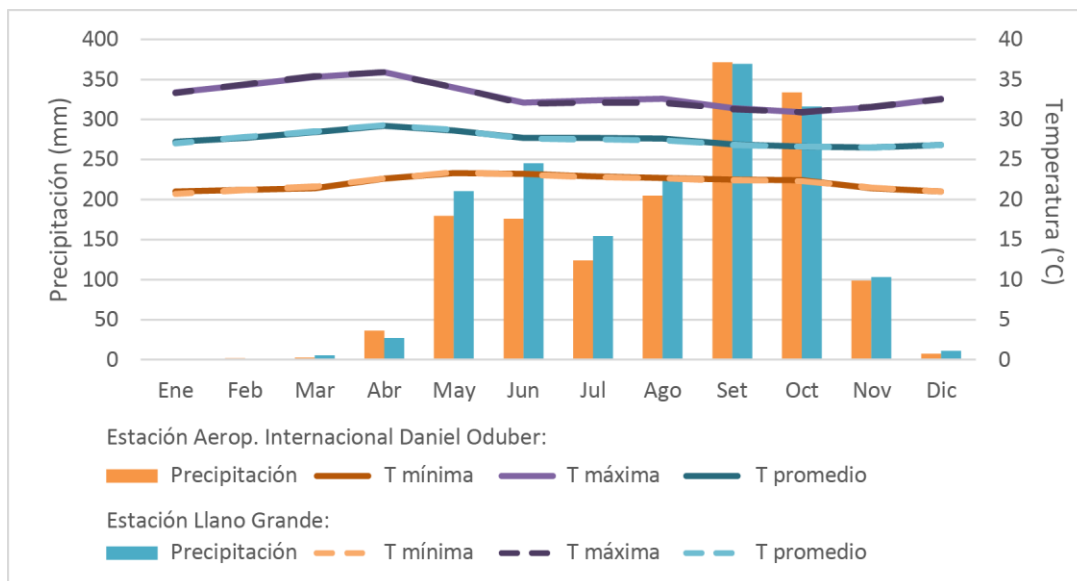


Figura 29. Ubicación de estaciones meteorológicas del IMN en la zona de estudio.

Gráfico 1. Variación mensual de la precipitación y temperatura en las estaciones ubicadas en el área de estudio.



Los promedios de temperatura son similares en las estaciones, hay un ligero aumento de los valores durante la época seca con un máximo en el mes de abril, la temperatura mínima se encuentra entre 21 °C y 23,4 °C, la promedio entre 26,5 °C y 29,3 y la máxima entre 30,9 °C y 35,9 °C.

La precipitación anual promedio es de 1670,8 mm y 1537,4 mm en la estación Llano Grande y Aeropuerto Internacional Daniel Oduber respectivamente, si transformamos estos datos en valores de volumen tenemos que la precipitación total para el área de estudio es de 13,9 m³/s en el caso de la primera estación y 12,8 m³/s en el caso de la segunda (tabla 9).

Dado que la diferencia de precipitación es relativamente poca y la tendencia de la misma es similar en ambas estaciones, además debido a la cercanía entre ambas estaciones se utilizó únicamente los datos de la estación Llano Grande para el cálculo de la recarga potencial, puesto que cuenta con un registro mayor y se asume como representativo de la precipitación promedio de la zona de estudio.

Tabla 9. Cálculo de precipitación total en el área de estudio.

Polígono	Años de registro	Área (km ²)	Prom. Anual de precipitación (mm)	Precip. total (l/año)	Precip. total (m ³ /s)
Aerop. Internacional Daniel Oduber	16	262,33	1537,4	4,03306 x 10 ¹¹	12,8
Llano Grande	39		1670,8	4,38301 x 10 ¹¹	13,9

5.1.2 Uso de suelo

El mapa de uso de suelo se elaboró con base en imágenes satelitales de enero del 2018 de Google Earth, las categorías utilizadas se ajustaron a la propuesta de Schosinsky (2006), se incluyó además algunas zonas reforestadas con base en observaciones de campo y cuerpos de agua, en la figura 30 se pueden observar algunos ejemplos del uso del suelo. Mientras que el mapa con su distribución se puede observar en la figura 31.

La distribución porcentual del uso de suelo se puede observar en el grafico 2, como se observa en el mismo la mayor parte del área de estudio es cubierta por pastos, los cuales también contienen árboles aislados, representando un 56,88% del total (149,2 km²). Los sectores clasificados como bosques cubren un área de 72,3 km², se encuentran generalmente en los bordes de los ríos y quebradas, se incluyeron también algunas zonas con mayor acumulación de árboles; se separaron algunas

zonas reforestadas con teca con base en observaciones de campo y correlaciones en las imágenes, esto con el objetivo de asignar un valor diferente a la profundidad de las raíces, estas zonas cubren unos 8 km². Los sectores dedicados a la agricultura resaltan sobre todo al noroeste del área cubriendo alrededor de 19,4 km² donde la caña y el arroz son el principal cultivo. Se incluyeron algunos cuerpos de agua que corresponden con algunas lagunas pequeñas y algunas partes del cauce del río Tempisque, estos cubren tan solo 0,4 km². Finalmente la zona urbana cubre 13 km², la mayor parte corresponde con la ciudad de Liberia y se incluyen también algunos poblados pequeños a lo largo de las rutas principales.



Figura 30. Fotografías del uso del suelo. A) Zona reforestada con teca (izquierda de la fotografía), B) pasto con árboles aislados, C) pasto con bosque al fondo, D) imagen aérea de una parte de la ciudad de Liberia.

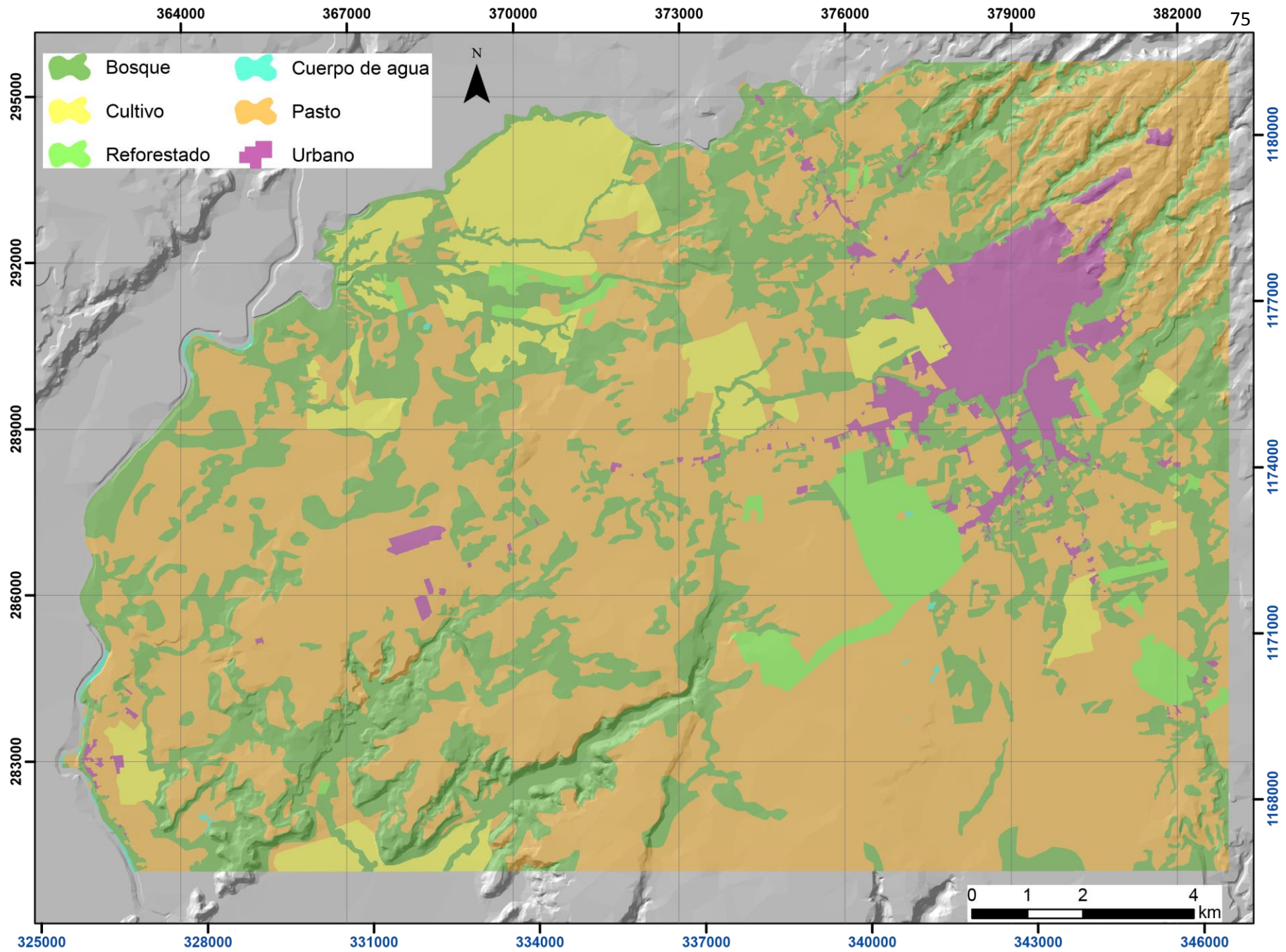
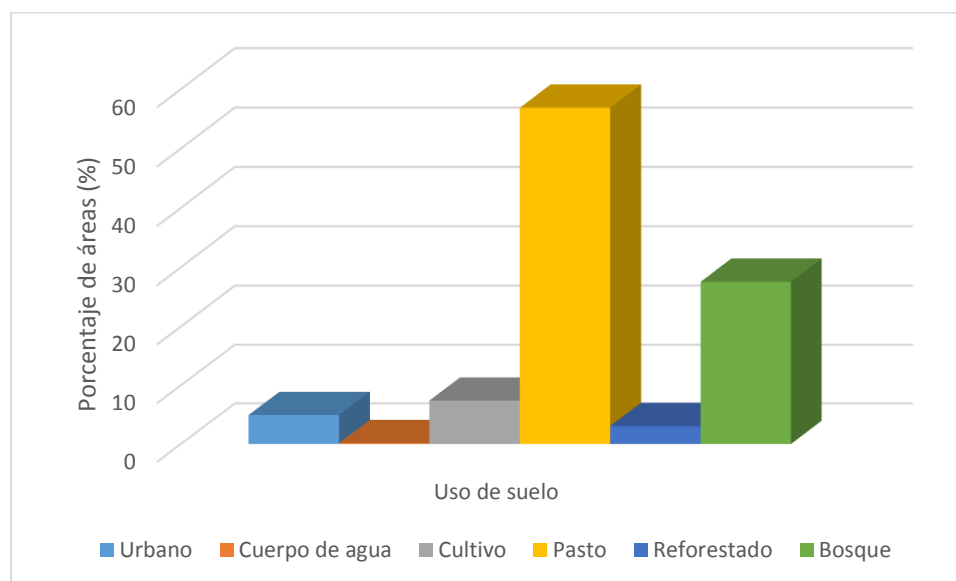


Figura 31. Mapa de uso de suelo del área de estudio. Elaboración propia con base en imágenes satelitales de Google Earth del 2018.

Gráfico 2. Distribución porcentual del uso de suelo en la zona de estudio.



Una limitación de esta metodología es que no toma en cuenta la recarga que se da en zonas urbanas, por lo que normalmente se asigna valores de 0 y se considera que no hay recarga (por ejemplo: Ramírez, 2014; López, 2015; Obando, 2018, entre otros). Sin embargo, tomando en cuenta que Liberia no es una ciudad tan densa como otras ciudades del Valle Central (figura 30), se asumieron algunos valores con el fin de asignar un valor de recarga en parques, patios y sectores donde no domina la infraestructura dentro de la zona urbana, pero que no se separaron debido a la escala de trabajo. En la mayoría de los casos se asumió un 30% del valor promedio de los coeficientes, cada caso se detallara en los siguientes apartados.

5.1.3 Fracción de lluvia que es interceptada por el follaje

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje se debe asignar el coeficiente de follaje (Cfo), de acuerdo con Schosinsky (2006) este se define como el porcentaje de lluvia mensual que es retenido por el follaje, expresado en tanto por uno, este tiene un valor de 0,2 para bosques muy densos y 0,12 para toda la cobertura vegetal que no se bosque. Para la zona urbana se asignó un valor de 0,05 el cual corresponde con un 30% del valor promedio de 0,12 y 0,2. En el caso de los cuerpos de aguas se utilizó una valor de 0 al considerarse este sin cobertura vegetal (figura 32).

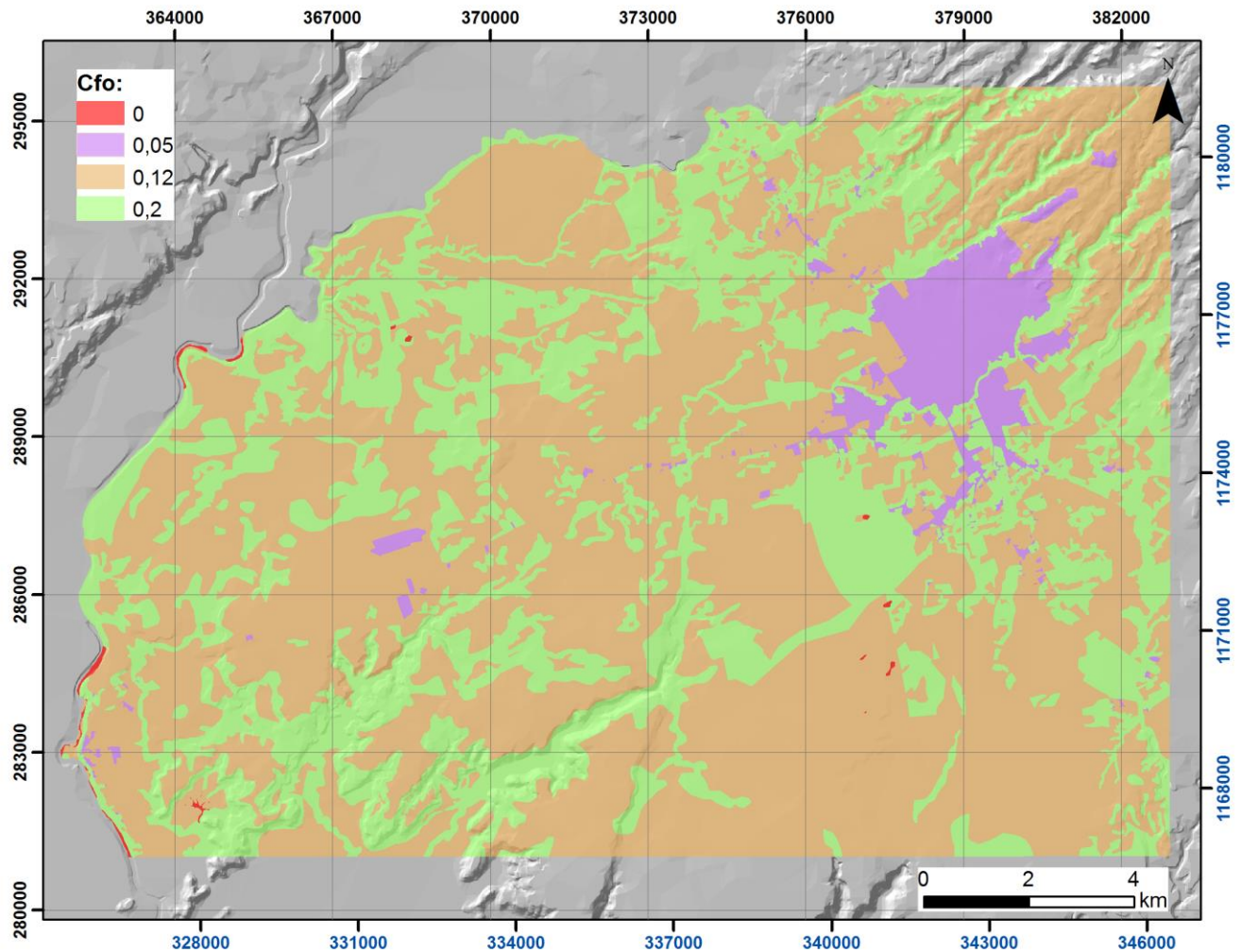


Figura 32. Mapa de coeficiente de follaje (Cfo) en el área de estudio.

Una vez que se tienen los valores de precipitación y Cfo Schosinsky (2006) establece las siguientes condiciones:

- Si $P \leq 5$ mm/mes, entonces $Ret = P$,
- Si $(P)(Cfo) \geq 5$ mm/mes, entonces $Ret = (P)(Cfo)$,
- Si $P > 5$ mm/mes y $(P)(Cfo) < 5$, entonces $Ret = 5$,

donde:

P = Precipitación mensual del mes [mm/mes]
 Ret = Retención de lluvia por follaje [mm/mes]
 Cfo= Coeficiente de retención por follaje

Para realizar el cálculo se elaboraron mapas mensuales de precipitación en formato raster los cuales se multiplicaron por el mapa raster de Cfo de acuerdo a las condiciones anteriores, de esta manera se obtuvieron 12 mapas de Ret.

Existe una variación espacial debido a la distribución de la vegetación, donde las zonas boscosas presentan los valores mayores, mientras que los valores menores se presentan en la zona urbana y los cuerpos de agua. La figura 33 muestra el mapa de retención anual, es decir la suma de los 12 mapas mensuales, en este se puede observar que en los bosques la retención se encuentra entre 246 mm/año y 342,9 mm/año, en los pastos y cultivos varía entre 149,3 mm/año y 246 mm/año mientras que en la zona urbana se encuentra entre 52,5 mm/año y 149,3 mm/año. La retención anual por follaje representa un 15% de total de precipitaciones.

Durante los meses de diciembre a marzo los valores de Ret son bajos pues hay poca precipitación, entre enero y marzo prácticamente toda el agua es retenida por el follaje pues esta es menor que 5 mm/mes. Los valores empiezan a aumentar a partir de abril con el inicio de la época lluviosa, con valores máximos en setiembre y octubre y disminuyen a partir de noviembre.

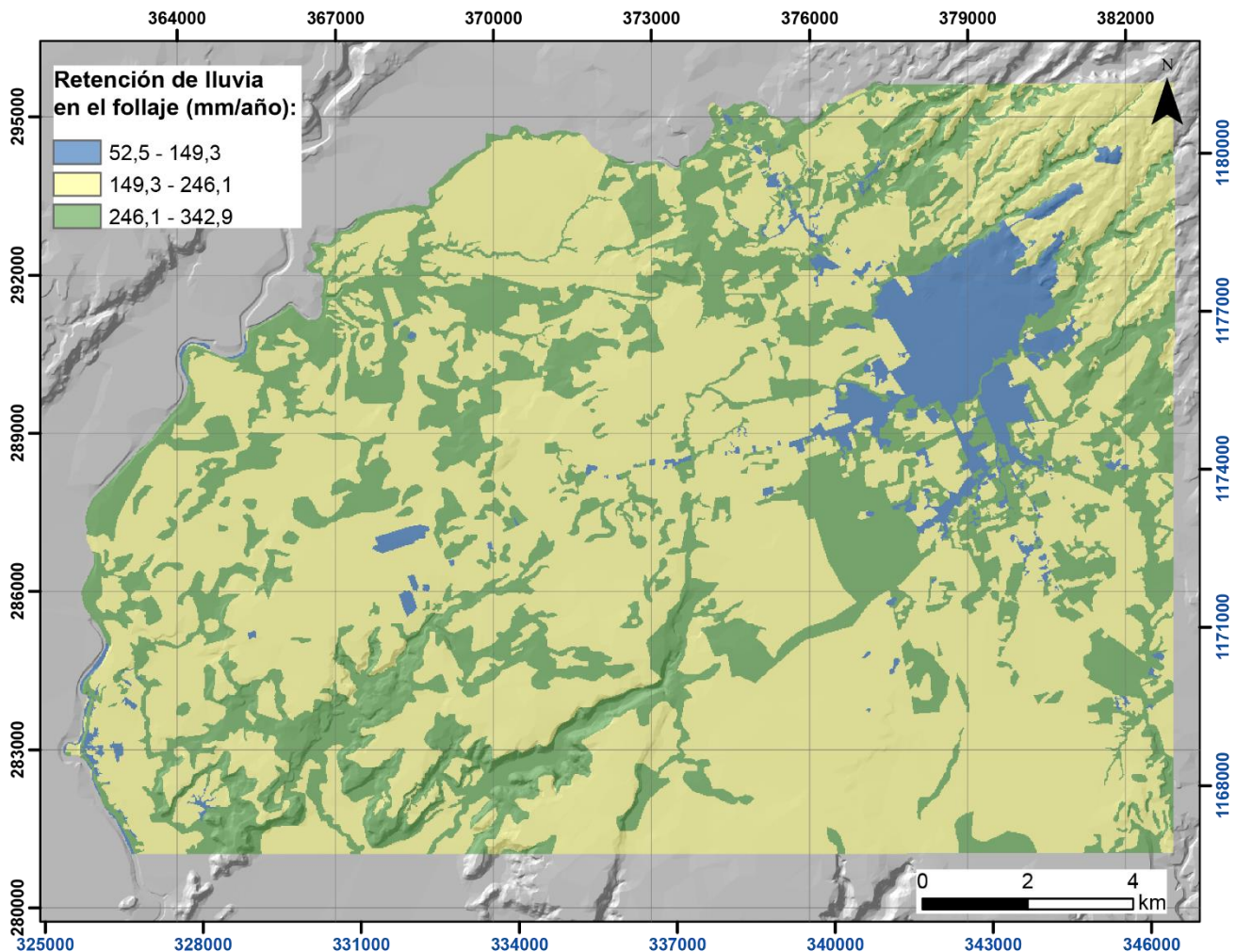


Figura 33. Mapa anual de retención de lluvia en el follaje (Ret).

5.1.4 Infiltración

Para calcular la precipitación que se infiltra mensualmente en el suelo es necesario determinar el coeficiente de infiltración (C_i), este es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo (Schosinsky, 2006). Para ello se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Schosinsky & Losilla (2000):

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

donde:

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional]

K_p = Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal [adimensional]

K_v = Fracción que infiltra por efecto de la pendiente [adimensional]

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional]

→ Fracción que infiltra por textura del suelo (K_{fc}):

Para calcular el K_{fc} Schosinsky & Losilla (2000) establecen:

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

donde:

f_c [mm/día] = Infiltración básica del suelo.

Los valores de infiltración fueron tomados de Vargas et al. (2015) quienes realizaron pruebas de infiltración con el método de doble anillo para el SENARA como parte del proyecto PROGIRH. En total dentro del área de estudio y en las cercanías se realizaron 17 pruebas, su ubicación se muestra en la figura 34. Los valores de infiltración varían entre 167 mm/día y 5294 mm/día, todos ellos se encuentran sobre 16 mm/día y 6 superan los 1568 mm/día por lo que tienen un valor de K_{fc} de 1, la tabla 10 resume los resultados de cada prueba, en el anexo C se encuentra los resultados completos.

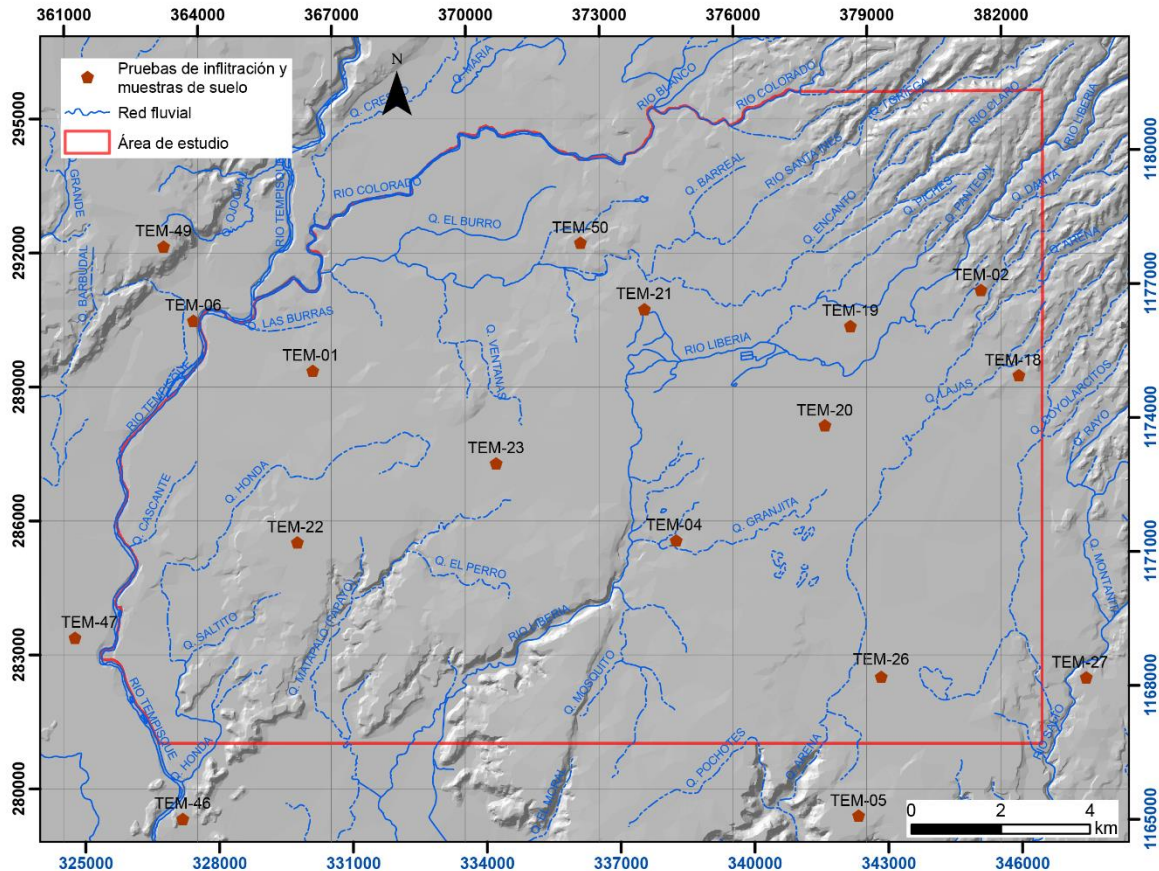


Figura 34. Ubicación de las pruebas de infiltración y muestras de suelos. Tomado de Vargas (2015).

Tabla 10. Valores de Infiltración y K_{fc} obtenidos. Tomado y modificado de Vargas et al. (2015).

Código	Norte	Este	Infil. (m/día)	Infil. (mm/día)	K _{fc}
TEM-01	289365	366582	0,301	301	0,754
TEM-02	291169	381556	0,702	702	0,919
TEM-04	285565	374727	3,231	3231	1
TEM-05	279405	378815	0,25	250	0,713
TEM-06	290485	363906	1,419	1419	0,996
TEM-18	289261	382407	5,294	5294	1
TEM-19	290367	378628	0,673	673	0,912
TEM-20	288141	378054	0,669	669	0,91
TEM-21	290743	374017	3,795	3795	1
TEM-22	285522	366239	0,167	167	0,618
TEM-23	287295	370692	1,233	1233	0,987
TEM-26	282512	379325	1,737	1737	1

TEM-27	282498	383919	1,977	1977	1
TEM-46	279335	363672	1,118	1118	0,979
TEM-47	283391	361249	2,775	2775	1
TEM-49	292146	363231	0,638	638	0,903
TEM-50	292231	372577	1,363	1363	0,994

A partir de los resultados obtenidos se interpolaron los valores en el Software Surfer, se probaron varios métodos de interpolación pero se obtuvieron los mejores resultados con el *Kriging*, otros métodos no interpolaban la totalidad del área o se obtenían valores negativos.

En el caso de la zona urbana se multiplicó el valor obtenido en la interpolación por 0,3 mediante otro mapa raster, para obtener solo un 30% del valor de infiltración por textura del suelo, esto debido a que los valores de infiltración posiblemente son menores debido a la compactación de los suelos y en promedio con las áreas impermeabilizadas. No se realizó un estudio para determinar cómo varía la infiltración en esta zona, puesto que no está contemplado en la metodología de Schosinsky, el objetivo simplemente es no asumir una recarga nula como se mencionó anteriormente.

Los valores de K_{fc} son menores principalmente hacia el suroeste del área, y en la zona urbana por las razones expuestas (figura 35).

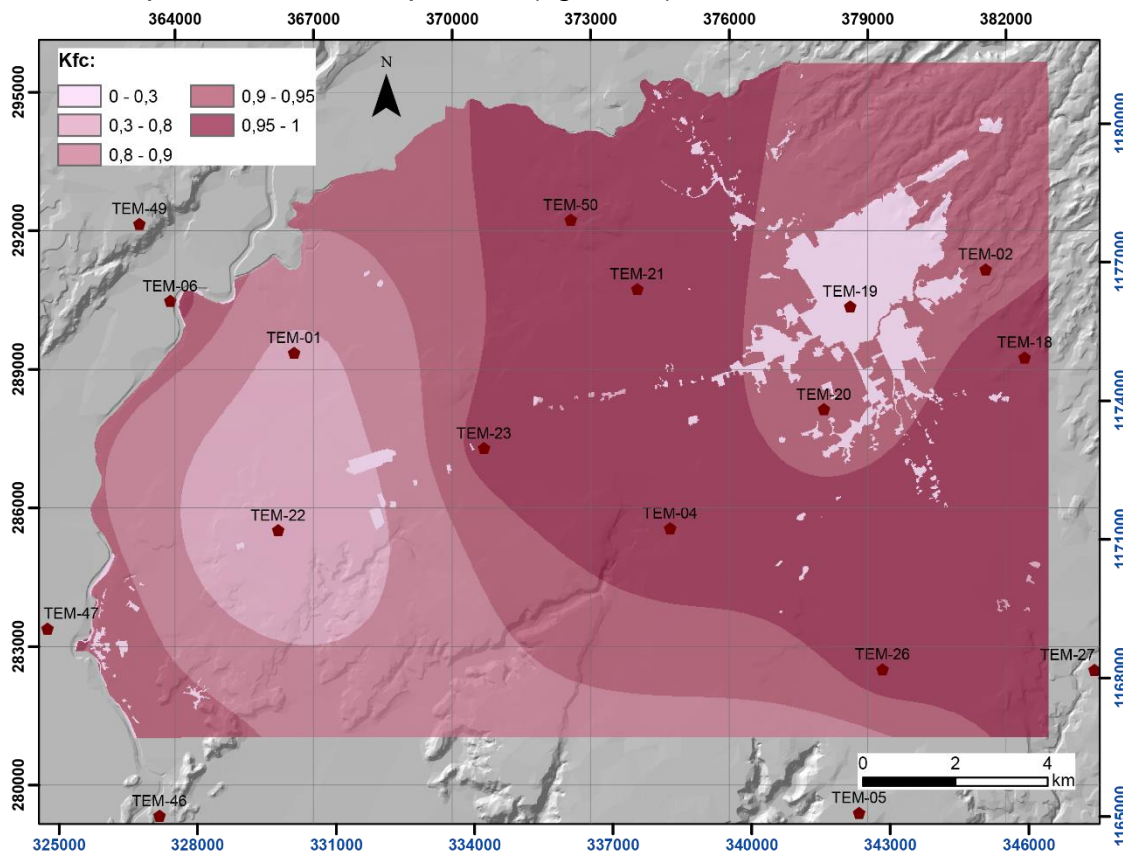


Figura 35. Mapa de fracción que infiltra por textura del suelo (K_{fc}).

→ Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (K_v):

Los valores de K_v fueron establecidos por Schosinsky & Losilla (2000) y se asignaron utilizando el mapa de uso de suelo (figura 36). Para la zona urbana se utilizó un valor de 0,02.

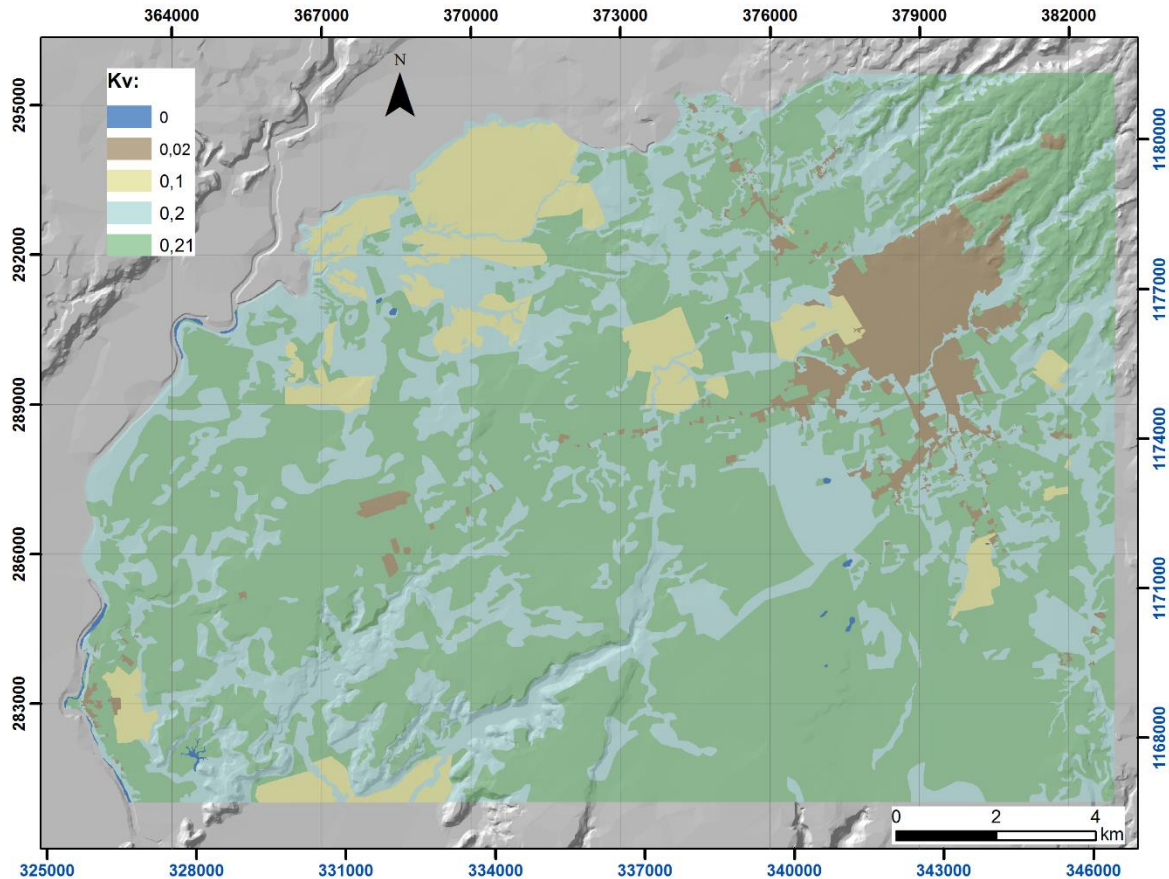


Figura 36. Mapa de fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (K_v).

→ Fracción que infiltra por efecto de la pendiente (K_p):

El mapa de pendientes fue generado en grados en la sección 3.3.1 (figura 13) a partir de las curvas 1:25000 del proyecto Terra, este fue transformado en porcentajes de acuerdo a los intervalos propuestos por Schosinsky & Losilla (2000), cabe recalcar que los rangos no contemplan algunos valores por lo que los intervalos fueron modificados (tabla 11), posteriormente se reclasificaron para asignar los valores de K_p propuestos en la metodología.

Tabla 11. Coeficiente de infiltración por efecto de la pendiente Kp. Tomado y modificado de Schosinsky & Losilla (2000).

Por pendiente	Pendiente	Modificación	Kp
Muy plana	0,02 % - 0,06%	0,02%-0,3%	0,3
Plana	0,3 % - 0,4 %	0,3% - 1 %	0,2
Algo plana	1 % - 2%	1 % - 2%	0,15
Promedio	2% - 7%	2 % - 7 %	0,1
Fuerte	Mayor de 7%	Mayor de 7%	0,06

Como la mayor parte del área presenta pendientes muy planas a algo planas, únicamente un 11% del área tiene pendiente fuertes en los cañones de los ríos al noreste y suroeste del área (figura 37).

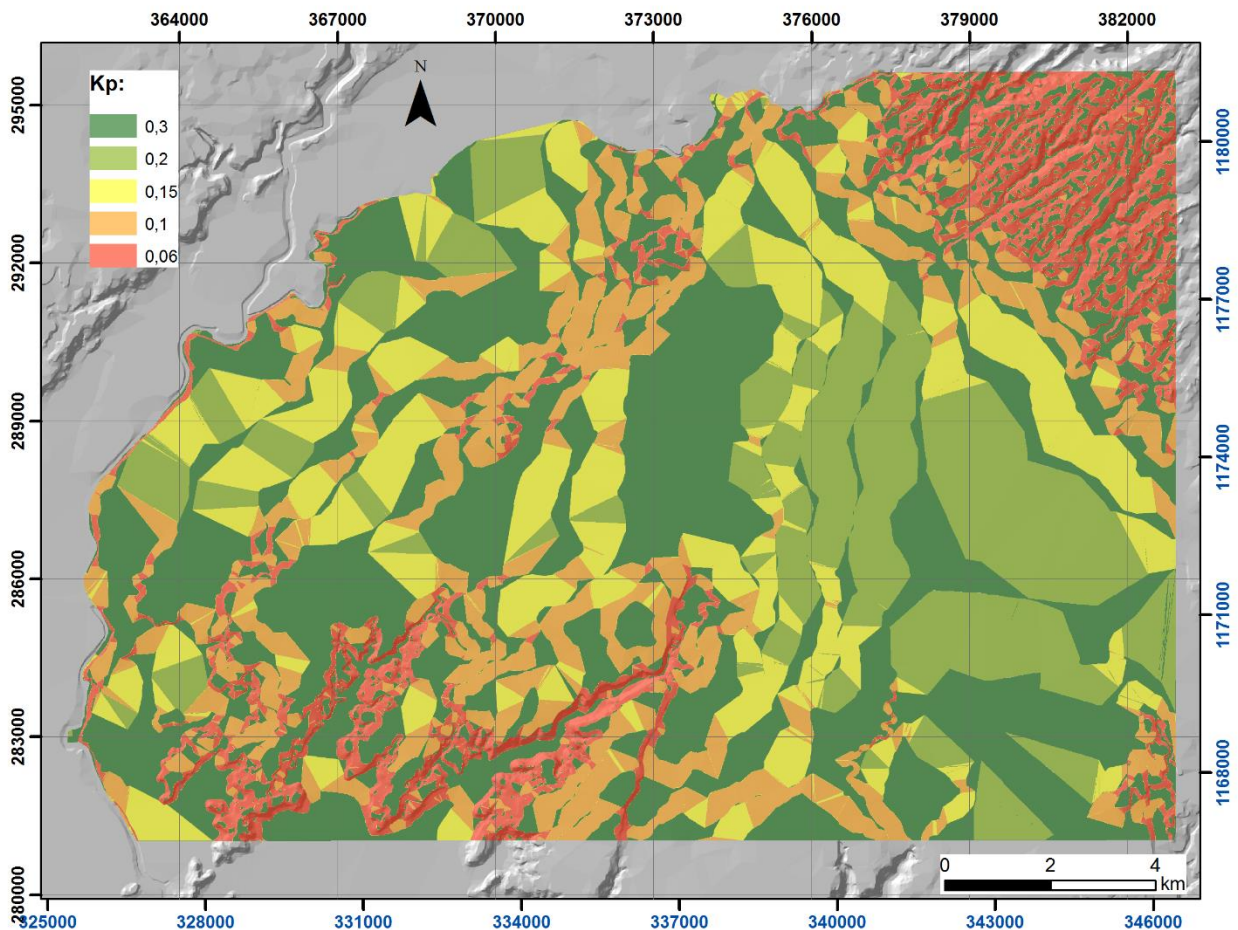


Figura 37. Mapa de fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Kp).

Con la sumatoria de los tres mapas anteriores (K_{fc} , K_v y K_p) se determinó el valor de C_i , en la mayor parte del área la suma de los coeficientes es mayor a 1 por lo que el $C_i = 1$, la zona urbana la suma de los coeficientes fue menor a 1 puesto que se utilizaron valores menores de K_{fc} y K_v , el “bandeamiento” que se observa en el área urbana al noreste es producto de la variación de K_p (figura 38).

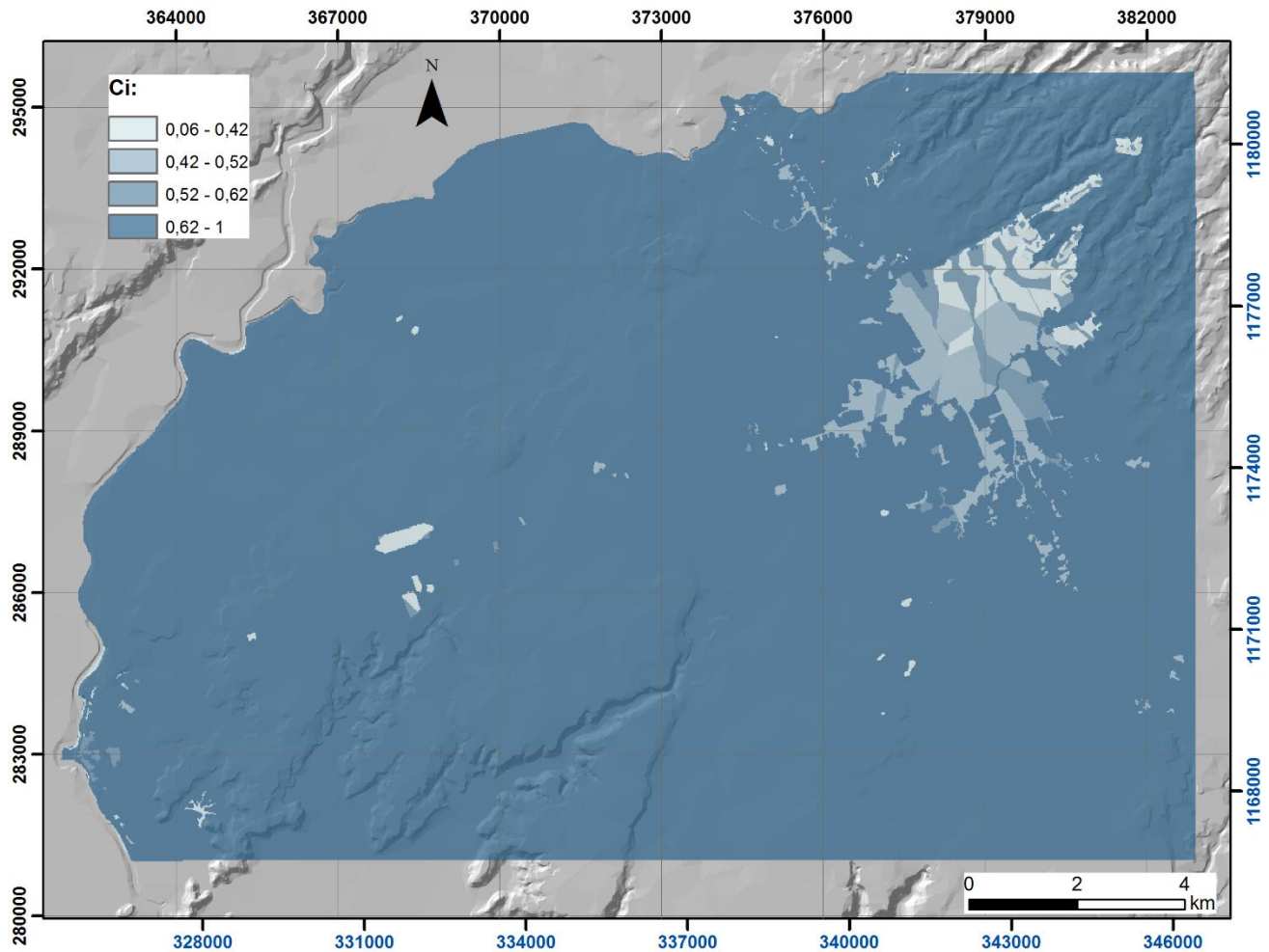


Figura 38. Mapa de coeficiente de infiltración (C_i).

5.1.5 Infiltración pluvial mensual

Según Schosinsky (2006) el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - \text{Ret}),$$

donde:

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

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional].

P = Precipitación mensual [mm/mes].

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

El cálculo se realizó con los mapas de C_i , P mensual y Ret mensual, así se obtuvieron 12 mapas de la precipitación que infiltra P_i , de acuerdo con estos resultados para los meses de enero a marzo la infiltración es prácticamente nula, los valores empiezan a aumentar a partir de abril hasta octubre, con valores máximos para los meses de setiembre y octubre cuando se alcanza hasta 327 mm/mes y 293,8 mm/mes respectivamente. Los valores mayores de infiltración se dan en los pastos y cultivos mientras que disminuyen en los bosques pues en esta zona una mayor parte del agua es retenida por el follaje, los valores menores se presentan en la zona urbana.

En la figura 39 se observa la precipitación que infiltra en el suelo anualmente, es decir la suma de los mapas anteriores.

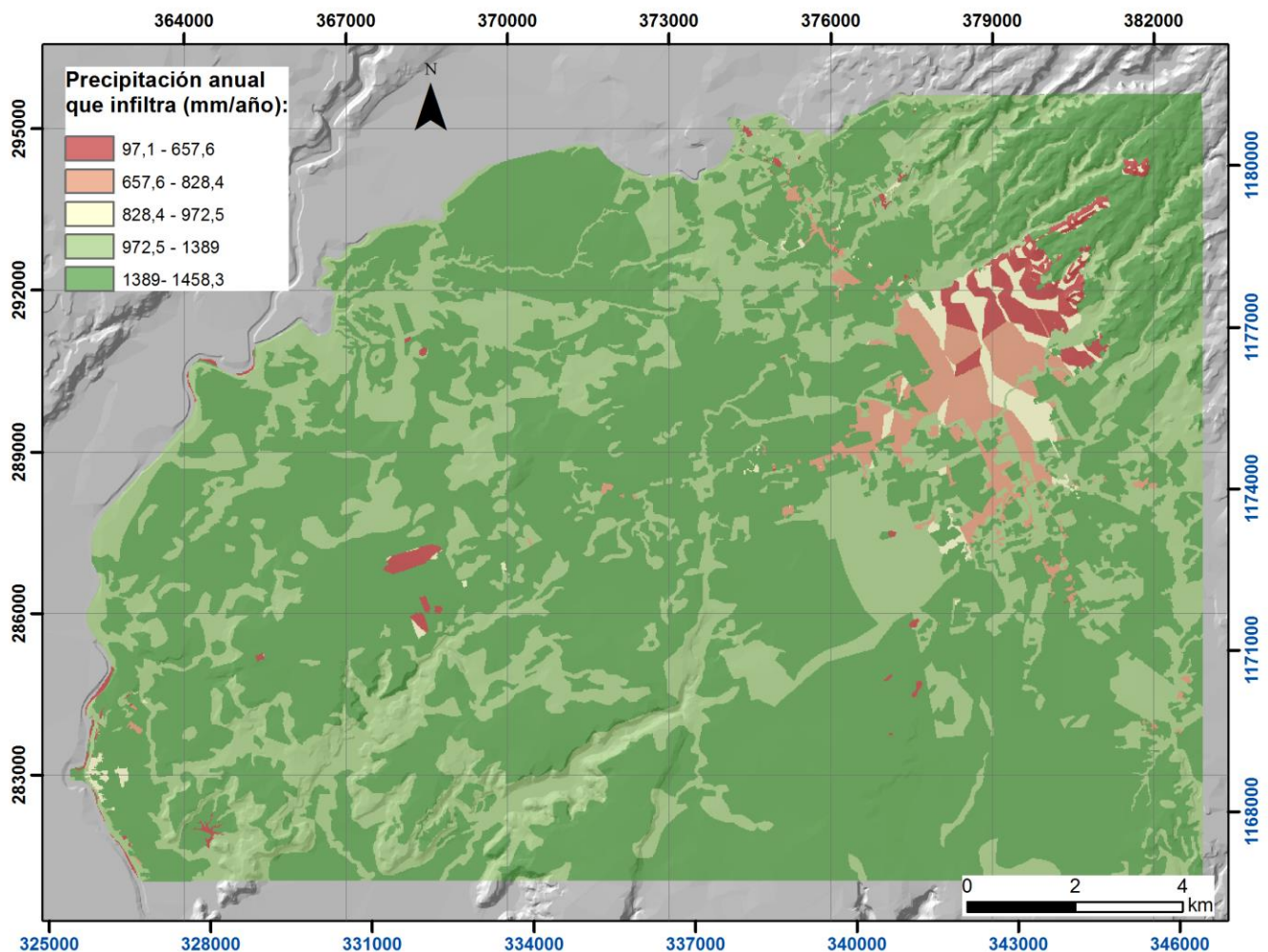


Figura 39. Mapa de precipitación que infiltra anualmente al suelo (P_i).

De acuerdo con estos los valores de P_i anual en casi toda el área varían entre 1300 mm/año y 1400 mm/año, con valores menores en la zona urbana. Si transformamos estos datos a volumen por unidad de tiempo tenemos que la P_i que infiltra anualmente en el área de estudio representa un 82,3% de la precipitación anual.

5.1.6 Escorrentía superficial

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual fue calculada con la siguiente fórmula propuesta por Schosinsky (2006):

$$ESC = P - Ret - P_i.$$

donde:

ESC = Escorrentía superficial [mm/mes]

P = Precipitación de lluvia mensual [mm/mes]

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

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

Los valores varían de igual manera que P_i , es decir en los meses de menor precipitación hay menor escorrentía y al aumentar la precipitación aumenta la escorrentía. Esto se da únicamente en la zona urbana, en el resto del área la escorrentía es baja o nula, tal como se observa en la figura 40 que corresponde con la escorrentía superficial anual. La escorrentía anual representa un 2,5% del volumen de precipitación total en la zona.

Balance de suelos

Según Schosinsky (2006) para realizar el balance de suelos, inicialmente es necesario conocer la cantidad de agua que infiltra al suelo. El gráfico 3 resume los datos calculados hasta el momento, ahora se requiere conocer cuánta agua, del 82% que se infiltra, percola al acuífero. Para ello es necesario calcular algunos parámetros más.

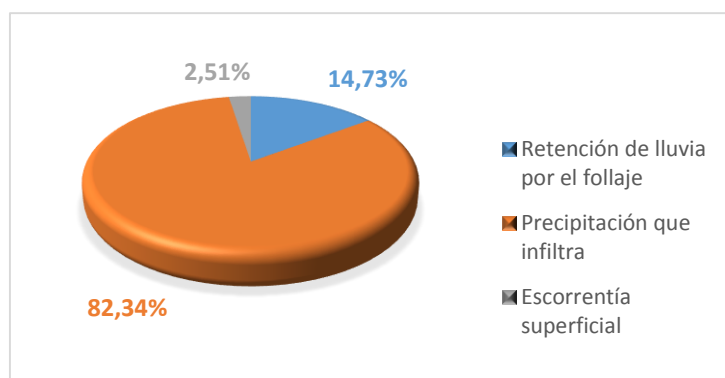


Gráfico 3. Distribución de la precipitación total anual en el área de estudio, de acuerdo a la metodología de Schosinsky (2006).

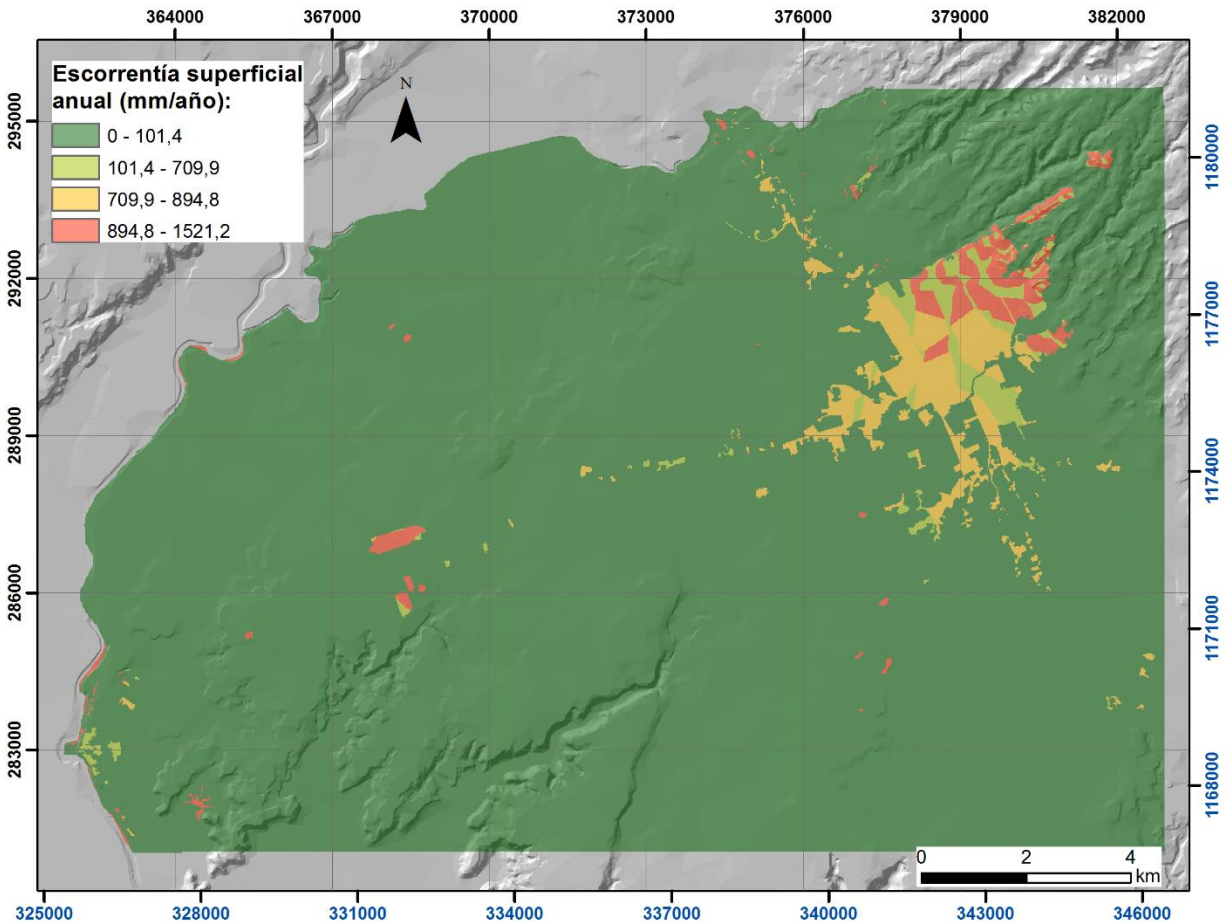


Figura 40. Mapa de escorrentía superficial anual (ESC).

5.1.7 Evapotranspiración potencial

Para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) se utilizaron 4 metodologías diferentes, estas son: tanque evaporímetro, Blaney & Criddle, Hargreaves y FAO Penman-Monteith. Las ecuaciones de cada uno de estos métodos fue descrita en la sección 2.2.1, para resolver las mismas se utilizaron los parámetros de la estación Llano Grande (anexo B).

Schosinsky (2006) sugiere utilizar la fórmula de Blaney & Criddle (ONU, 1972), pues otras ecuaciones requieren datos que pocas estaciones tienen. Esta metodología requiere únicamente datos de temperatura media mensual y porcentaje de luz solar mensual. El porcentaje de luz solar mensual se puede obtener de tablas teóricas, sin embargo, según ONU (1972) el uso de porcentajes reales parece producir mejores resultados en el Istmo Centroamericano. Debido a esto se utilizaron los valores de temperatura media mensual y brillo solar para resolver la ecuación. La tabla 12 contiene los resultados de ETP con las diferentes metodologías para cada mes.

Tabla 12. Cálculo de la evapotranspiración potencial en la zona de estudio según distintas metodologías.

Mes (# de días)	Blaney & Criddle (ONU, 1972)	Tanque evaporímetro	Hargreaves (1985)		FAO Penman-Monteith	
	mm/mes		mm/día	mm/mes	mm/día	mm/mes
Enero (31)	196,992	199,64	4,650	144,160	6,22	192,82
Febrero (28)	204,7024	201,88	5,290	148,132	7,19	201,32
Marzo (31)	203,616	212,66	5,916	183,381	7,56	234,36
Abril (30)	187,7286	201,6	6,121	183,630	7,18	215,4
Mayo (31)	140,5932	160,58	5,374	166,593	5,17	160,27
Junio (30)	116,4576	107,1	4,745	142,362	4,1	123
Julio (31)	124,5	130,2	4,840	150,045	4,45	137,95
Agosto (31)	122,1536	121,52	4,923	152,606	4,31	133,61
Septiembre (30)	110,3112	102,9	4,619	138,567	3,85	115,5
Octubre (31)	111,848	97,65	4,239	131,398	3,61	111,91
Noviembre (30)	137,972	105	4,204	126,132	3,96	118,8
Diciembre (31)	169,5524	151,9	4,294	133,121	4,97	154,07

Para calcular la evapotranspiración con los datos del tanque evaporímetro es necesario utilizar un coeficiente que depende de la cobertura de suelo donde se ubica el tanque, así como el viento y las condiciones generales de humedad, tal como se describió en la sección 2.2.1. Según Allen (2006) para una cobertura de pasto corto estos valores varían entre 0,45 y 0,85. En este caso se tomó un factor de 0,7 como promedio debido a los valores de velocidad de viento. Una limitación del tanque evaporímetro es que si bien estos proporcionan una medida del efecto integrado de los mismos parámetros climáticos que afectan los cultivos, varios factores producen diferencias, entre ellos, la reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente a la asumida para el cultivo de referencia, también el almacenaje de calor dentro del tanque puede causar evaporación durante la noche, mientras que esto no sucede en la mayoría de los cultivos (Allen, 2006). Además únicamente se cuenta con datos de evaporación para un período de 19 años (1976-1995).

El método de Hargreaves (1985) es muy utilizado en el país, este requiere datos de temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura promedio y radiación solar incidente, en caso de no contar con esta se puede utilizar la radiación solar extraterrestre. Según estudios realizados por la FAO los métodos basados en la temperatura del aire al ser empíricos, requieren cuidadosas calibraciones locales para alcanzar resultados satisfactorios, sin embargo, la ecuación de Hargreaves (1985) ha producido resultados razonables de evapotranspiración del cultivo de

referencia con cierta validez global (Allen, 2006). Los cálculos se realizaron con los valores de temperatura de la estación Llano Grande y la radiación extraterrestre fue tomada de Allen et al. (1998), estos datos fueron interpolados para 10,6° de latitud Norte. Una limitación de esta metodología, de acuerdo con Allen (2006), es que la ecuación tiende a subestimar los valores de ETP bajo condiciones de viento fuerte (> 3 m/s) y sobre estimarlos bajo condiciones de elevada humedad relativa.

Finalmente se utilizó la ecuación FAO Penman-Monteith la cual presenta un fundamento físico mejor que los métodos anteriores, el enfoque Penman-Monteith incluye todos los parámetros que gobiernan el intercambio de energía y flujo de calor (evapotranspiración) de grandes extensiones uniformes de vegetación (Allen, 2006). Esta metodología presenta un mejor comportamiento y consistencia a nivel global, por lo que es recomendada por la FAO como único método estándar para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, esto debido a que existe una elevada probabilidad de que prediga correctamente los valores de evapotranspiración en una amplia gama geográfica y climática (Allen, 2006).

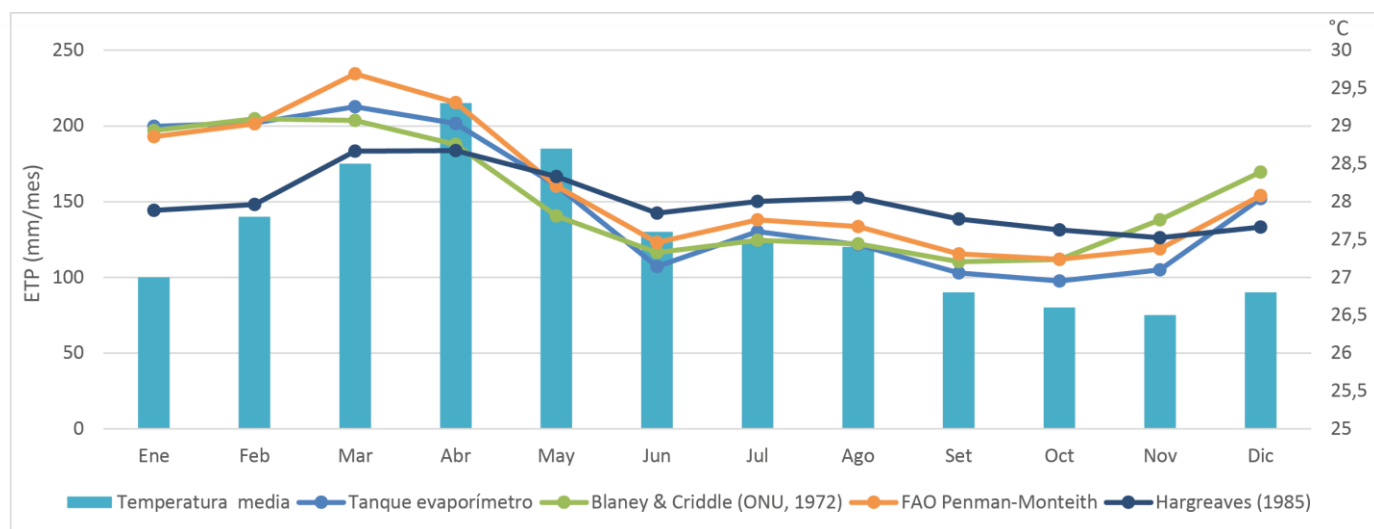
La ecuación FAO Penman-Monteith utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura mínima y máxima del aire, humedad, velocidad del viento y horas de insolación, si bien la metodología cuenta con previsiones para su uso ante la falta de datos, en este caso se contaba con todos los datos necesarios, aunque estos no presentan un registro homogéneo pues abarcan distintos rangos de tiempo como se mencionó anteriormente. El cultivo hipotético de referencia tiene una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23, este representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado (Allen, 2006). El cálculo utilizando el software CROPWAT, en el cual se introdujeron los datos necesarios.

El gráfico 4 muestra valores de ETP obtenidos para las cuatro metodologías empleadas, los resultados se muestran una tendencia similar con valores mayores de ETP en aquellos meses que presentan la temperatura media más elevada, es decir de enero a abril, los valores de ETP disminuyen, en todas la metodologías, a partir de mayo cuando empieza a disminuir la temperatura media. Entre los meses de enero a marzo se observa una mayor diferencia en los resultados de cada metodología, sin embargo se debe tomar en cuenta que durante estos meses la mayor parte del agua es retenida por el follaje como se vio anteriormente, por lo que esto no produce variaciones significativas en el cálculo de la recarga potencial al utilizar una metodología u otra. A partir de abril los valores entre cada metodología muestran mayor similitud.

Entre los meses de abril y diciembre, en general, con la metodología Hargreaves (1985) se obtienen los valores mayores de ETP, en los mismo meses, los valores

menores varían entre Blaney & Criddle (ONU, 1972) y tanque evaporímetro, mientras que la metodología FAO Penman-Monteith muestra valores intermedios. Debido a esto y a las recomendaciones de la FAO, como se mencionó anteriormente, para los cálculos posteriores del balance hídrico se utilizarán los valores de ETP obtenidos mediante la ecuación FAO Penman-Monteith. Para ello se generaron 12 mapas de EPT con el valor mensual correspondiente.

Gráfico 4. Comparación de los valores de evapotranspiración potencial obtenida con distintas metodologías.



5.1.8 Recarga al acuífero

Para conocer la recarga potencial de los acuíferos es necesario determinar si la cantidad de agua que se infiltra es suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo y satisfacer la evapotranspiración de las plantas (Schosinsky, 2006). Se calcula de la siguiente manera:

5.1.8.1 Capacidad de campo y punto de marchitez

Inicialmente es necesario determinar la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PM). La capacidad de campo se define como la máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es entonces cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración, mientras que la humedad mínima que puede tener el suelo antes de que la planta muera es igual al punto de marchitez (Schosinsky, 2006).

Estos valores se tomaron de Vargas et al. (2015), las muestras tienen la misma ubicación de las pruebas de infiltración (figura 34). La tabla 13 resume los resultados.

Estos valores junto con la densidad aparente (DA) fueron interpolados mediante el método *Krigging* en el software Surfer (figuras 41, 42 y 43). Los mapas de CC y PM se encuentran en unidades de % por peso de suelo seco deben ser convertidos a mm para utilizarlos en las próximas ecuaciones. Para ello se debe utilizar la siguiente ecuación:

- $[CC (\%) \times DA \times \text{prof. raíces}]/100 = CC \text{ (mm)}$.
- $[PM (\%) \times DA \times \text{prof. raíces}]/100 = PM \text{ (mm)}$.

Tabla 13. Valores de CC, PM y Densidad aparente de las muestras de suelo utilizadas. Tomado de Vargas (2015).

Código	Norte	Este	Capacidad de campo	Punto de marchitez	Densidad aparente
TEM-01	289365	366582	30,74	20,65	1,4
TEM-02	291169	381556	24,06	17,39	1,3
TEM-04	285565	374727	31,78	21,87	1
TEM-05	279405	378815	41,89	20,35	1,7
TEM-06	290485	363906	37,64	19,76	1,3
TEM-18	289261	382407	36,59	19,97	1,7
TEM-19	290367	378628	39,75	21,66	1,1
TEM-20	288141	378054	39,41	21,64	1,1
TEM-21	290743	374017	41,04	22,91	1,6
TEM-22	285522	366239	40,81	22,04	1,7
TEM-23	287295	370692	41,04	22,09	1,2
TEM-26	282512	379325	39,08	20,89	1,38
TEM-27	282498	383919	32,06	20,36	1,02
TEM-46	279335	363672	30,62	20,34	1,63
TEM-47	283391	361249	34,67	20,84	1,37
TEM-49	292146	363231	23,91	16,48	1,34
TEM-50	292231	372577	22,05	16,02	1,08

La profundidad de las raíces fue asignada utilizando el mapa de uso de suelo de acuerdo a la propuesta de Schosinsky (2006), Allen (2006) y con observaciones de campo. Para el pasto se utilizó un valor de 500 mm, para los cultivos se utilizó un valor de 1500 mm puesto que en mayoría se trata de caña y arroz, en los bosque se asignó 2000 mm, en las áreas reforestadas 1000 mm pues corresponden principalmente con teca, a los cuerpos de agua 0 mm y en la zona urbana dado que se trata de áreas con árboles, pasto y zonas impermeables se utilizó un valor de 750 mm (figura 44).

Los mapas fueron multiplicados utilizando el álgebra de mapas de acuerdo con la fórmula descrita, de esta manera se obtuvieron los mapas de CC y PM en unidades de milímetros (figura 45 y 46).

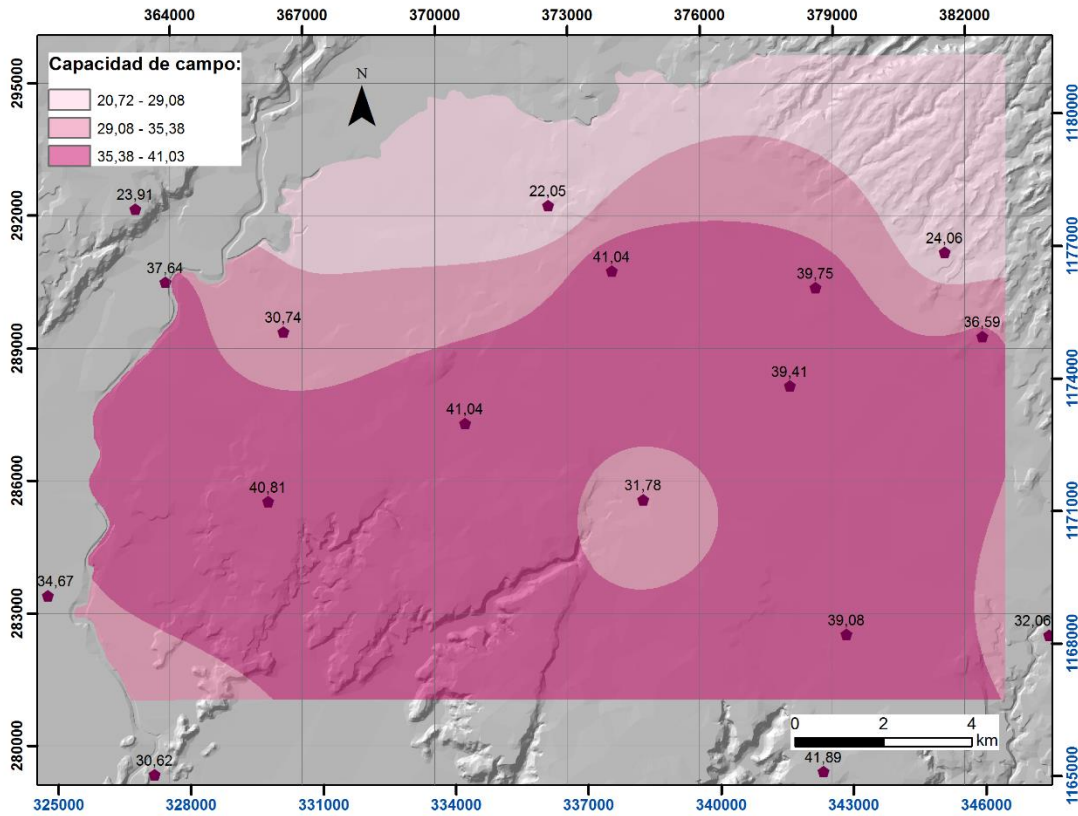


Figura 41. Mapa de capacidad de campo (CC) en % por peso de suelo seco.

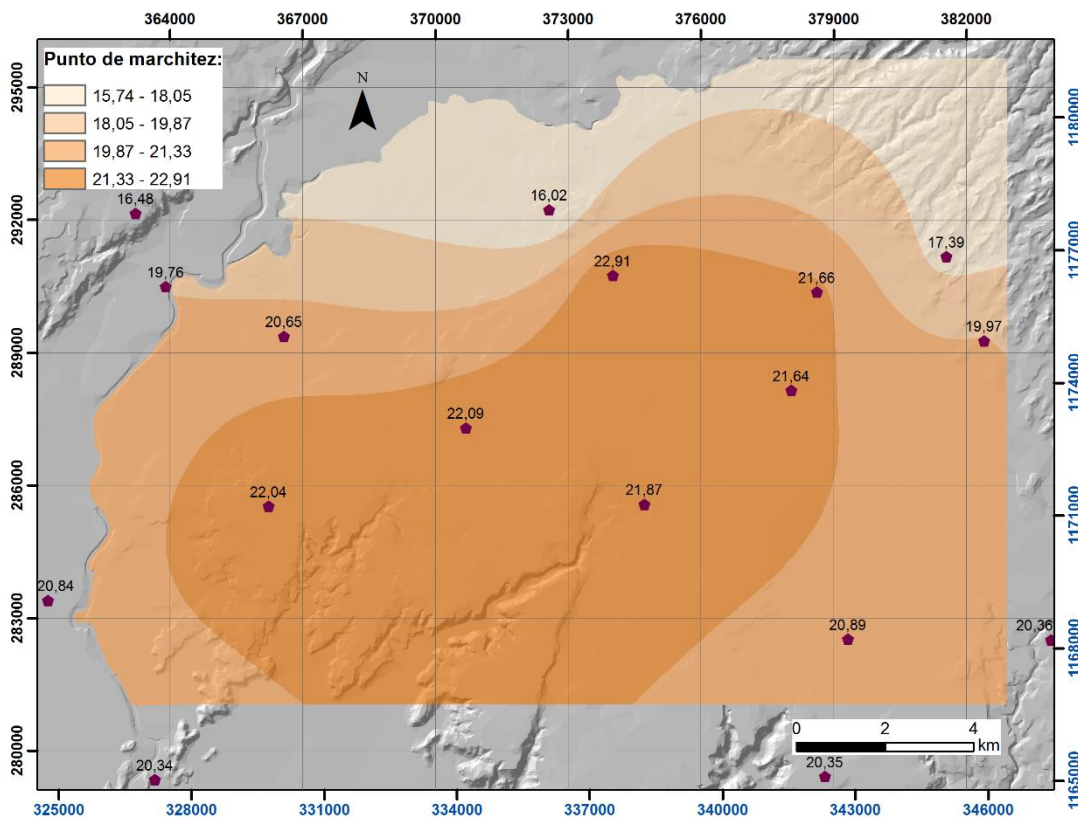


Figura 42. Mapa de punto de marchitez (PM) en % por peso de suelo seco.

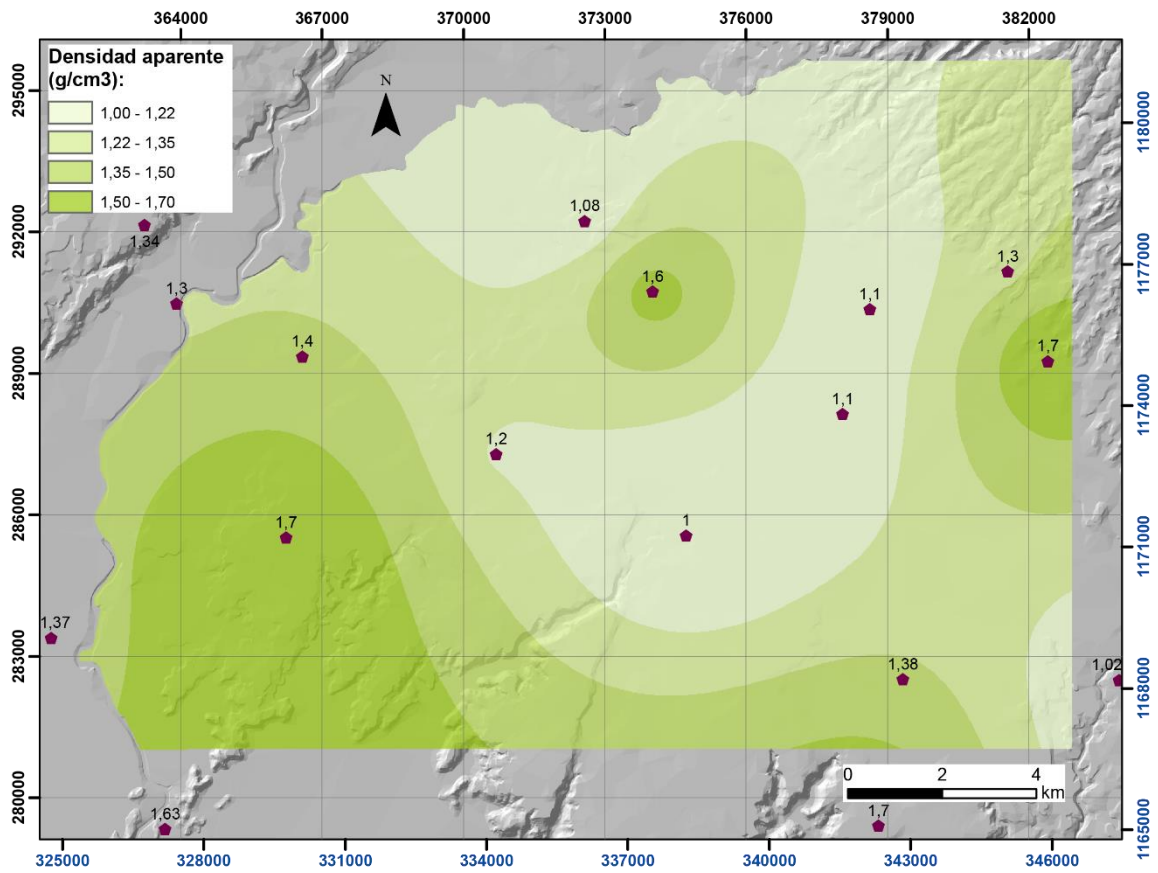


Figura 43. Mapa de densidad aparente [g/cm³].

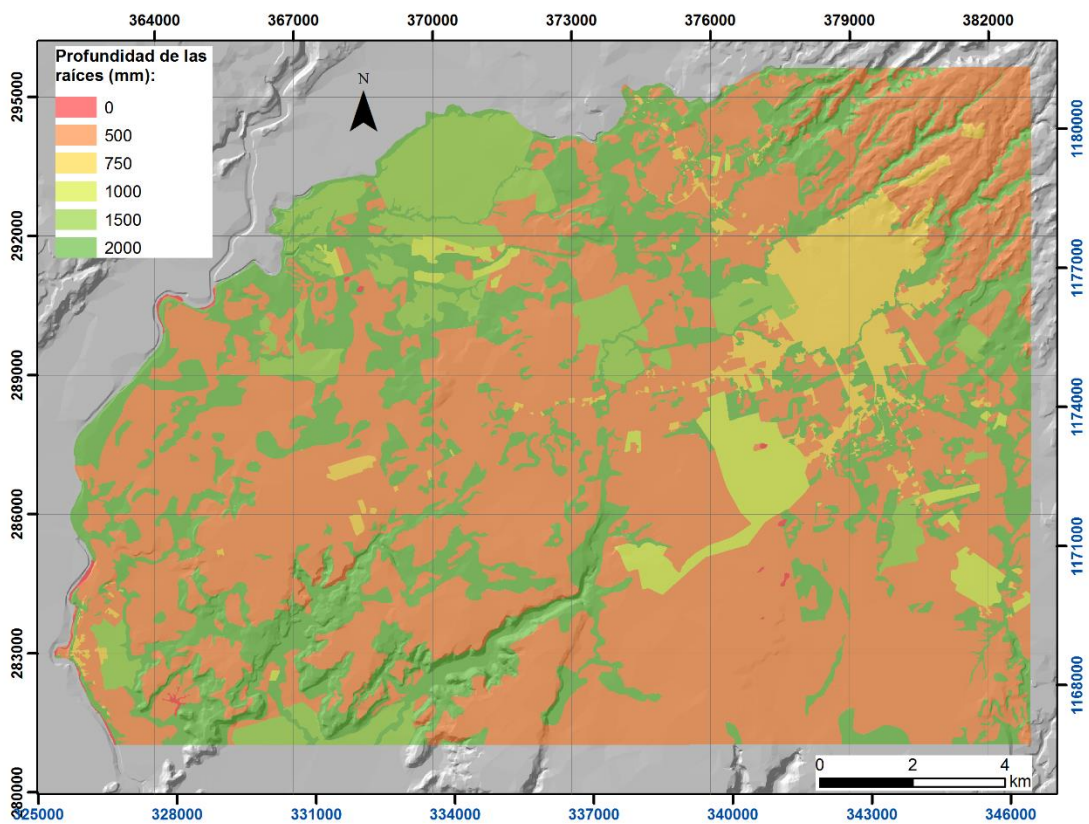


Figura 44. Mapa de profundidad de raíces.

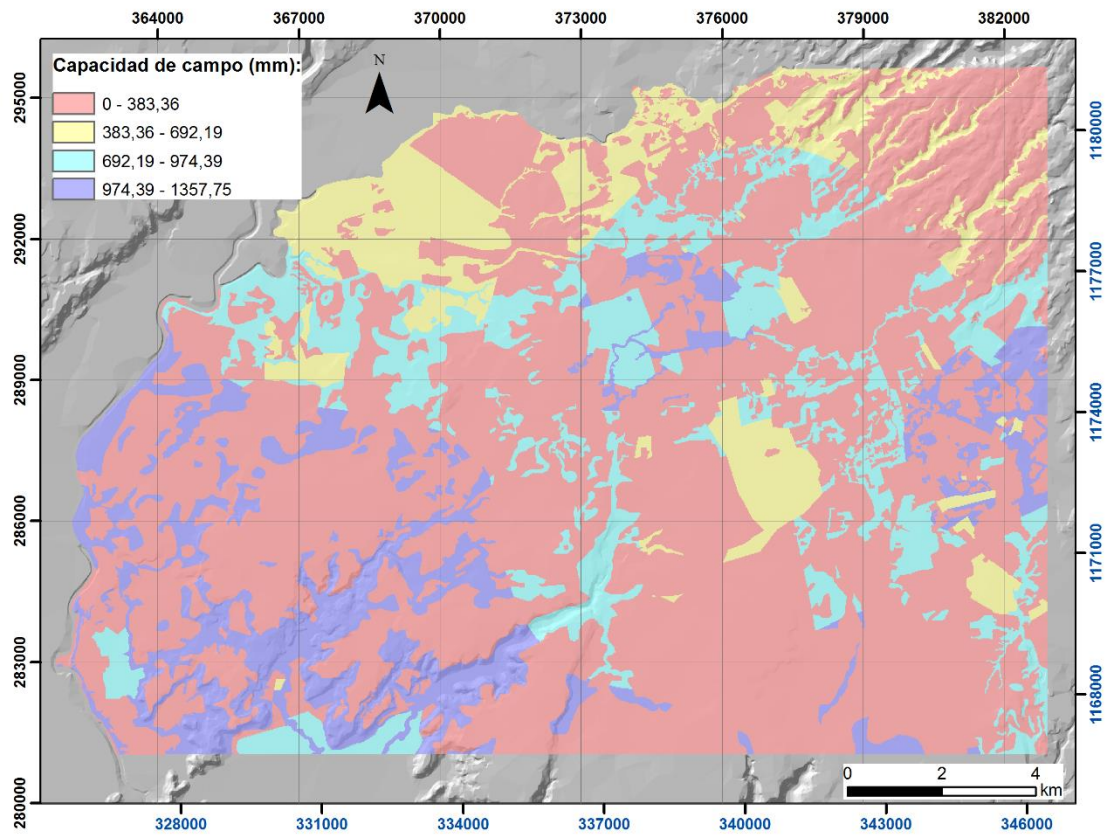


Figura 45. Mapa de capacidad de campo [mm].

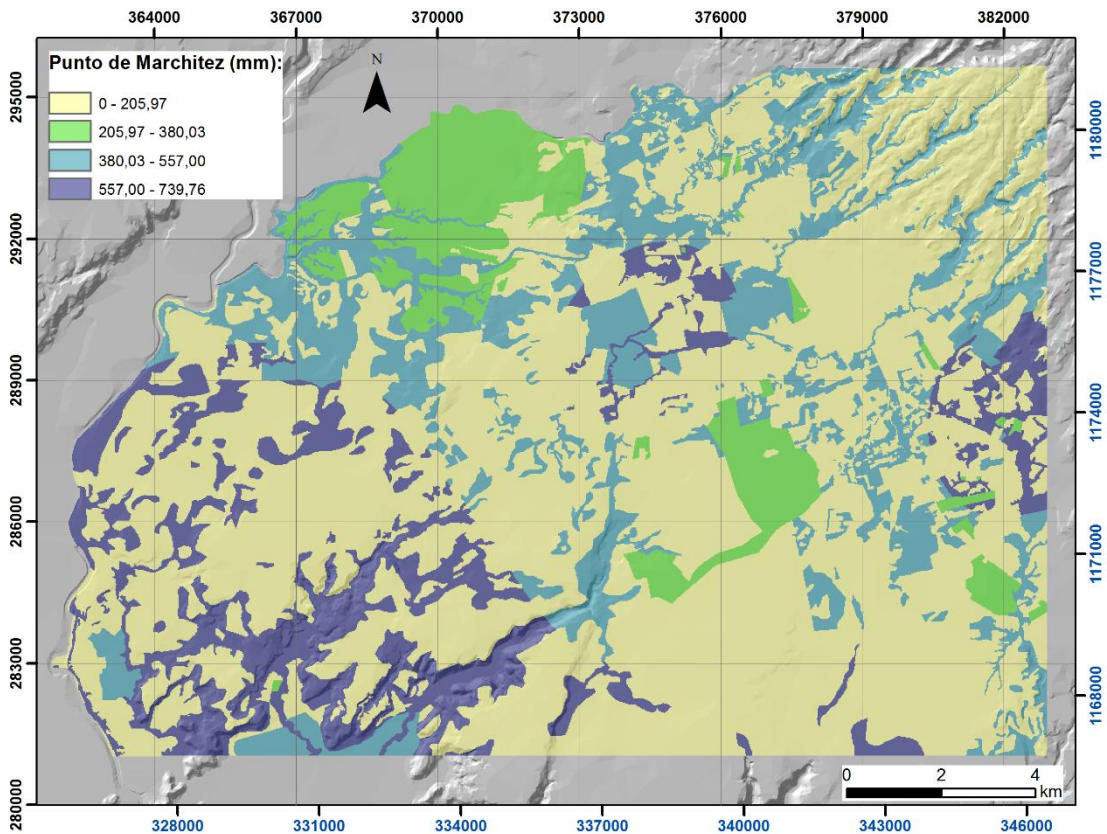


Figura 46. Mapa de punto de marchitez [mm].

5.1.8.2 Coeficientes de humedad C1 y C2

De acuerdo con Schosinsky (2006) es necesario considerar que al inicio de un mes cualquiera el suelo tendrá una humedad inicial (HSi), si no existiese evapotranspiración la precipitación que infiltra aumentaría la humedad del suelo permitiendo una mayor evapotranspiración, el coeficiente de humedad al final del mes (C1) sería:

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

Si se considera que ocurre evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad al final del mes (C2) sería:

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

$$ETR1 = (C1) (ETP),$$

donde:

C1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de la evapotranspiración.

HSi = humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial [mm].

PM = Punto de marchitez [mm]. CC= Capacidad de campo [mm].

C2 = coeficiente de humedad al final del mes, después de la evapotranspiración.

ETR 1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

Para determinar la humedad inicial al inicio del mes, Schosinsky (2006) sugiere seleccionar meses consecutivos en los que la precipitación que infiltra supere le evapotranspiración potencial mensual, asignando al mes siguiente una Hsi igual a la capacidad de campo. El grafico 5 muestra que en la zona de estudio estas condiciones se cumplen en el mes de noviembre, por tanto se asigna a este mes un HSi = CC. Posteriormente se calcularon los coeficientes C1 y C2 para cada mes para un total de 24 mapas, estos fueron reclasificados para que sus valores no fueran mayores que 1 ni menores que 0.

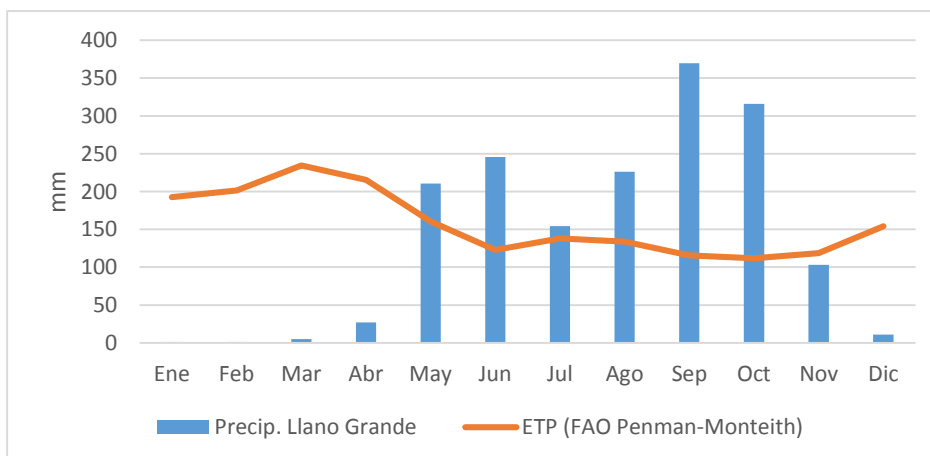


Gráfico 5. Precipitación mensual vs evapotranspiración potencial mensual.

5.1.8.3 Humedad disponible

Schosinsky (2006) define la humedad disponible como aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas para poder evapotranspirar. Está dada por:

- $HD \text{ [mm/mes]} = HSi - Pi - PM.$

Esta se calculó mensualmente, la figura 47 muestra un mapa anual de los resultados. En general estos valores son mayores en los bosques, los valores anuales varían desde 638 mm/año a 5941 mm/año, mensualmente los valores mínimos se encuentran entre febrero y mayo.

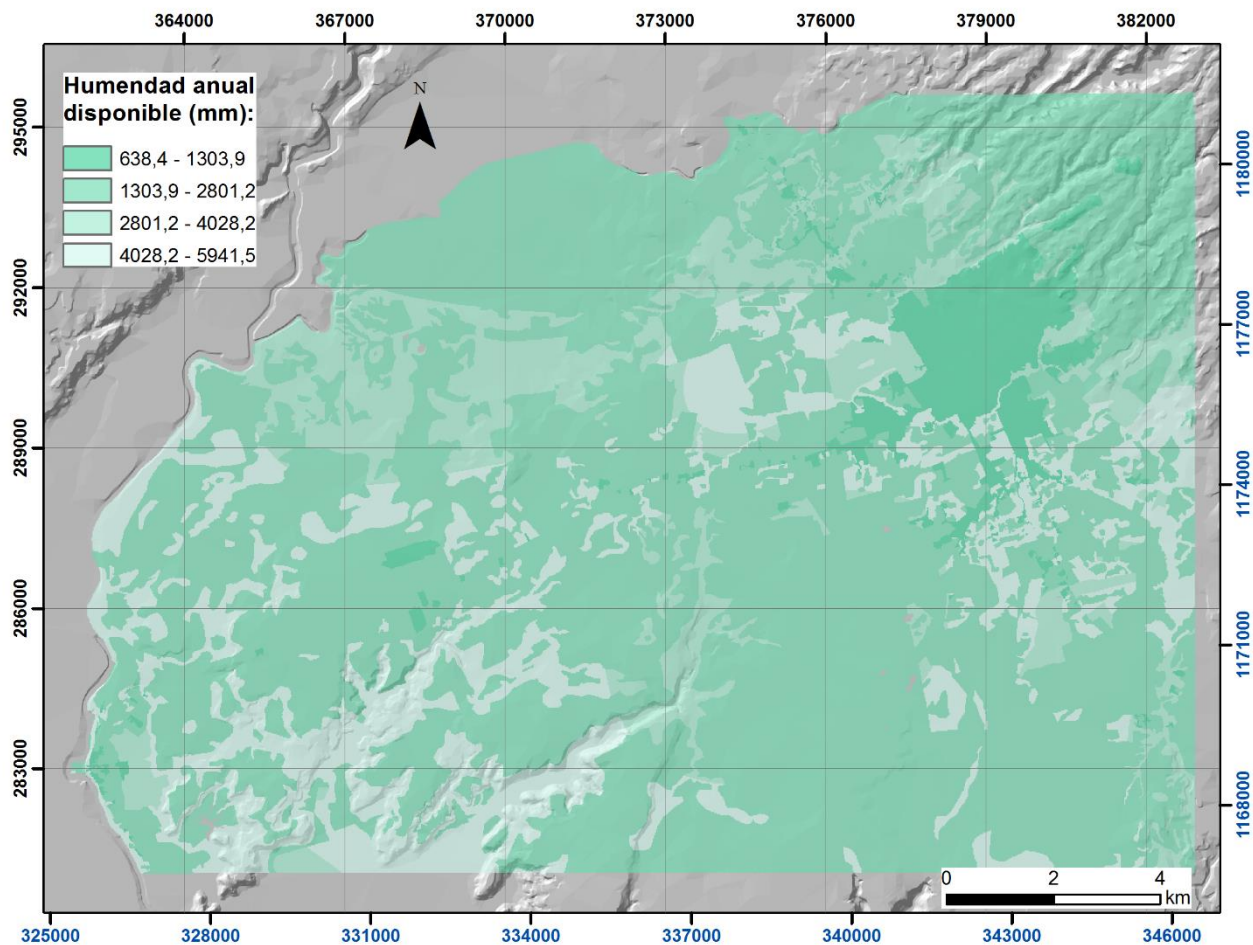


Figura 47. Mapa anual de humedad disponible (HD).

5.1.8.4 Evapotranspiración real

La evapotranspiración real (ETR) está definida por la siguiente fórmula:

- Si $((C1 + C2)/2)ETP < HD$, $ETR = ((C1 + C2)/2)ETP$ [mm/mes]
- Si $((C1 + C2)/2)ETP > HD$, $ETR = HD$ [mm/mes],

donde:

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

De manera general los mayores valores de evapotranspiración real se ubican en la zona boscosa (figura 48), mensualmente los mínimos se presentan en los meses de febrero, marzo y abril. Anualmente la evapotranspiración representa 57,4% del volumen total de precipitación en la zona.

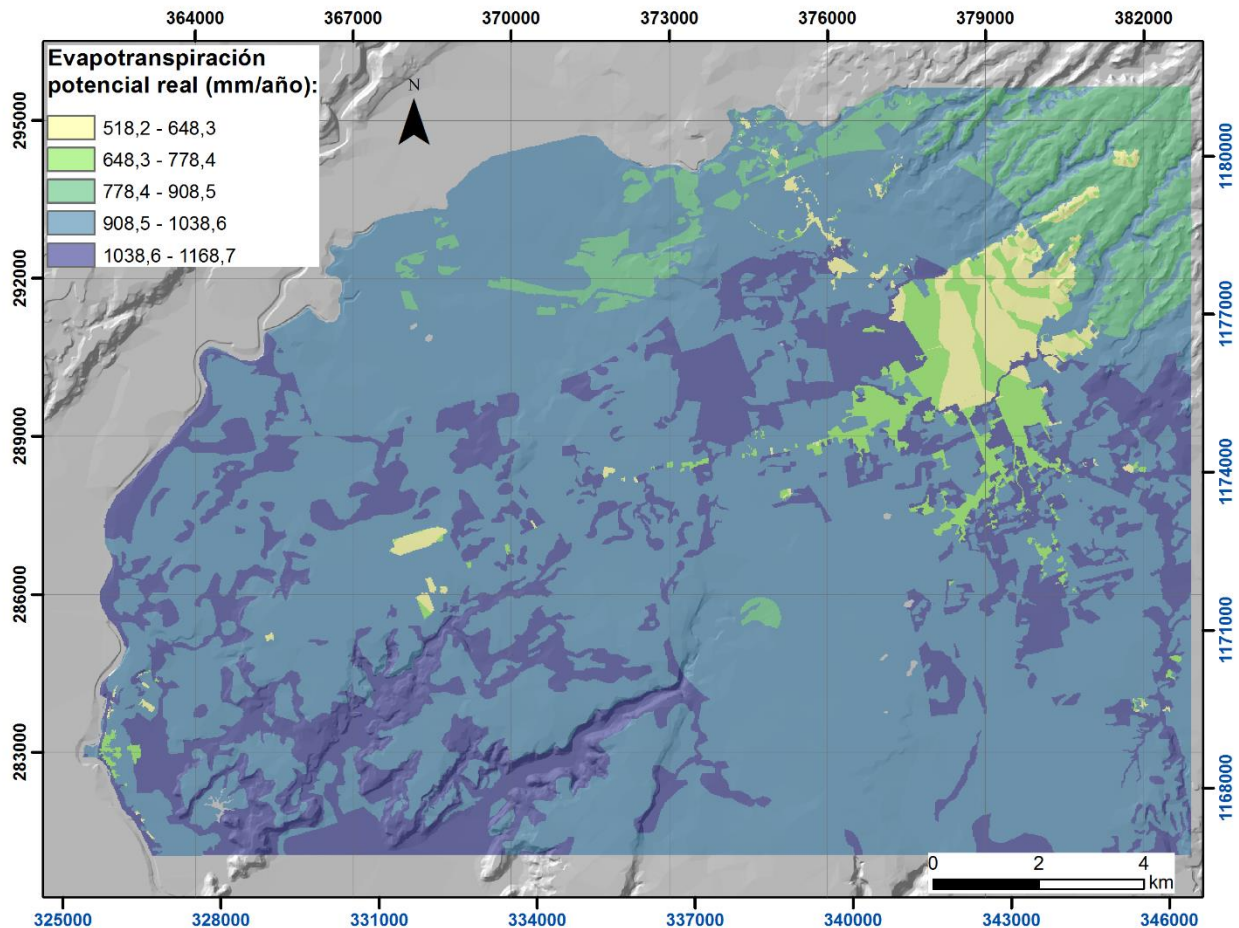


Figura 48. Mapa de evapotranspiración real promedio (ETR).

5.1.9 Cálculo de recarga potencial al acuífero

La recarga al acuífero se da 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 sobrante es la cantidad de agua que recarga el acuífero (Schosinsky, 2006). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RP = P_i + H_{Si} + H_{sf} + ETR,$$

donde:

Rp= Recarga potencial mensual [mm/mes]

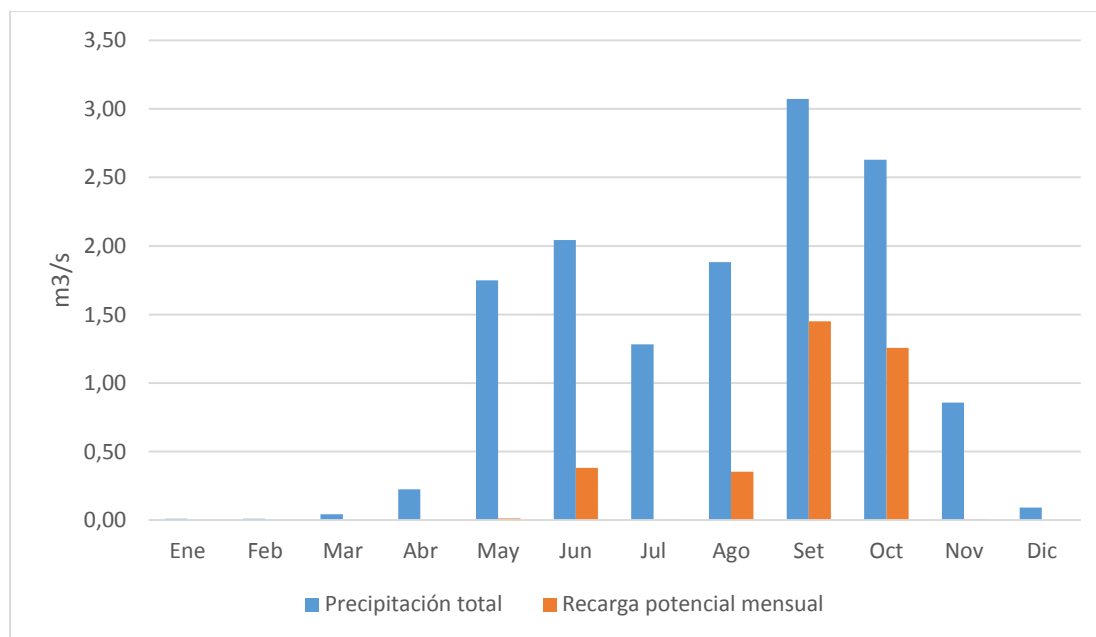
Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes]

Hsf = Humedad del suelo al final del mes [mm]

ETR = Evapotranspiración real en [mm/mes]

La recarga no es uniforme durante el año, existe una relación directa entre esta cantidad mensual de precipitación en la zona. Durante los meses de diciembre a abril la recarga potencial es baja pues la precipitación es retenida por el follaje o se pierde por evapotranspiración, a partir de mayo los valores aumentan con una disminución en julio debido al descenso en las precipitaciones (gráfico 6). En los meses de setiembre y octubre se dan los mayores valores de recarga potencial donde esta representa 41% y 36% respectivamente de la precipitación, para noviembre los valores vuelven a disminuir considerablemente.

Gráfico 6. Volumen de agua que recarga potencialmente el acuífero vs volumen de precipitación total.



Anualmente los valores de recarga potencial varían desde menos de 115 mm hasta 573 mm (figura 49). De manera general, se observan valores mayores en los pastos y las zonas de cultivo, los valores menores de potencial anual se encuentra en la zona urbana debido a que a esta se le asignaron valores menores en los parámetros utilizados.

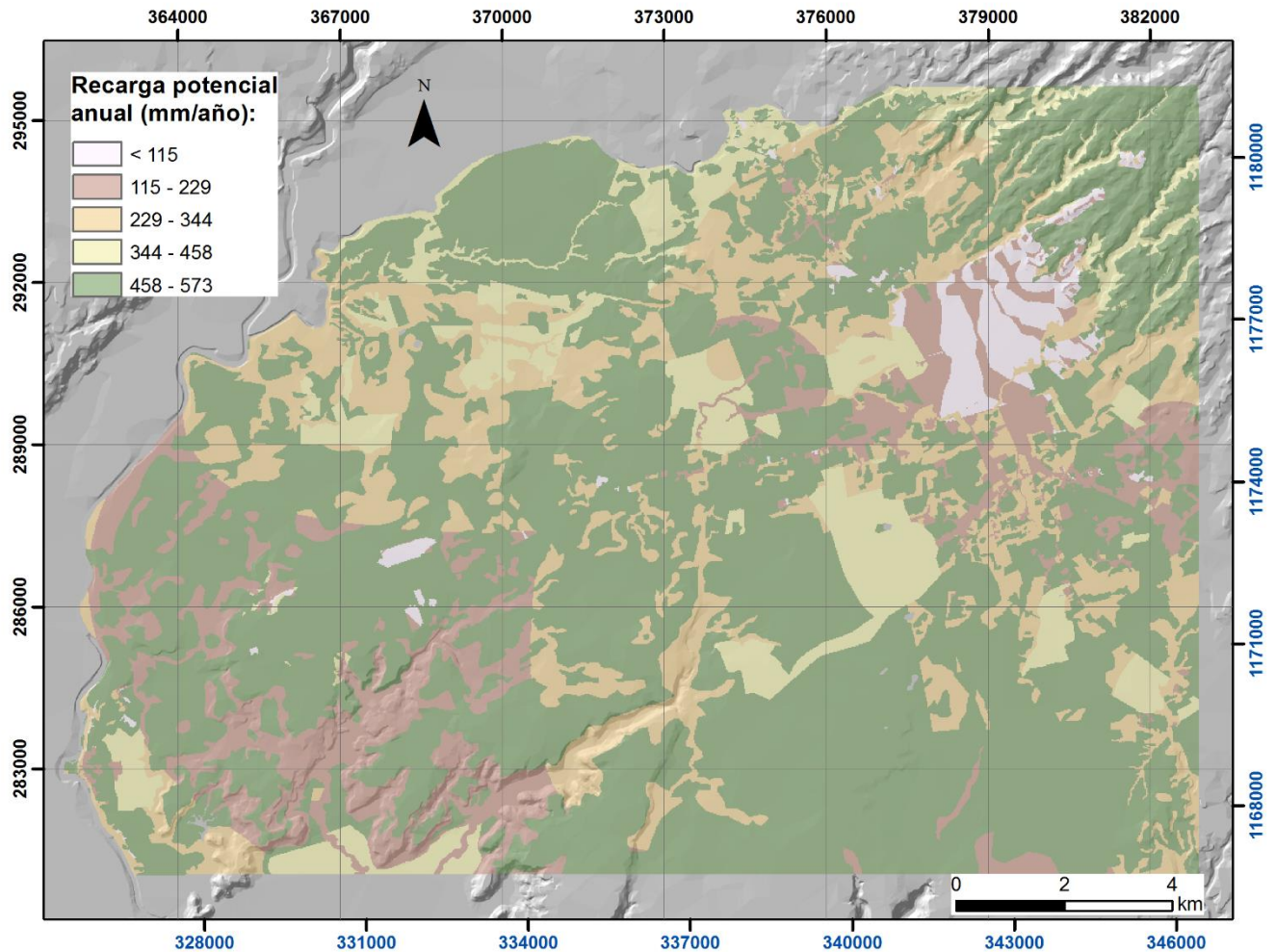
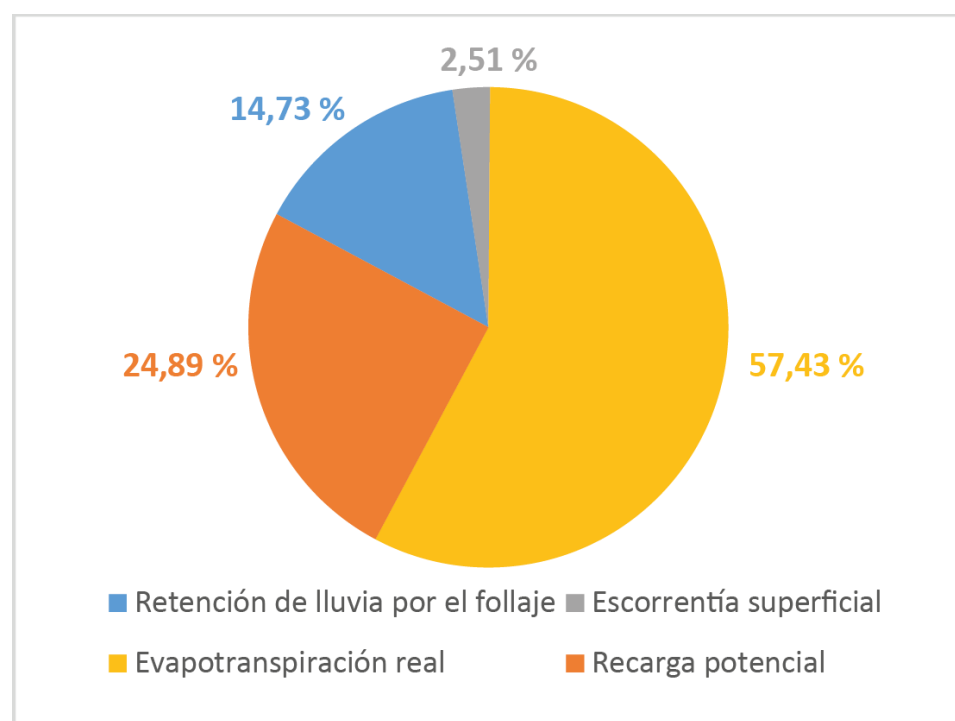


Figura 49. Mapa de recarga anual potencial.

El volumen total anual de agua que recarga el acuífero, según esta metodología, es de $1,09088 \times 10^{11}$ l/ año ($3,46 \text{ m}^3/\text{s}$) esto representa un 24,89% de la precipitación total en la zona. El gráfico 7 muestra un resumen de esta en el área de estudio de acuerdo a los cálculos realizados.

Gráfico 7. Distribución total de la precipitación en la zona de estudio de acuerdo a la metodología Schosinsky (2006).



Del total de agua que recarga potencialmente al año, un 5,3 % ocurre en la zona urbana, evidentemente se debe realizar un estudio más detallado para asignar valores adecuados a los parámetros en esta zona. Además, de acuerdo con Lerner (2002) la fuente principal de la recarga en áreas urbanas son las fugas en tuberías de agua y tanques sépticos, pero desafortunadamente la complejidad de la infraestructura de transporte de agua en las ciudades hace que sea difícil estimar la recarga urbana con precisión. Existen pocos estudios de alta calidad sobre este tema, por ello Lerner (2002) recomienda un enfoque holístico investigando el balance general del agua, utilizando técnicas de calibración y también balances de masa de solutos los cuales aportarían información adicional para identificar y cuantificar las recargas.

5.2 Estimación de la recarga real mediante la fluctuación del nivel del agua

Como se mencionó anteriormente existen otros métodos para la estimación de la recarga del agua subterránea, uno de ellos es mediante el análisis de la fluctuaciones del nivel freático (FNF) en pozos de observación, este asume que el aumento en la elevación del nivel del agua de pozos poco profundos se debe a la adición de recarga a través del nivel freático (USGS, 2017).

Según USGS (2017) la recarga mediante este método se estima de la siguiente manera:

$$R(t_j) = S_y * \Delta H(t_j)$$

Donde:

$R(t_j)$: recarga que ocurre entre los tiempos t_0 y t_j [cm]

S_y : rendimiento específico [adimensional]

$\Delta H(t_j)$: aumento máximo del nivel de agua atribuido al período de recarga [cm].

En el año 2012 SENARA estableció una red de monitoreo de niveles de agua subterránea en una parte de la cuenca del río Tempisque, algunos de estos pozos se encuentran dentro de la zona de estudio (figura 50). Si bien estos pozos no están distribuidos por toda el área, permiten calcular la recarga en una parte de esta y comparar los resultados con los obtenidos mediante el método de Schosinsky (2006).

Se eligieron los pozos excavados y algunos pozos perforados con un nivel somero los cuales se asume captan el acuífero Liberia, las variaciones de otros pozos en la red de monitoreo se comentaran más adelante.

Una limitación de los datos es que, si bien se realizaron mediciones de nivel durante el 2012 al 2017 estas no son continuas, algunos años cuentan con muy poca información, los datos completos se pueden observar en el anexo D. Los años con información más completa son 2012 y 2013, estos cuentan con mediciones de 6 meses casi consecutivos en el 2012 y de mes por medio en el 2013.

En el gráfico 8 muestra las variaciones mensuales en el 2012 en cada uno de los pozos, como se observa en el mismo el cambio en el almacenamiento en general el pequeño, el promedio es de 2 m, para el 2013 el promedio es de 2,7 m, el gráfico 9 muestra las variaciones promedio para cada uno de los pozos.

No se cuenta con datos de coeficiente de almacenamiento, por lo que se asumió un valor teórico de 0,1, tomando en cuenta la porosidad efectiva de las muestras de

suelo (anexo C) las cuales son similares para arcillas, si bien son datos de suelos estos son generados a partir de la meteorización de las rocas de la Formación Liberia y que se trata de un acuífero libre, como se detallará en la sección 5,6. También es necesario multiplicar los resultados por un área de influencia, dado que los datos no están distribuidos y la zona es plana las áreas se calcularon utilizando polígonos de Thiessen como se observa en la figura 50. La tabla 14 resume los datos utilizados y los resultados obtenidos.

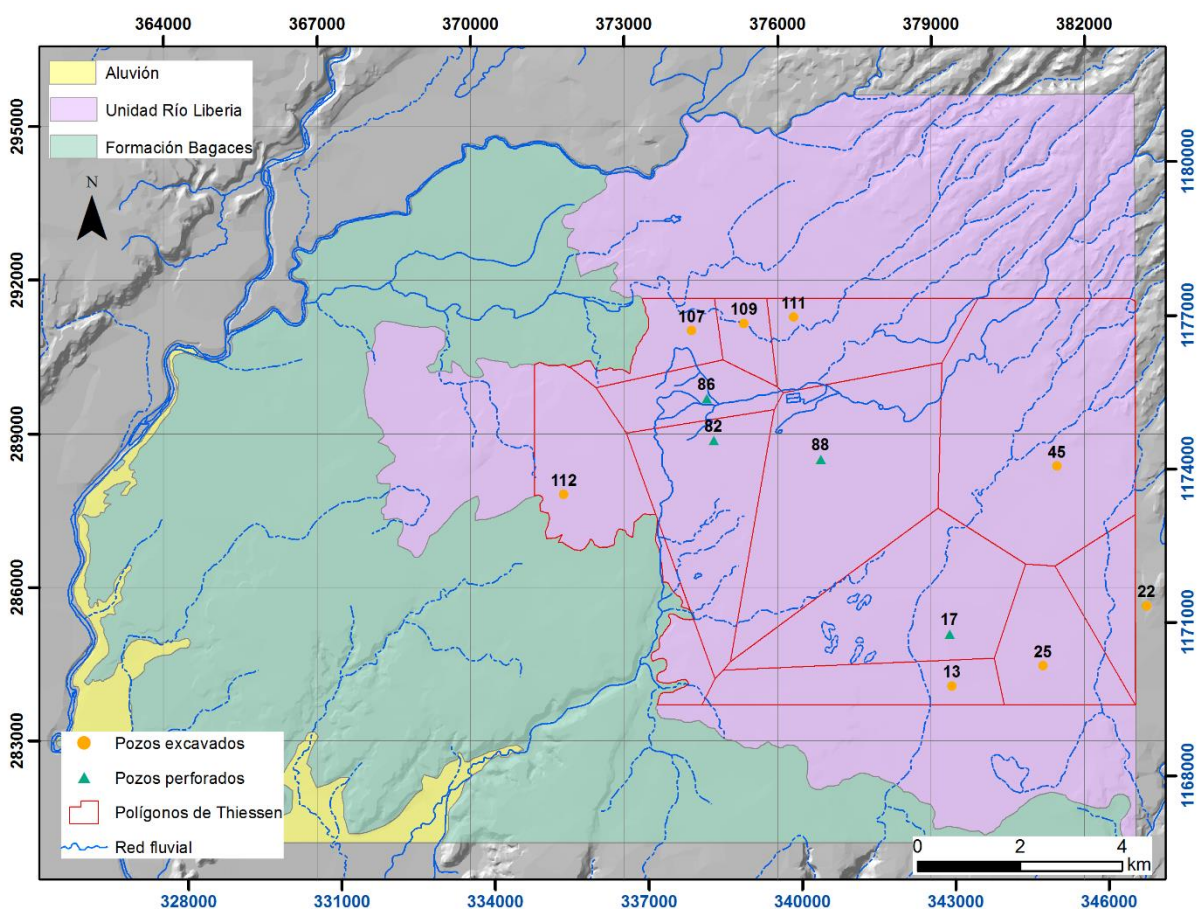


Figura 50. Ubicaci3n de pozos para c3lculo de la recarga mediante m3todo de FNF.

Gráfico 8. Cambio en el almacenamiento de los pozos utilizados para calcular la recarga mediante método de FNF.

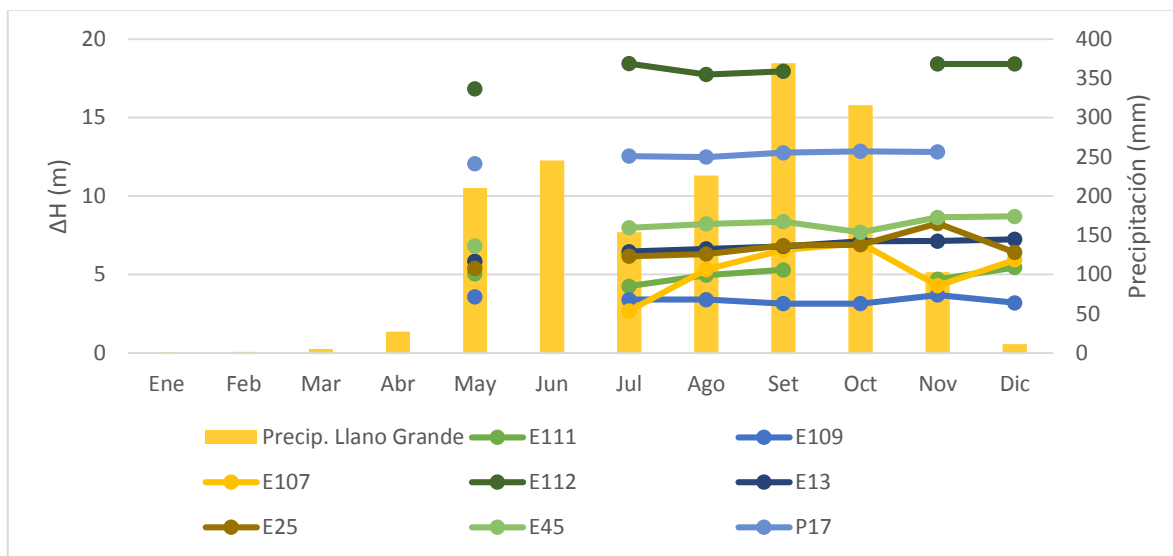


Gráfico 9. Cambio promedio anual del almacenamiento de pozos que captan acuífero Liberia.

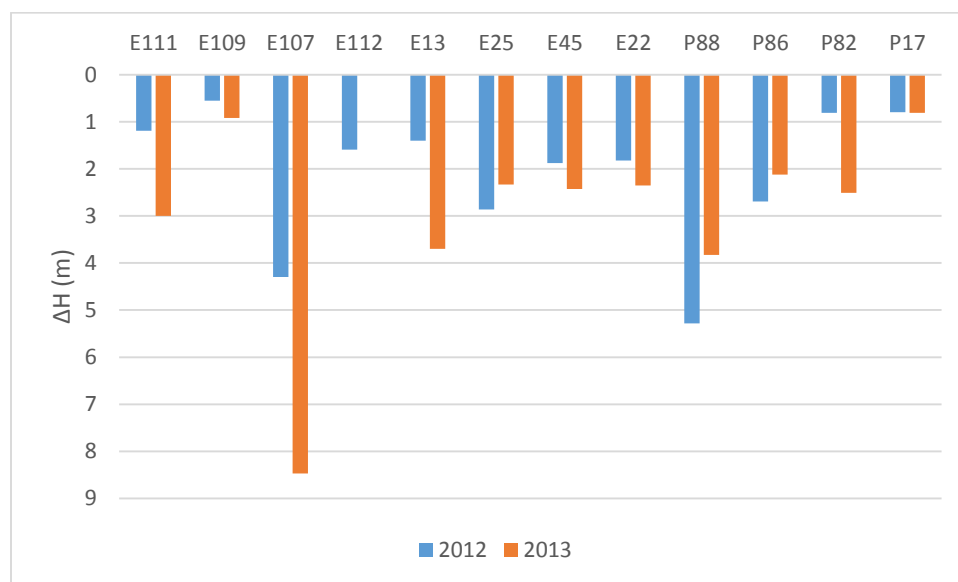


Tabla 14. Calculo de la recarga mediante hidrograma de pozos.

Pozo	Δ almacen. (mm) 2012	Δ almacen. (mm) 2013	S	Recarga 2012 (mm)	Recarga 2013 (mm)	Área (m ²)	Volumen (mm/año) 2012	Volumen (mm/año) 2013
E111	1190	3000	0,1	119	300	5611738,2	667796845,4	1683521459
E109	550	920	0,1	55	92	1464119,82	80526590,37	134699024
E107	4300	8470	0,1	430	847	2431128,16	1045385107	2059165548
E112	1590	-	0,1	159	-	7583798,25	1205823922	-
E13	1400	3700	0,1	140	370	4399030	615864199,7	1627641099
E25	2860	2330	0,1	286	233	4698965,42	1343904111	1094858944
E45	1880	2430	0,1	188	243	17678957,8	3323644075	4295986757
E22	1820	2350	0,1	182	235	2929933,13	533247829,2	688534285
P88	5280	3830	0,1	528	383	13757664,2	7264046679	5269185375
P86	2690	2120	0,1	269	212	3189897,4	858082400,1	676258248
P82	810	2510	0,1	81	251	7934722,96	642712559,5	1991615462
P17	800	810	0,1	80	81	9935097,37	794807789,5	804742887

De acuerdo con los resultados en la zona estudiada, la recarga en el 2012 es de 582,69 l/s (0,5827 m³/s) y en el 2013 es de 644, 54 l/s (0,6445 m³/s). Según datos de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Daniel Oduber del IMN, el volumen de lluvia promedio en esta zona en el 2012 fue de 3002,1 l/s y en el 2013 fue de 3226,2 l/s (anexo B), es decir, en el 2012 la recarga fue 19% del total de precipitación, mientras que en el 2013 fue de 20%. Si calculamos la recarga potencial mediante el método de Schosinsky (2006), únicamente para el área utilizada (de la figura 49), esta es el 23% del total de precipitación, se debe tomar en cuenta que en este caso se utilizó la precipitación promedio de 39 años y esta es mayor que la precipitación de los años 2012 y 2013 como se puede observar en el anexo B.

Según Healy & Cook (2002) algunas de las ventajas de esta metodología es que es sencilla e independiente respecto al mecanismo de desplazamiento del agua en la zona no saturada. Sin embargo se debe tomar en cuenta algunos supuestos que tienen gran influencia en su aplicación, entre ellos, se asume que el hidrograma de pozo representa sola las fluctuaciones naturales del nivel del agua causado por recarga y descarga, también se asume que S es constante durante el período de tiempo de las fluctuaciones del nivel de agua, algunos estudios han cuestionado la validez de esta suposición (USGS, 2017).

Es importante tomar en cuenta algunas limitaciones en el uso de esta metodología, entre ellas no se cuenta con datos completos de los años estudiados, idealmente se requieren datos diarios para calcular el ΔH mediante una curva de recesión.

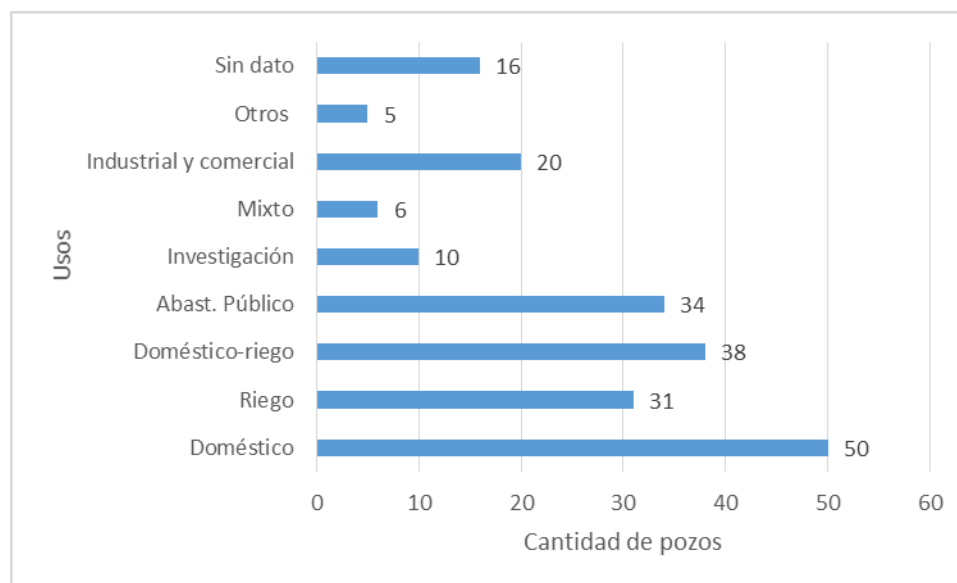
También el valor de S es un valor teórico puesto que no se cuenta con pruebas de campo, además se asume que este valor es el mismo en todos los pozos.

5.3 Inventario de pozos

Para la construcción del modelo hidrogeológico se revisaron y recopilaron 210 pozos con información litológica de la base de datos del SENARA y del AyA, los registros se extienden desde los años 1967 hasta el año 2016.

De acuerdo con esta información disponible el agua subterránea en la zona de estudio se usa principalmente con fines domésticos y riego de cultivos, y para abastecimiento público tal como se observa en el gráfico 10. Los pozos de investigación incluyen 6 piezómetros contratados por SENARA perforados en 2014 y 4 pozos del proyecto AQUASUB perforados en los años 70. La ubicación de estos pozos se puede observar en la figura 51, mientras que el detalle de los mismos se encuentra en el anexo A.

Gráfico 10. Cantidad de pozos vs usos, según base de datos de SENARA y AyA.



Los pozos se distribuyen de manera casi paralela a la ruta nacional #1 y #21, los principales vacíos de información se encuentran hacia el noroeste y el sur de la zona de estudio, los cuales posiblemente corresponden con áreas no perforadas (figura 51). El 49% de los pozos tiene una profundidad entre 50 m y 100 m, 34 % tienen una profundidad mayor a 100 m (163 m es la profundidad máxima) y únicamente 17 % tienen una profundidad menor a 50 m, de estos únicamente dos pozos tienen profundidades menores a los 30 m.

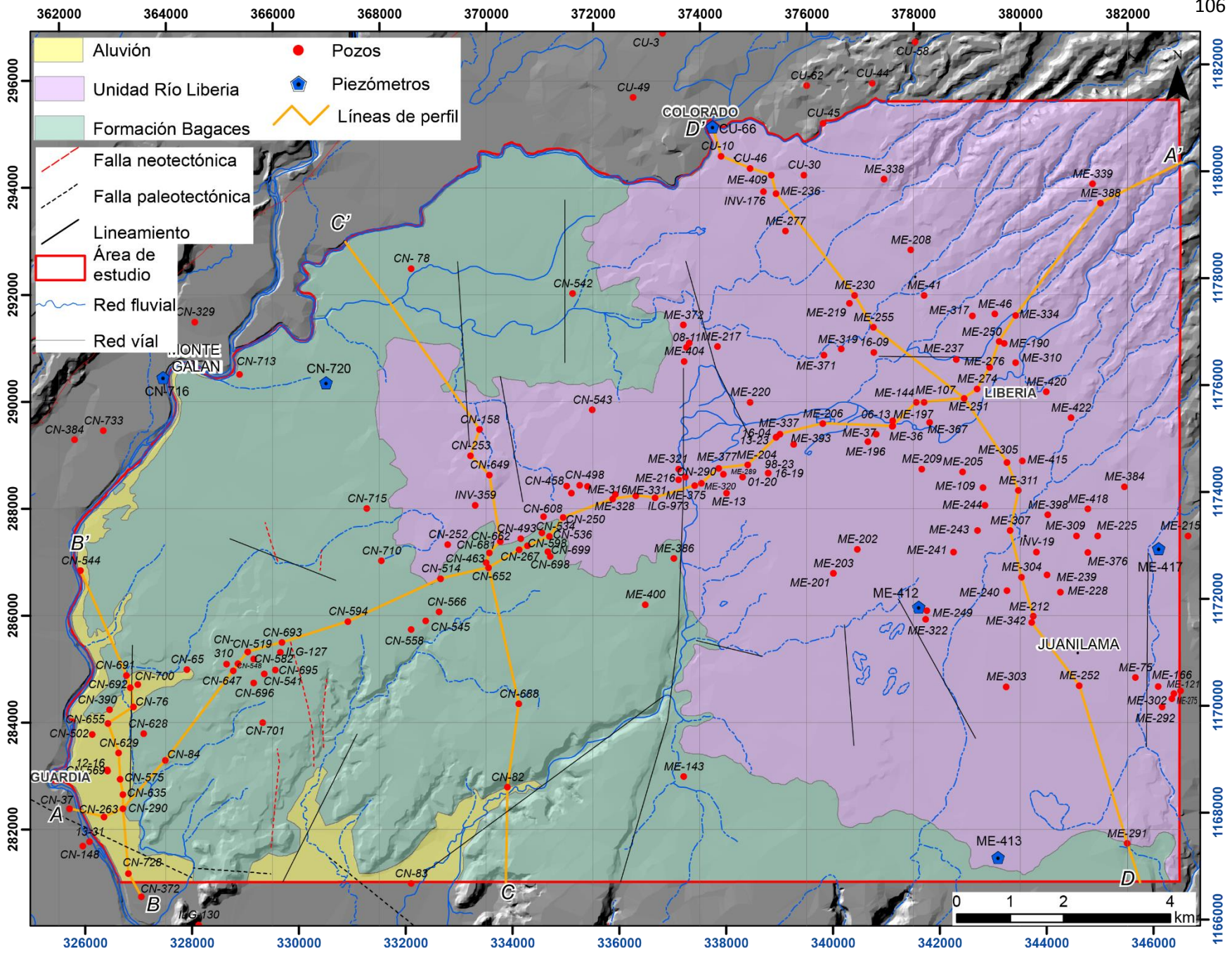


Figura 51. Mapa de ubicación de pozos con información litológica y líneas de perfil

5.4 Perfiles hidrogeológicos

A partir de la información de los pozos y la geología superficial se construyeron 4 perfiles hidrogeológicos con el fin de identificar los niveles de agua subterránea y su relación con las unidades geológicas, la ubicación de estos perfiles se puede observar en la figura 51, el primero de ellos tiene una orientación suroeste- noreste, mientras que los tres últimos tienen un rumbo aproximado noroeste-sureste, sus longitudes oscilan entre 4,6 km y 25,6 km.

La unidad inferior corresponde con la Formación Bagaces, tal como se puede observar en los 4 perfiles (figura 52), el espesor máximo observado en estos es de 137 m en el perfil C-C' reportado por el pozo CN-82, sin embargo el mayor espesor alcanzado en la zona de estudio es de 150 m por el piezómetro CN-720.

Según las descripciones la unidad está compuesta por flujos piroclásticos, en algunas ocasiones separados por paleosuelos, con intercalaciones de lavas y depósitos sedimentarios, las ignimbritas normalmente son de color gris oscuro a gris claro y se encuentran intercaladas con tobas líticas de color gris a cafezusco. Como se indicó anteriormente las descripciones litológicas de los pozos normalmente son breves, lo que no permitió separar la Formación Bagaces en unidades de flujo, por tanto esta se tomó como una sola unidad y se separaron únicamente las lavas y los materiales sedimentarios asociados cuando fue posible.

Las lavas se pueden observar principalmente en el perfil A-A', en el perfil C-C' únicamente se describen en el pozo ME-212, sin embargo se incluye la proyección de algunos pozos cercanos. En el área de estudio 48 pozos reportan la presencia de lavas, estas son grises, normalmente descritas como vesiculares y lajeadas, se encuentran fracturadas en algunas ocasiones y su profundidad se encuentra entre los 13 mbns hasta 129 mbns, en general hacia el noreste se presentan a mayor profundidad, como es de esperar pues hacia este sector la Formación Bagaces se encuentra a una mayor profundidad. Mientras tanto los espesores de las lavas son muy variados estos oscilan entre 2 m y 90 m, la figura 53 muestra la distribución de los pozos en los cuales se encontraron las mismas.

Las lavas se consideran importantes pues como se mencionó anteriormente estas presentan una porosidad primaria y secundaria importante, en tres de los piezómetros en la zona de estudio que presentan lavas se determinó, mediante ensayos de Lugeon, que estas presentan una permeabilidad moderada a alta, si bien no siempre es alta sí es mayor respecto al resto de la columna, por lo tanto presentan mejores condiciones hidrogeológicas. Respecto a los pozos que reportan lavas es importante tomar en cuenta que estas pueden ser confundidas con algunas ignimbritas, esto sucedió, por ejemplo, en el piezómetro ME-417 donde en el

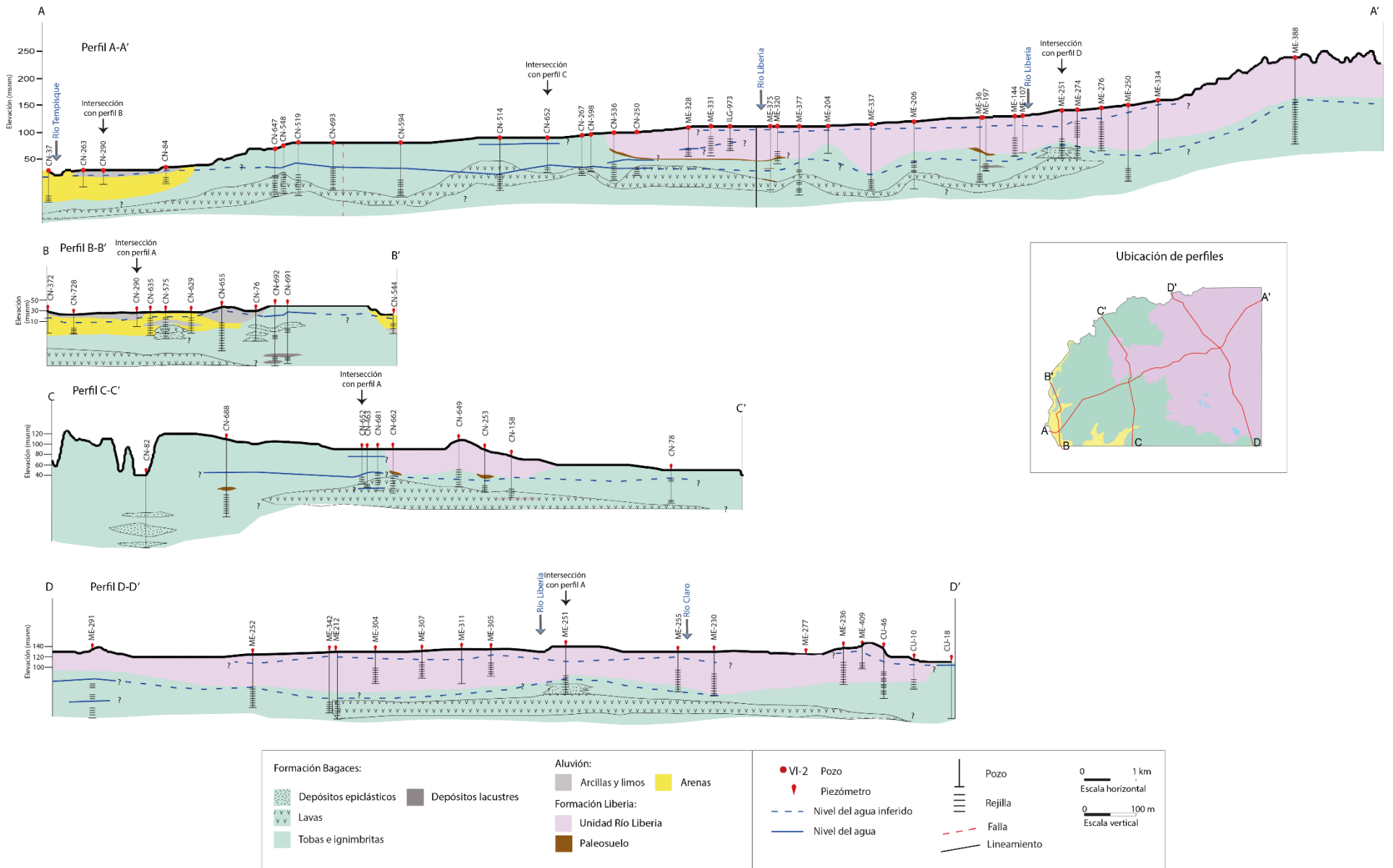


Figura 52. Perfiles hidrogeológicos.

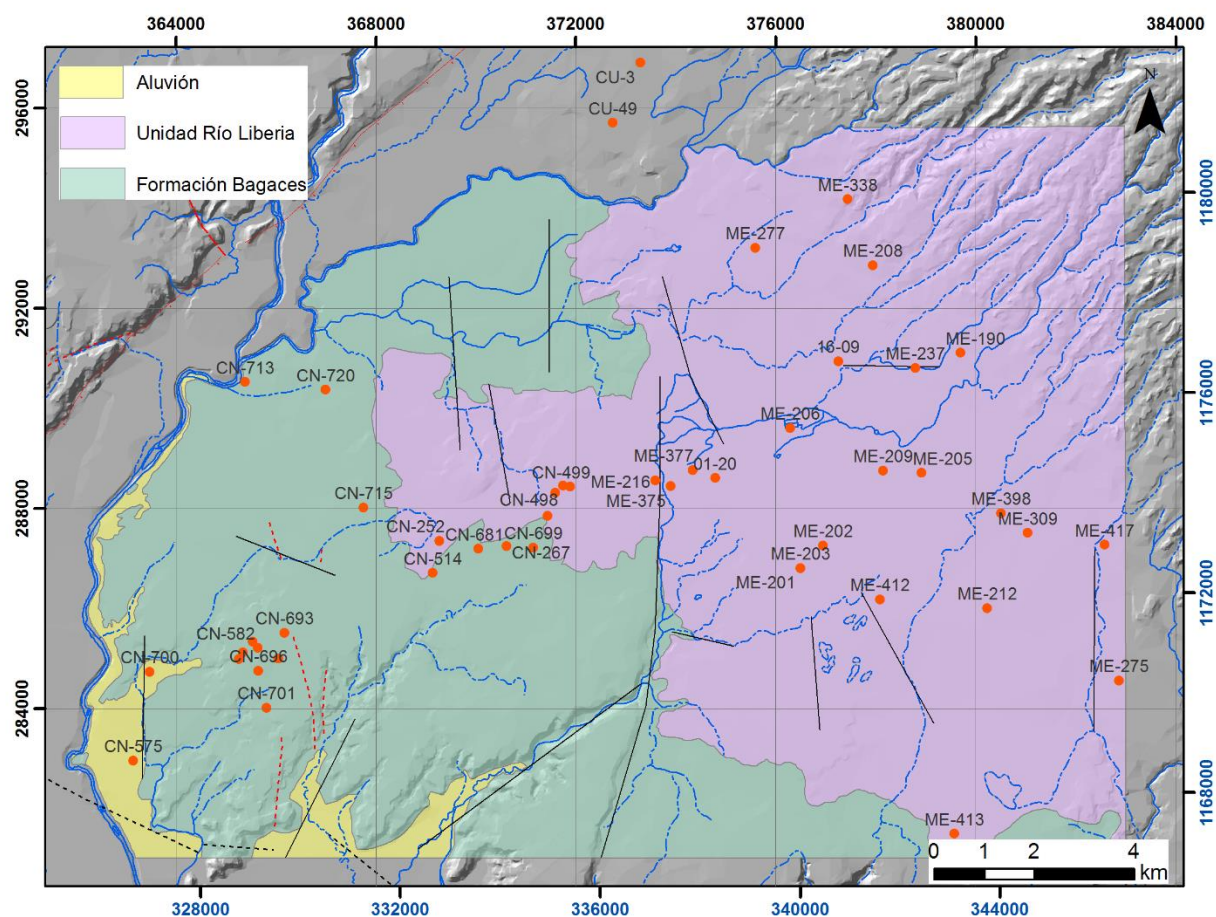


Figura 53. Pozos con presencia de lavas según expediente de SENARA.

expediente de SENARA se describe el núcleo de perforación a 129,6 m como lavas andesíticas, sin embargo Solano (2018) comprobó mediante petrografía que se trataban de ignimbritas, claramente podrían ser más fácilmente confundidas observando cortados que se recuperan en superficie durante el proceso de perforación. El pozo CN-519 (perfil A-A') describe lavas muy someras, sin embargo mediante observaciones de campo, se cree que estas pueden haber sido confundidas con ignimbritas de aspecto similar a lavas.

Intercalados entre las tobas e ignimbritas de la Formación Bagaces se encuentran también materiales sedimentarios que corresponden con sedimentos lacustres y depósitos epiclásticos, estos se pueden observar en los cuatro perfiles realizados, la granulometría de los depósitos epiclásticos normalmente es gruesa y su espesor es variable, el promedio ronda los 8 m, sin embargo en toda el área de estudio son pocos los pozos que describen estos materiales por lo que se interpretan como depósitos lenticulares, algunos pozos también detallan capas arcillosas que podrían estar asociadas con depósitos lacustres, regularmente de poco espesor. De acuerdo con Denyer et al. (2014) el origen de estos se debe a que las violentas

erupciones produjeron un desequilibrio en todo el sistema de drenaje, y originó grandes avenidas fluviales así como la formación de lagos y lagunas por taponamiento de los cauces.

Hacia el Oeste del área de estudio, sobreyaciendo a la Formación Bagaces se encuentran depósitos aluviales cuaternarios originados por la sedimentación del río Tempisque, este depósito tiene una granulometría heterogénea, pero debido al detalle con que cuentan las descripciones de los pozos se dividió en finos que incluyen limos y arcillas y arenas que van desde finas a gruesas. De acuerdo con el perfil B-B' esta unidad tiene un espesor de aproximadamente 43 m, sin embargo Alpizar (2014) asignó un espesor máximo del aluvión de 25 m en la margen derecha del río y determinó que muchos de los sedimentos finos (aéreos, fluviales y lacustres) forman parte de la Formación Bagaces y los depósitos gruesos o de alta productividad hidrogeológica no tienen tampoco ninguna relación con el aluvión y forman parte de los eventos fluviales que se dieron de forma contemporánea a la depositación de la Formación Bagaces, lo cual se basa en la interpretación de varios núcleos de perforación ubicados en la margen derecha del río y en observaciones de campo a lo largo del río Tempisque aguas arriba de Guardia donde se observó una leve cobertura de aluviones, lo cual también es mencionado por Denyer et al. (2014).

El piezómetro CN-716 se ubica al NW del área, en Monte Galán (al lado derecho del río), de acuerdo con las descripciones de los núcleos de perforación de Solano (2018) y la descripción del expediente de SENARA, el espesor de aluvión es de 87 m, es posible, tal como menciona Alpizar (2014), que los depósitos fluviales del paleo-Tempisque asociados a la Formación Bagaces han sido confundidos con el aluvión reciente, sin embargo para realizar esta separación es necesario contar con más evidencias ya que con la información de los pozos con la que se cuenta no es posible.

Al este del área de estudio se encuentran rocas de la Formación Liberia, las cuales se asocian con la unidad Río Liberia como se observa en los perfiles A-A', C-C' y D-D' (figura 52), según la descripción de los pozos generalmente consisten en tobas blancas a gris claras con un contenido importante de cuarzo y micas, su espesor varía desde 35 m hasta 80 m, cerca de la Ciudad de Liberia como se puede observar en el perfil C-C'. El contacto entre la Formación Liberia y la Formación Bagaces se puede observar en 3 de los perfiles y presenta cierta inclinación, similar al perfil de la tomografía 3-3'.

Respecto a la profundidad del agua, se observan dos niveles principales, el primero de ellos es un nivel somero relacionado con la Formación Liberia, este nivel es captado por varios pozos excavados en la zona y por algunos pozos perforados, no obstante este se muestra de manera inferida en los perfiles A-A' y D-D' pues si bien

se describe la presencia del mismo en muchos pozos no siempre se indica la profundidad a la que apareció el agua o las variaciones del nivel durante la perforación, sino que se reporta un nivel que representa la mezcla de acuíferos o el nivel piezométrico del acuífero subyacente. En el perfil C-C' el reporte de los pozos CN-662, CN-649, CN-253 y algunos otros pozos cercanos, indican la ausencia del acuífero Liberia en esta zona. De acuerdo a la información disponible este es un acuífero libre y en general muestra un potencial bajo a mediano, razón por la cual normalmente se capta únicamente el acuífero Bagaces o una mezcla de ambos.

El segundo nivel se encuentra de rocas de la Formación Bagaces y el aluvión del río Tempisque, su profundidad varía desde los 1,2 mbns en el Oeste del área hasta más de 100 mbns al Este como se puede observar en los perfiles A-A' y B-B', esto se debe a la elevación y dirección de flujo del agua como se presentará más adelante. Igual que en el nivel anterior, los pozos no siempre indican la profundidad a la que apareció el agua, por lo que el nivel observado en los perfiles fue inferido en algunas secciones de acuerdo a las descripciones de los informes de perforación o a la posición de la rejilla.

Este sistema acuífero es complejo debido a las heterogeneidades de las formaciones geológicas en las que se hospeda, las cuales son producto de la génesis de los flujos piroclásticos, pues estos rellenan la paleotopografías por lo que su espesor varía lateralmente, también dentro de una misma unidad de flujo se pueden encontrar capas de diferentes facies de depositación, por lo que algunas de estas capas podrían constituir horizontes de baja conductividad hidráulica al igual que las capas arcillosas y los paleosuelos que separan las unidades; esto junto con las heterogeneidades propias de un medio fracturado ocasionan que el acuífero presente variaciones en sus propiedades hidráulicas, es por ello que de acuerdo a la información de los pozos, el grado de confinamiento en el acuífero varía de libre a confinado y su potencial es bajo a muy alto, generalmente los pozos que captan horizontes lávicos mencionan una mayor productividad del pozo. De manera general en la zona central y hacia el este hay un mayor confinamiento, sin embargo también en estas zonas hay sectores donde el acuífero se comporta como libre.

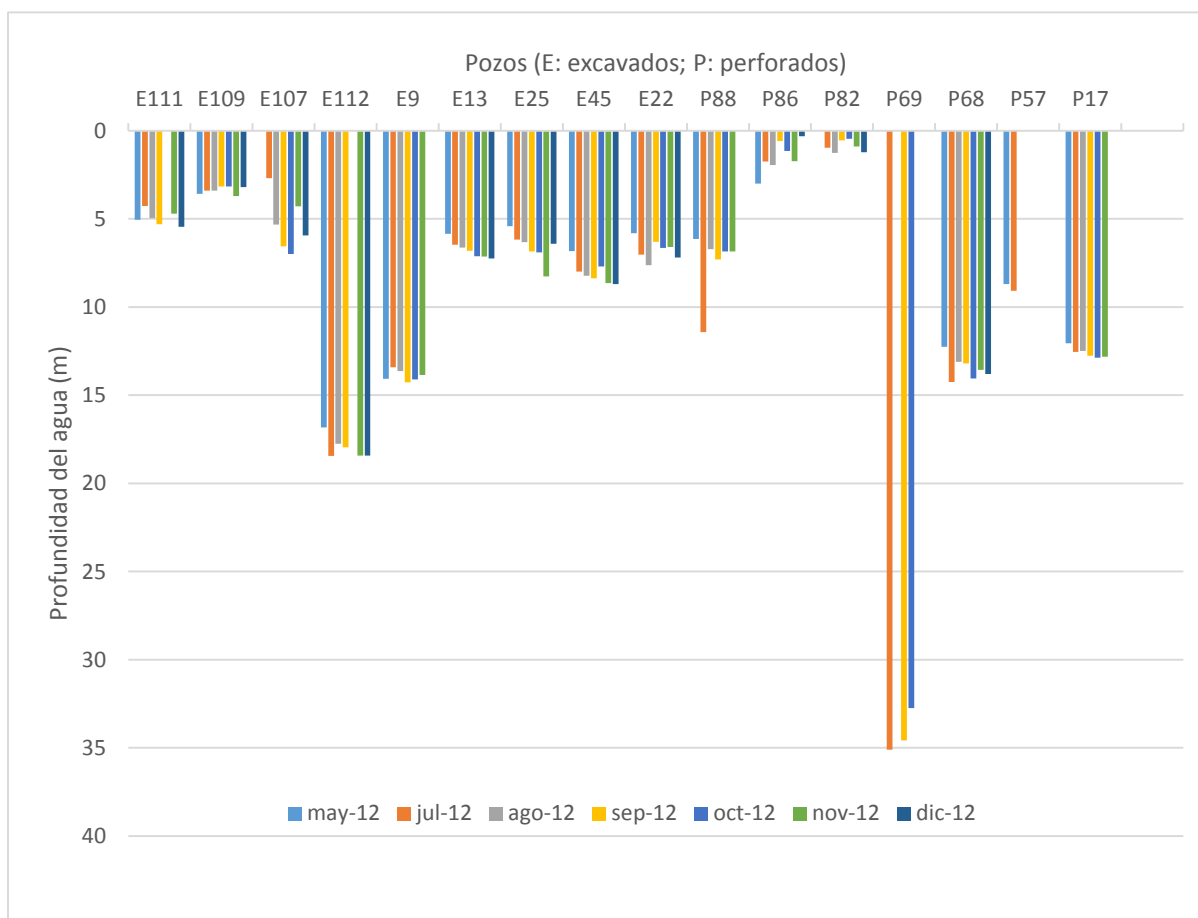
Este acuífero se conecta con los depósitos aluviales del río Tempisque y quebradas cercanas, la profundidad del agua varía entre 4 m y 7 m, generalmente es libre aunque algunos pocos pozos indican confinamiento, como se mencionó anteriormente es probable que parte de estos sedimentos correspondan con depósitos del paleotempisque, en cuyo caso los pozos estarían captando una mezcla de niveles relacionados con ambas unidades geológicas.

5.5 Niveles de agua y flujo subterráneo

Como se mencionó anteriormente, en la sección 5.2, SENARA definió una red de monitoreo de niveles en la cuenca del río Tempisque, por lo que se cuenta con datos desde mayo del 2012 hasta septiembre del 2017 de 9 pozos excavados y 14 pozos perforados, algunas limitaciones importantes con estos datos es que no están distribuidos por toda el área de estudio, no todos los meses se pudo medir el nivel en todos los pozos por lo que algunos años cuentan con muy poca información, no obstante con algunas excepciones los niveles varían poco; otro aspecto limitante es que no se conoce el armado de los pozos perforados.

El gráfico 11 muestra las variaciones mensuales de los niveles estáticos para el año 2012, el promedio de estos cambios en el almacenamiento es de 1,92 m durante el 2012, el promedio de todos los años medidos es de 2,25 m. Si bien no se cuentan con datos de todos los meses de manera general se observa una disminución en el nivel después del mes de mayo, como se indicó en la sección 1.6 en Liberia la estación seca se extiende de diciembre a abril y la lluviosa de mayo a noviembre, con una disminución de las lluvias en julio-agosto. El registro de las mediciones se encuentra en el anexo D.

Gráfico 11. Variaciones del nivel estático en mayo del 2012 en pozos de la red de monitoreo de SENARA.



Con los datos anteriores se generaron redes de flujo para varios meses y en diferentes años, para ello se asumió que los pozos excavados y algunos perforados captan únicamente el acuífero Liberia esto con base en la información de los perfiles y pozos cercanos. La interpolación fue realizada con el software Surfer, se obtuvieron los mejores resultados con los interpoladores kriging, triangulación por interpolación lineal y vecino natural, los cuales mostraban la misma tendencia de las curvas siendo estas más suavizadas con kriging por lo que se utilizó este método, para evitar la formación de “ojos de buey” en los extremos y la interpolación en zonas sin información se utilizó la opción de interpolar únicamente dentro de la frontera convexa de todos los datos.

De acuerdo con los mapas no hay variaciones significativas en la dirección del flujo de agua en ninguna época del año, la cual tiene una dirección predominante hacia el oeste, la figura 54 muestra la red generada para julio del 2012, que es uno de los meses que cuenta con más información, el resto de mapas de pueden observar en el anexo E.

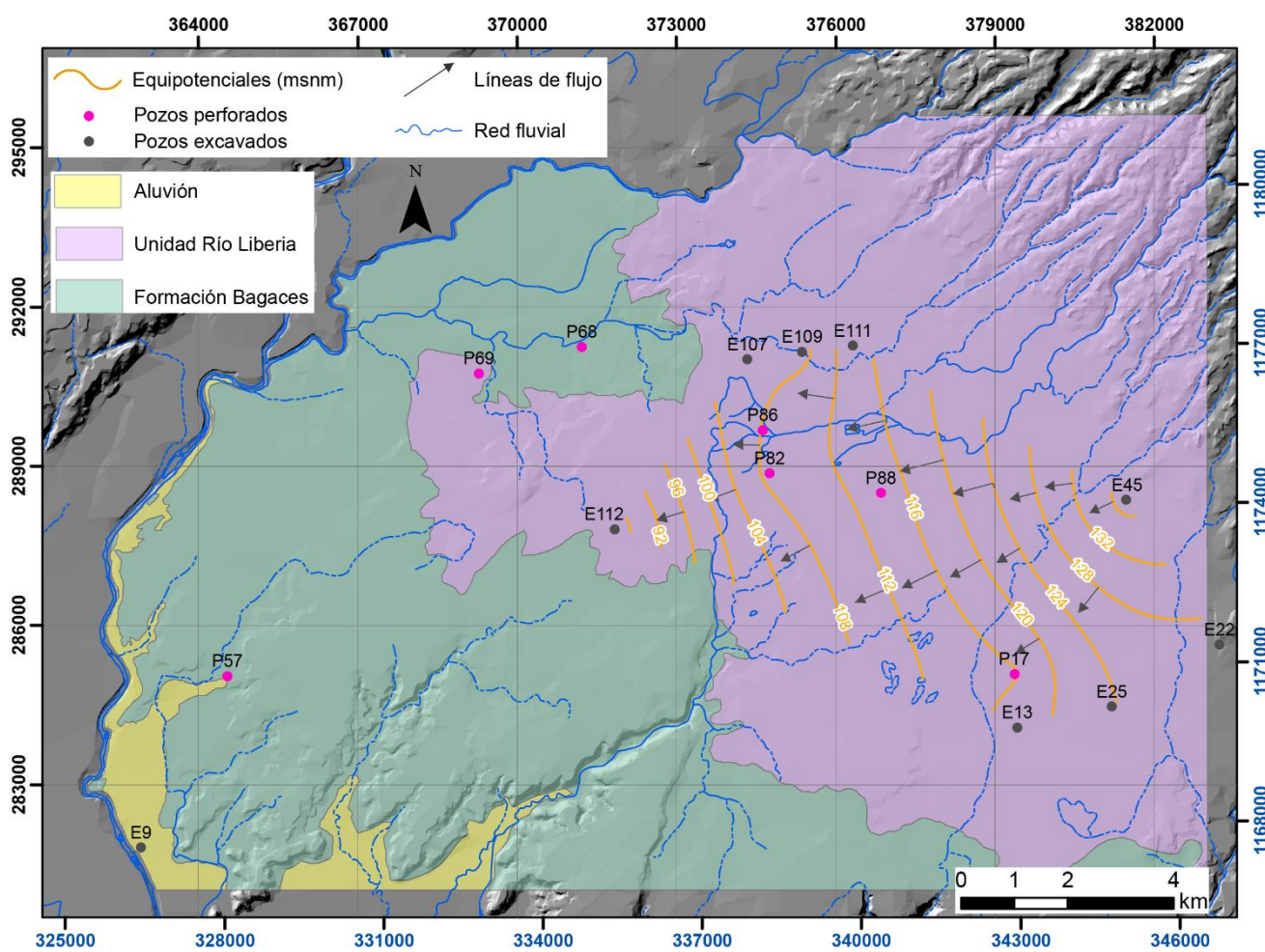


Figura 54. Red de flujo de acuífero Liberia para julio de 2012, de acuerdo a datos de la red de monitoreo de SENARA. Los valores utilizados se encuentran en el anexo D.

Puesto que los pozos de monitoreo son pocos y no tienen una buena distribución también se generaron redes de flujo con los datos de niveles piezométricos obtenidos de los pozos del SENARA, interpretando la información de los expedientes se separaron los niveles que correspondían al acuífero Liberia y a Bagaces, sin embargo es posible que algunos niveles correspondan con una mezcla de ambos, esto es parte de las limitaciones de los datos, pues en algunos casos se reporta únicamente un nivel final y no la variación de este durante el proceso de perforación. También es importante tomar en cuenta que los valores reportados al SENARA corresponden a épocas que representan una condición promedio, pero como se observa en los mapas del anexo E, es de esperar que a pesar de las variaciones mensuales y anuales la tendencia general del flujo se mantenga. El anexo D muestra los valores utilizados para realizar la interpolación.

Los resultados se pueden observar en las figuras 55 y 56, en ambos casos el flujo muestra una tendencia general a la morfología del terreno y las equipotenciales se mantienen bajo el nivel de la topografía pero sería importante realizar aforos diferenciales con el fin de conocer la relación entre el agua superficial y subterránea. En el caso del acuífero Liberia, el agua fluye desde la zona montañosa al noreste hacia el oeste-suroeste con un gradiente hidráulico promedio de 0,02.

Para el acuífero Bagaces el agua también fluye desde el noreste hacia el oeste predominantemente, al acercarse al río Tempisque el agua fluye hacia el noroeste, oeste y suroeste de igual manera que la red fluvial, en este caso el gradiente hidráulico promedio es de 0,13. La descarga se daría en el río Tempisque y el río Colorado como flujo base y por medio de manantiales de acuerdo con Alpizar (2014). La figura 57 muestra el comportamiento hidráulico del río Tempisque de acuerdo a aforos diferenciales realizados en el 2002 mencionados por Alpizar (2014) y aforos realizado en el 2009 mencionados por Vargas (2013), la tabla 20 muestra un resumen de los datos. De acuerdo con lo que se observa en la figura la dinámica de la interacción del río con el acuífero puede cambiar, esto se debe a variaciones en el nivel del río o de los acuíferos en la margen derecha e izquierda del mismo.

Tabla 15. Resumen de aforos realizados en el río Tempisque.

Aforo	Este	Norte	Caudal (l/s)	
Alpizar (2014)	1	365380	291300	4591
	2	365400	291000	619
	3	365300	290890	5544
	4	362490	287800	6212
	5	362285	282700	5663
	6	362750	281800	5693

Aforo	Este	Norte	Caudal (l/s)	
Vargas (2013)	1	363300	288832	5873,7
	2	362304	288389	6035,8
	3	362308	287538	7100,5
	4	362228	285228	6121,5
	5	362097	283100	6046,4

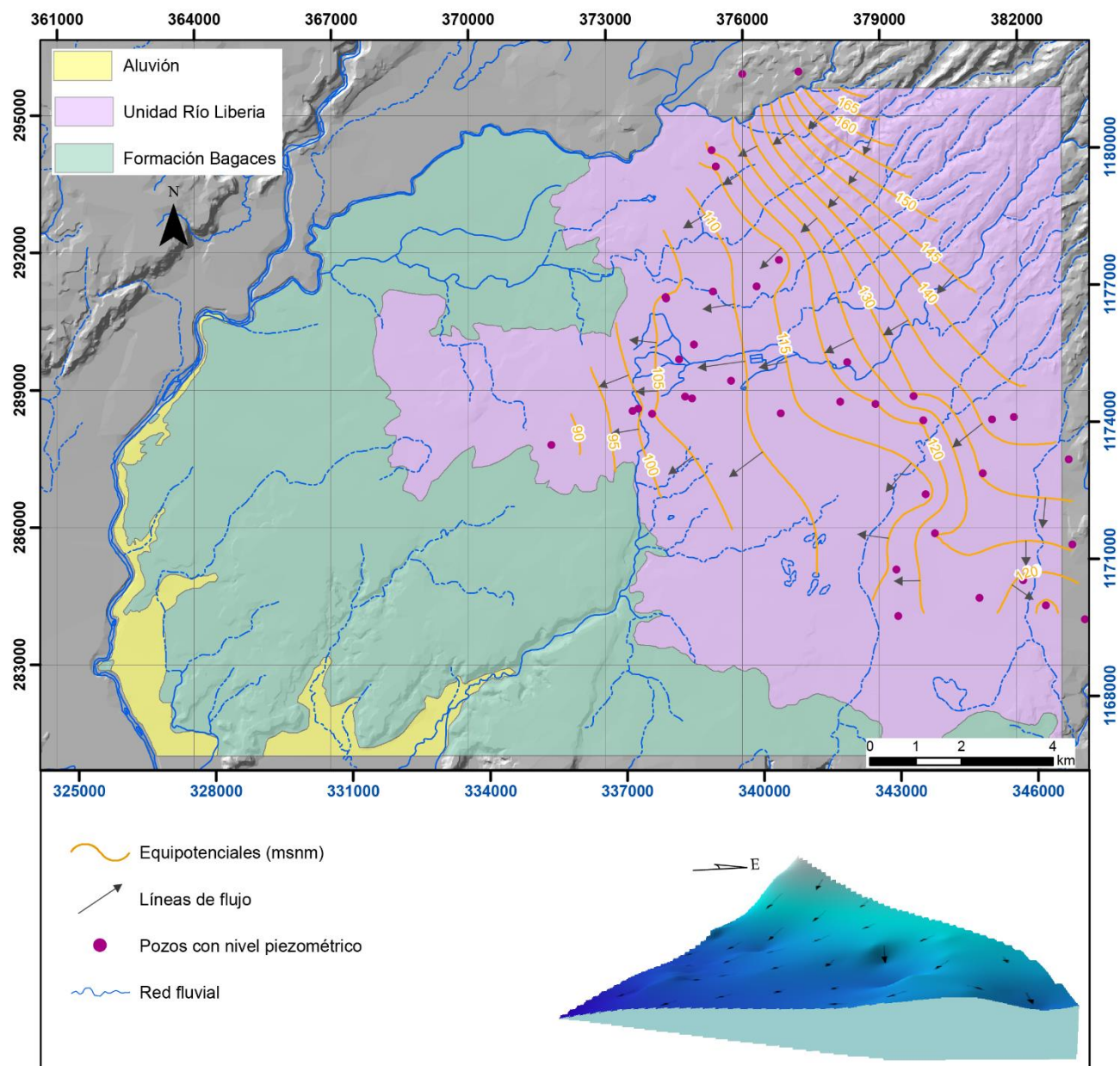


Figura 55. Red de flujo del sistema acuífero Liberia de acuerdo a la base de datos de SENARA.

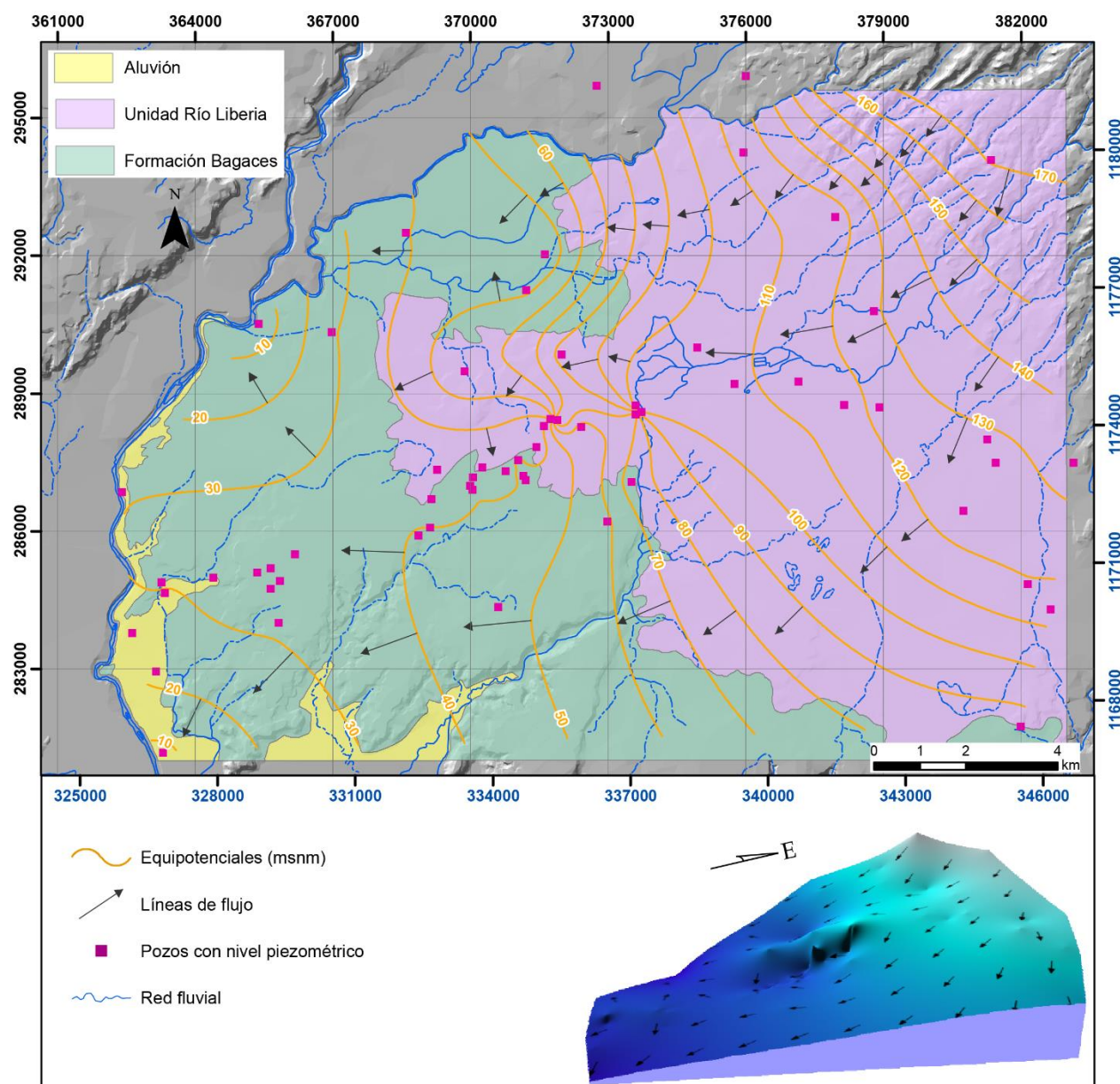
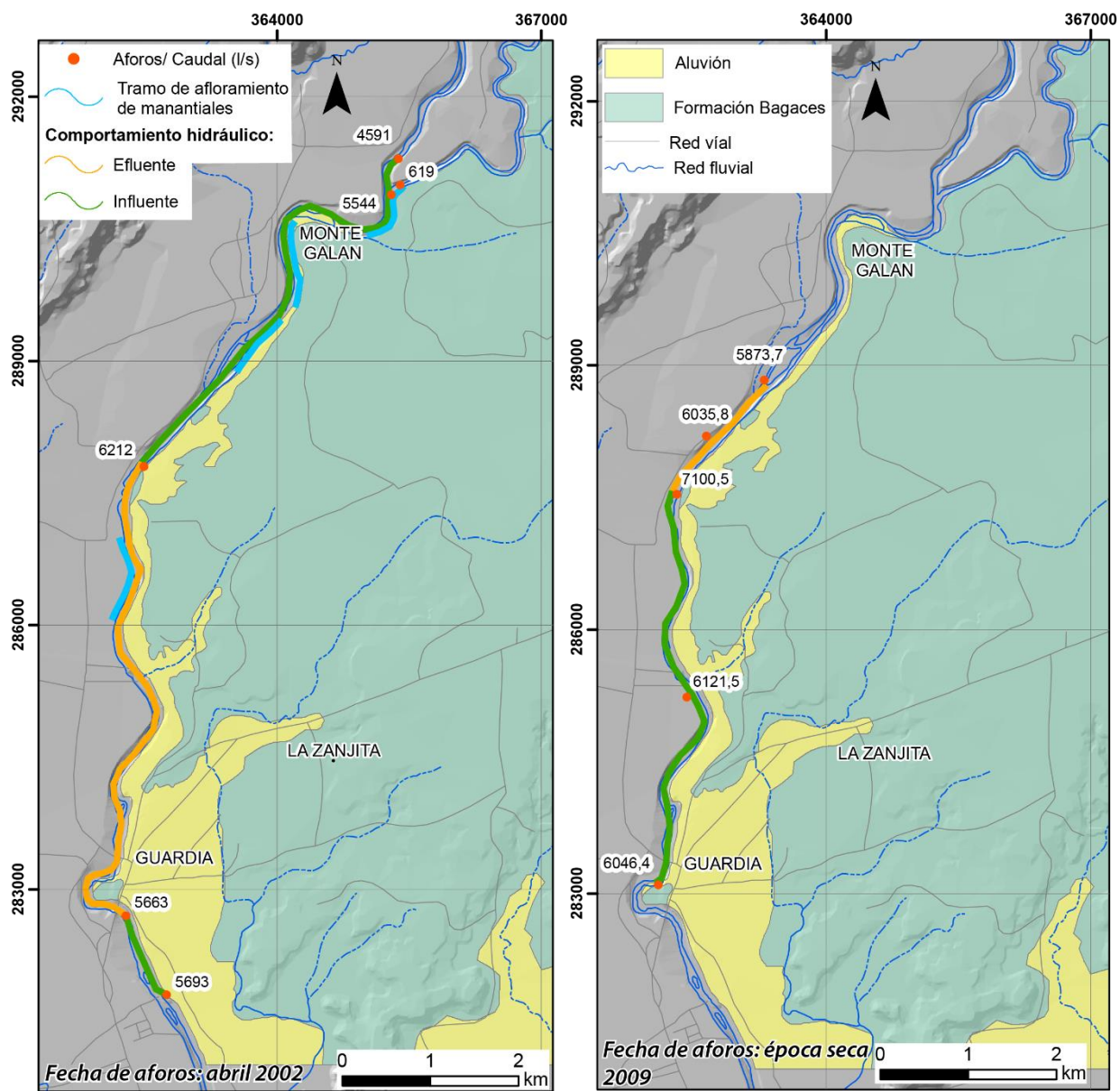


Figura 56. Red de flujo del sistema acuífero Bagaces de acuerdo a la base de datos de SENARA.



Tomado de Alpizar (2014)

Elaborado con base en datos de Vargas (2013)

Figura 57. Mapa de ubicación de aforos y tramos de influencia e efluencia del río Tempisque.

5.6 Parámetros hidráulicos

Se cuenta con datos de pruebas de bombeo de 51 pozos de la base de datos de SENARA, la mayoría de estos captan el acuífero Bagaces o la rejilla se ha colocado en diferentes unidades por lo que el valor obtenido es un promedio del equilibrio de los acuíferos captados, en el caso del acuífero Liberia únicamente se cuenta con datos de 4 pozos. También se recopilamos datos de pruebas de bombeo de Collins (1999), realizadas en los alrededores de la ciudad de Liberia, de estos cabe resaltar que si bien se indica que algunos captan el acuífero Liberia no se detalla su ubicación, a pesar de que esto hace que los datos sean poco representativos se utilizaron los valores de transmisividad para la clasificación de la misma, como se verá a más adelante. La distribución espacial de los valores de transmisividad (T) se puede observar en la figura 54, únicamente 7 pozos cuentan con valores de coeficiente de almacenamiento (S), la tabla 15 muestra un resumen de la base de datos de SENARA y la tabla 16 detalla los resultados de Collins (1999).

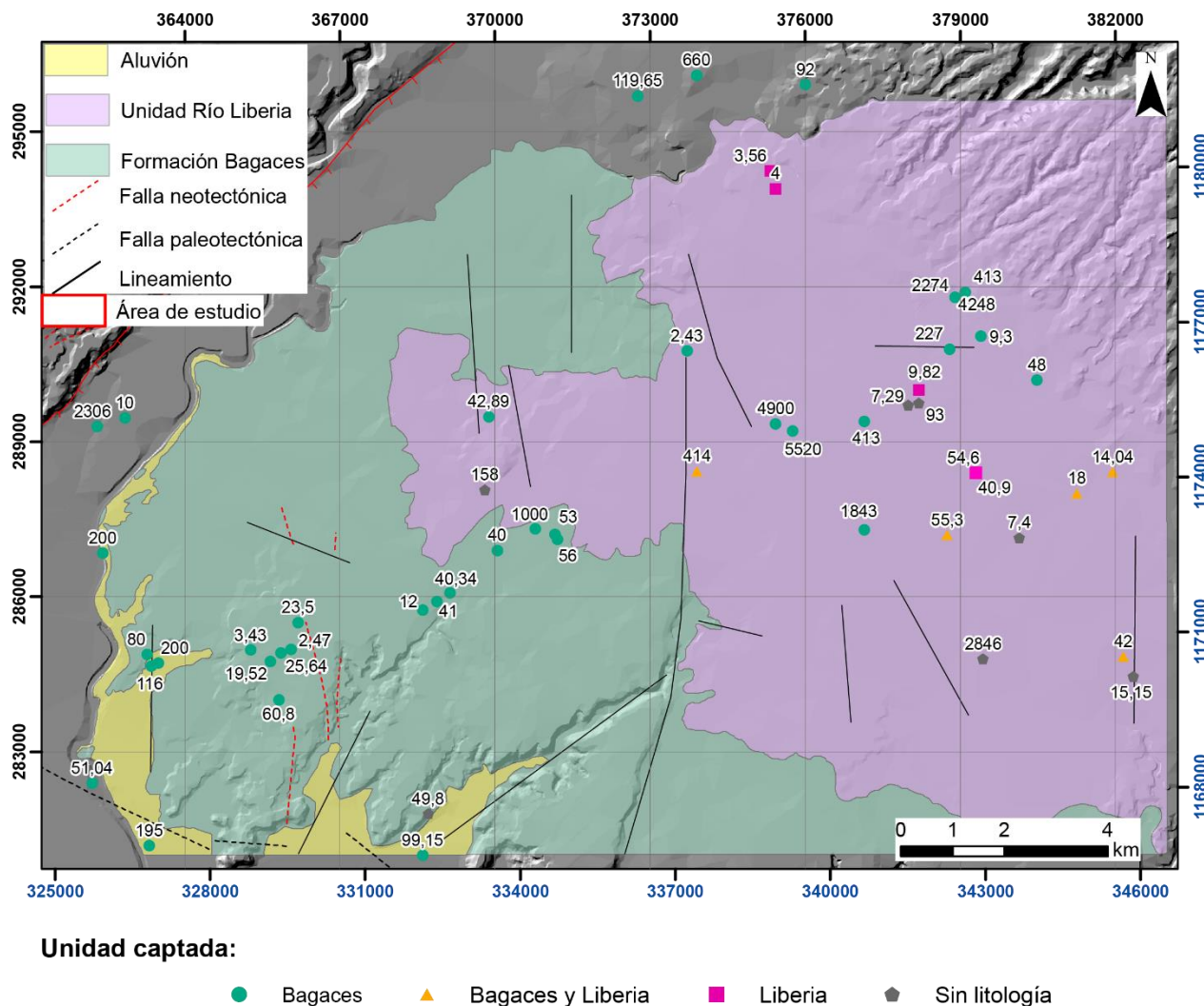


Figura 58. Mapa de valores de transmisividad (m^2/d) según expedientes del SENARA, AyA y Collins (1999).

Tabla 16. Parámetros hidráulicos según expedientes de SENARA y AyA.

N° Pozo	Coord. Este	Coord. Norte	Litología/Unidad captada	Rejilla (m)	T (m²/d)	S
CN-37	362200	282400	Aluvión	45,7-57,6	51,05	5x10 ⁻⁴
CN-57	368700	281800	Sin litología	-	49,8	-
CN-83	368600	281000	Aluvión y/o epiclastos	33,55-45,75	99,15	3,2x10 ⁻³
CN-158	369875	289489	Lavas e ignimbritas Bagaces	62-78	42,89	-
CN-267	370620	287240	Lavas e ignimbritas de Bagaces	60-75	>1000	-
CN-384	362300	289300	Aluvión o epiclastos Bagaces	30-33 / 57-66	2306	-
CN-541	365850	284920	Ignimbrita Bagaces. Sin rejilla		25,64	
CN-544	362410	286850	Aluvión y/o epiclastos	16-25	200	-
CN-545	368869	285912	Ignimbrita Bagaces	61- 67 / 73- 79 / 85 -97.	41	-
CN-558	368600	285750	Ignimbrita Bagaces	38-74 y 80-96	12	-
CN-566	369120	286080	Ignimbrita Bagaces	65-70, 76-79 / 82-97	40,34	-
CN-598	370774	287316	Ignimbrita Bagaces	60-68	1000	-
CN-647	365266	284975	Lavas e ignimbritas Bagaces	50-55 / 60-90	3,43	-
CN-652	370044	286903	Ignimbritas Bagaces	61-67/ 73-79 / 85-97	40	-
CN-691	363270	284890	Ignimbritas y tobas Bagaces	44-50 / 98-104	80	3x10 ⁻³
CN-692	363339	284663	Ignimbritas y tobas Bagaces	55,5-61,35 / 96,45-102,3	116	3,8x10 ⁻⁴
CN-693	366181	285506	Toba Bagaces	≈ 48-78 y 85-90	23,5	-
CN-695	366052	284990	Ignimbritas y tobas Bagaces	≈ 43-88	2,47	-
CN-696	365652	284748	Lavas, tobas e ignimbritas Bagaces	≈ 45-90	19,52	-
CN-698	371203	287120	Toba Bagaces	106-130	56	-
CN-699	371156	287208	Lavas	104-128	53	-
CN-700	363485	284723	Tobas e ignimbritas Bagaces	53-59 / 76-82 / 82-90	200	-
CN-701	365818	284009	Lavas y tobas Bagaces	≈ 45-77 y 82-90	60,8	-
CN-728	363302	281188	Aluvión y/o epiclastos	24-30 y 33-35	195	-
CN-733	362838	289467	Aluvión e ignimbritas Bagaces	18-48	10	-
CU-368	373900	296100	Aluvión y/o epiclastos	-	660	-

CU-49	372750	295700	Lavas	25-48	119,65	-
CU-54	373310	298700	Tobas y lavas	105-125	388	-
CU-62	376000	295920	Toba Bagaces	40-58	92	-
ME-75	382150	284850	Tobas Bagaces y Liberia	46-67	42	-
ME-107	378200	290000	Toba Liberia	-	9,82	-
ME-109	379300	288400	Toba Liberia	-	54,6	-
ME-156	378200	289750	Sin litología	60,96-85,34	93	-
ME-236	375425	293900	Toba Liberia	28-70	4	-
ME-237	378800	290800	Lavas	102-107/112-117/122-127/132-137/ 142-146/151-171	227	-
ME-241	378750	287200	Tobas Bagaces y Liberia	35-59/76-88	55,3	-
ME-375	373906	288437	Sin rejilla. Tobas Liberia, Bagaces y Lavas	.	414	1,5x10 ⁻³
ME-384	381947	288420	Tobas e ignimbritas Bagaces y Liberia	66-72/ 78-84/ 90-96/ 102-108 /114-117	14,04	-
ME-393	375758	289215	Toba Bagaces	100-122	5520	-
ME-404	373708	290765	Toba Bagaces	55-67	2,43	-
ME-406	379440	284800	Sin litología	67-85	2846	-
ME-407	382346	284461	Sin litología	65-85	15,15	-
ME-408	380146	287147	Sin litología	-	7,4	-
ME-409	375336	294249	Toba Liberia	30-42	3,56	-
ME-416	377992	289713	Sin litología	52-70	7,29	-
ME-418	381261	288005	Tobas Liberia e Ignimbritas Bagaces	60-78	18	-
ME-420	380483	290196	Tobas e ignimbritas Bagaces	52-110/122-134	48	-
INV-359	369797	288076	Sin litología	-	158	-
16-04	375432	289352	Bagaces	99,5-116/ 121,5-127	4900	-

Tabla 17. Parámetros hidráulicos tomados de Collins (1999).

N° Pozo	Coord. Este	Coord. Norte	Unidad captada	T (m ² /d)	S	N° Pozo	Coord. Este	Coord. Norte	Unidad captada	T (m ² /d)	S
42	378900	291800	Bagaces	4248	2,4x10 ⁻³	47	-	-	Liberia	9,00	-
203	377150	287300	Bagaces	1843	5x10 ⁻⁴	67	-	-	Liberia	7,50	-
42	378900	291800	Bagaces	2274	-	67	-	-	Liberia	8,60	-
110	379100	291900	Bagaces	413	-	107	-	-	Liberia	9,2	-
123	377150	289400	Bagaces	413	-	109	379300	288400	Liberia	40,9	-
147	379400	291050	Bagaces	9,3	-	117	-	-	Liberia	7,7	-

En el caso del acuífero Bagaces como se mencionó anteriormente las heterogeneidades del medio hacen que estén presentes condiciones hidrogeológicas muy variables incluso en distancias relativamente cercanas (figura 54). Tomando en cuenta únicamente los pozos que captan tobas, ignimbritas y lavas de esta formación, según la información disponible, los valores de T se encuentran entre 2,47 m²/d y 5520 m²/d, mientras que los valores de S van desde 3,8x10⁻⁴ hasta 0,003. En los pozos que captan los depósitos aluviales recientes o los epiclastos, los valores de T se encuentran entre 51 m²/d y 200 m²/d y se cuenta con dos valores de S, estos son: 5x10⁻⁴ y 3,2x10⁻³.

Krásný (1993) propone un sistema de clasificación de la magnitud y la variación de la transmisividad para estudiar la distribución estadística de este parámetro, esto con el fin de estandarizar los valores de transmisividad, su representación y comparación en estudios regionales y locales. En este sistema los rangos de transmisividad son separados en 6 clases que van desde muy alta (clase I) a imperceptible (clase VI), estos indican rendimientos potenciales del agua subterránea en diferentes medios (tabla 17) (Krásný & Sharp, 2003).

Otra propiedad importante, según la metodología, es la variación de la transmisividad, esta también se clasifica en clases, designadas de “a” a “f” basado en la desviación estándar (tabla 18).

Krásný (1993) también sugiere el uso del índice Y para estudios regionales, pues en muchas ocasiones los valores de transmisividad no están disponibles, el índice Y es una transformación logarítmica de la capacidad específica y representa un parámetro regional comparativo. Fue introducido por Jetel & Krásný (1968) (En: Krásný, 1993), su fórmula es $Y = \log(10^6 q)$, donde “q” es la capacidad específica expresada en l/s. Para la zona de estudio se utilizaron los valores de T puesto que se contaban con los mismos para el acuífero Bagaces, mientras que para los pozos que captan únicamente el acuífero Liberia, y que no cuentan con un valor de T, tampoco se tienen valores necesarios para calcular q.

Tabla 18. Clasificación de la magnitud de la transmisividad según Krásný (1993).

Coeficiente de T (m ² /d)	Clase de la magnitud de T	Denominación de la T del acuífero (del medio hidrogeológico)	Parámetros comparativos regionales aprox. Correspondientes al coeficiente de T		Estimación de posibilidades de aprovechamiento del agua sub. La demanda de agua puede cubrirse por extracciones	Caudal aprox. En l/s de un pozo con un descenso de 5 m
			No logarítmico: Capacidad específica (l/s/m)	Logarítmico: Índice (Y)		
1000	I	Muy alta	10	7,0	de gran importancia regional	> 50
100	II	Alta	1	6,0	de menos importancia regional	5-50
10	III	Moderada	0,1	5,0	para abastecimiento local (sitios pequeños, plantas, etc.	0,5 - 5
1	IV	Baja	0,01	4,0	menores para abastecimiento local (grupos de casas, fincas pequeñas)	0,05-0,5
0,1	V	Muy baja	0,001	3,0	para abastecimiento local de la demanda reducida	0,005-0,5
	VI	imperceptible			hasta el abastecimiento local es muy difícil de asegurar	

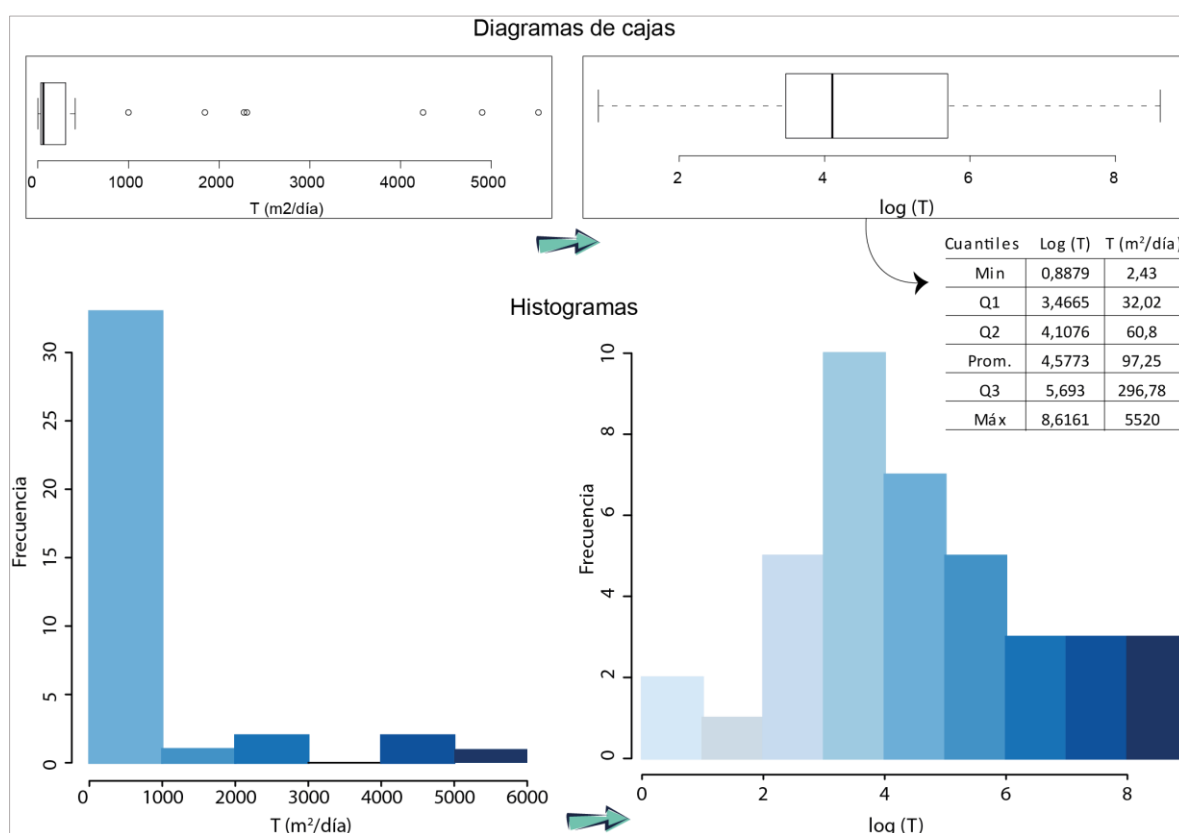
Tabla 19. Clasificación de la variabilidad de la transmisividad según Krásný (1993).

Desviación estándar del índice de transmisividad Y (*)	Clase de variabilidad de la transmisividad	Denominación de la variabilidad de T	Denominación del medio hidrogeológico desde el punto de vista de su heterogeneidad hidráulica (**)
0,2	a	Insignificante	Homogéneo
0,4	b	Pequeña	Poco heterogéneo
0,6	c	Moderada	Bastante heterogéneo
0,8	d	Grande	Considerablemente heterogéneo
1,0	e	Muy grande	Muy heterogéneo
	f	Extremadamente grande	Extremadamente heterogéneo

(*) o de otro parámetro expresando transmisividad en la modificación logarítmica
(**) puede usarse también con la clasificación de la permeabilidad

Para el acuífero Bagaces únicamente se tomaron en cuenta los valores de las tablas 14 y 15 que captan esta unidad (anexo F), los valores de T no tienen una distribución normal, tal como se puede observar en el histograma del gráfico 11, estos presentan una asimetría positiva. Sin embargo al hacer una transformación logarítmica la distribución es aproximadamente normal. La asimetría de la distribución también es posible en los diagramas de cajas del gráfico 12, a una escala lineal los valores están concentrados a la derecha, es decir, la mayor parte de los valores están agrupados cerca del mínimo, mientras que existe mayor dispersión de los valores altos. Utilizando un valor de 1,5 del rango intercuartílico para los brazos las transmisividades mayores a 1000 m²/día representan valores atípicos. Al hacer una transformación logarítmica de este primer diagrama de cajas, se observa una mejor distribución, de acuerdo con este el 50% de los datos se encuentran entre 32,02 m²/día y 296,78 m²/día, utilizando también para los brazos o “bigotes” 1,5 del rango intercuartílico no hay valores anómalos.

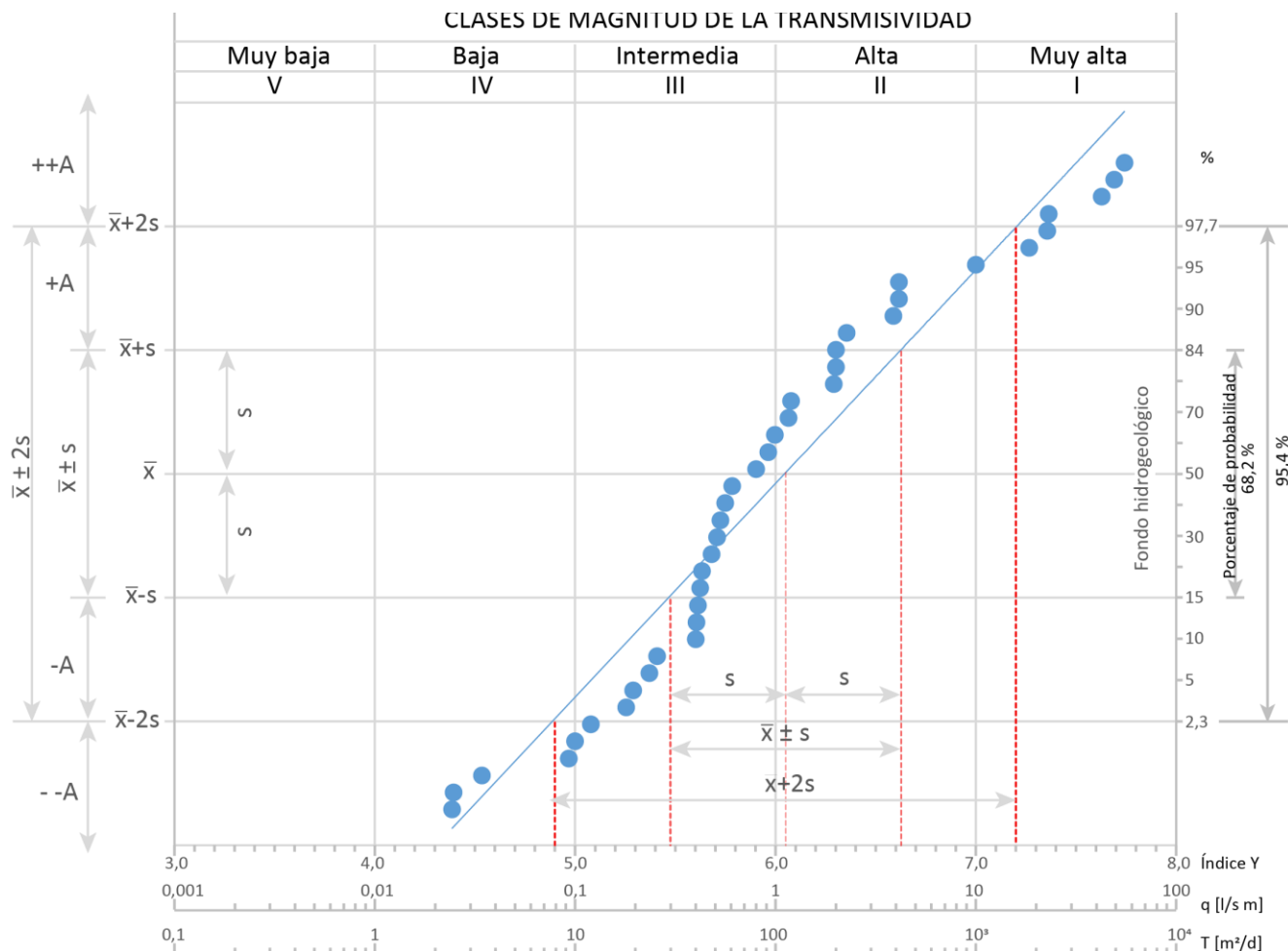
Gráfico 12. Histograma y diagrama de cajas de valores de transmisividad del acuífero Bagaces.



El gráfico 13 muestra los resultados obtenidos para Bagaces en el sistema de clasificación de Krásný (1993). El intervalo denominado “fondo hidrogeológico” o \bar{x}

$\pm s$ (media aritmética \pm desviación estándar) representa la transmisividad predominante, la cual incluye el 68,2% de los valores de toda la muestra estadística Krásný (2003), sin embargo si se toma como fondo hidrogeológico únicamente una desviación estándar gran parte de los datos quedan fuera de esta zona, por lo que conviene utilizar como valores predominantes aquellos que se encuentre entre dos desviaciones estándar, esto incluye aproximadamente 95,4 % de los valores de T , los cuales se encuentran entre 9,3 m²/día y 1000 m²/día. También de acuerdo con el gráfico 13, la transmisividad varía de baja a muy alta, por lo que, según la tabla 16, su importancia es de local a regional. La T media es de 109,4 m²/d, es decir el promedio de la transmisividad predominante se clasifica como alto (tipo II). Por otro lado el promedio del índice Y es 6,05 y su desviación estándar es de $\pm 0,58$, sin embargo considerando dos desviaciones estándar, como se indicó anteriormente, la variabilidad de la transmisividad es mayor a 1, lo cual implica una variabilidad de la transmisividad “extremadamente grande” o clase “f”, según la tabla 18, por lo que el medio hidrogeológico puede ser clasificado como extremadamente heterogéneo.

Gráfico 13. Distribución de la transmisividad del acuífero Bagaces. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).



Los valores sobre o bajo el fondo hidrogeológico se consideran anomalías positivas o negativas (+A, -A) o anomalías positivas o negativas extremas (++A, --A).

Representando un radio proporcional a la clase de magnitud de la transmisividad para el acuífero Bagaces (figura 55) se observa que al noreste del área predominan los valores muy altos y altos, al Oeste predominan valores altos y en la zona Oeste-central destacan los valores intermedios. Es importante recordar que la escala de T es logarítmica, por lo que los valores de la clase II varían de 1 a 10 m²/d, la clase III de 10 – 100 m²/d, sucesivamente, la clasificación se hace con el objetivo de representar de forma simplificada las transmisividades presentes en el área de estudio y su grado de variabilidad.

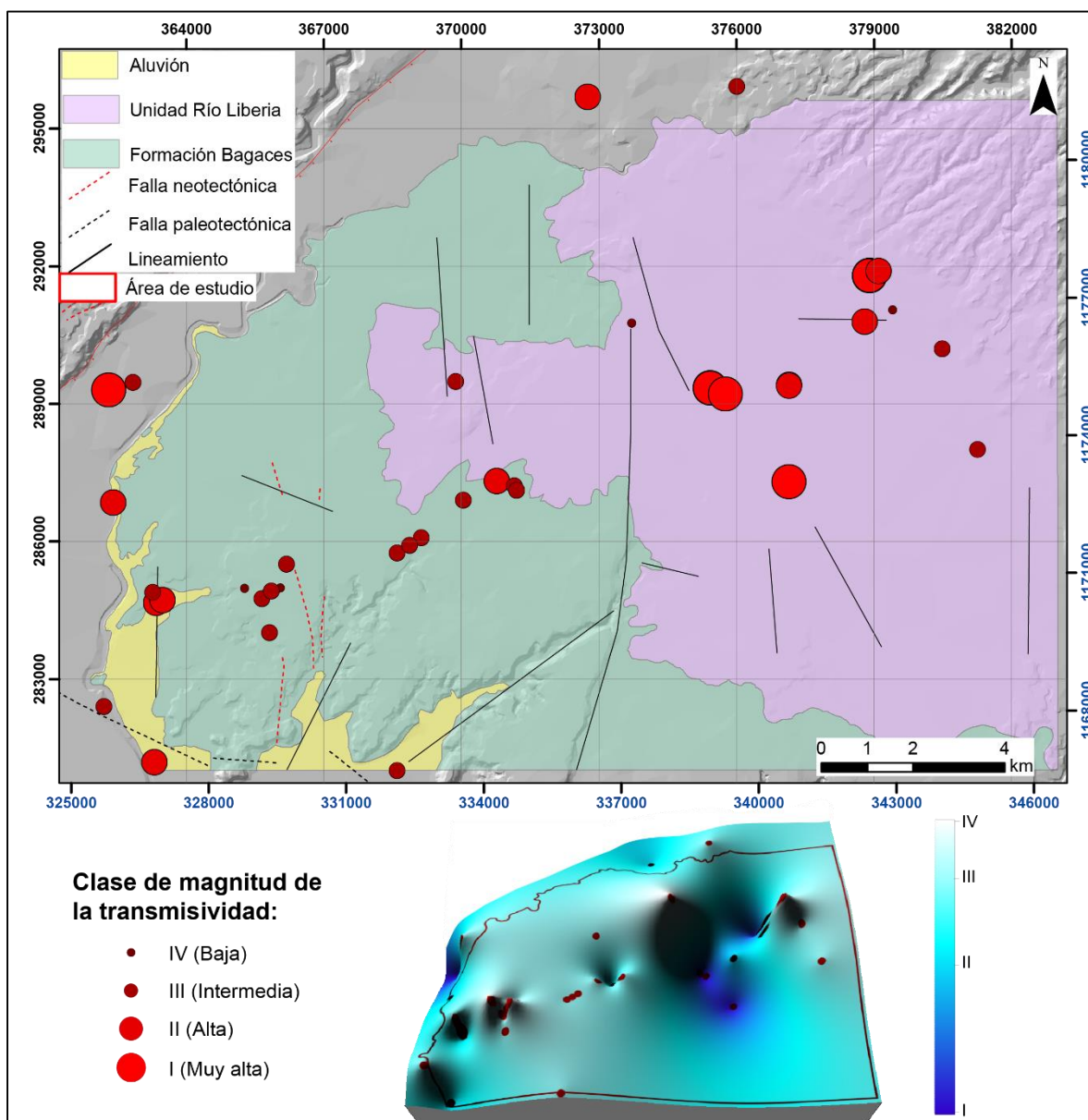
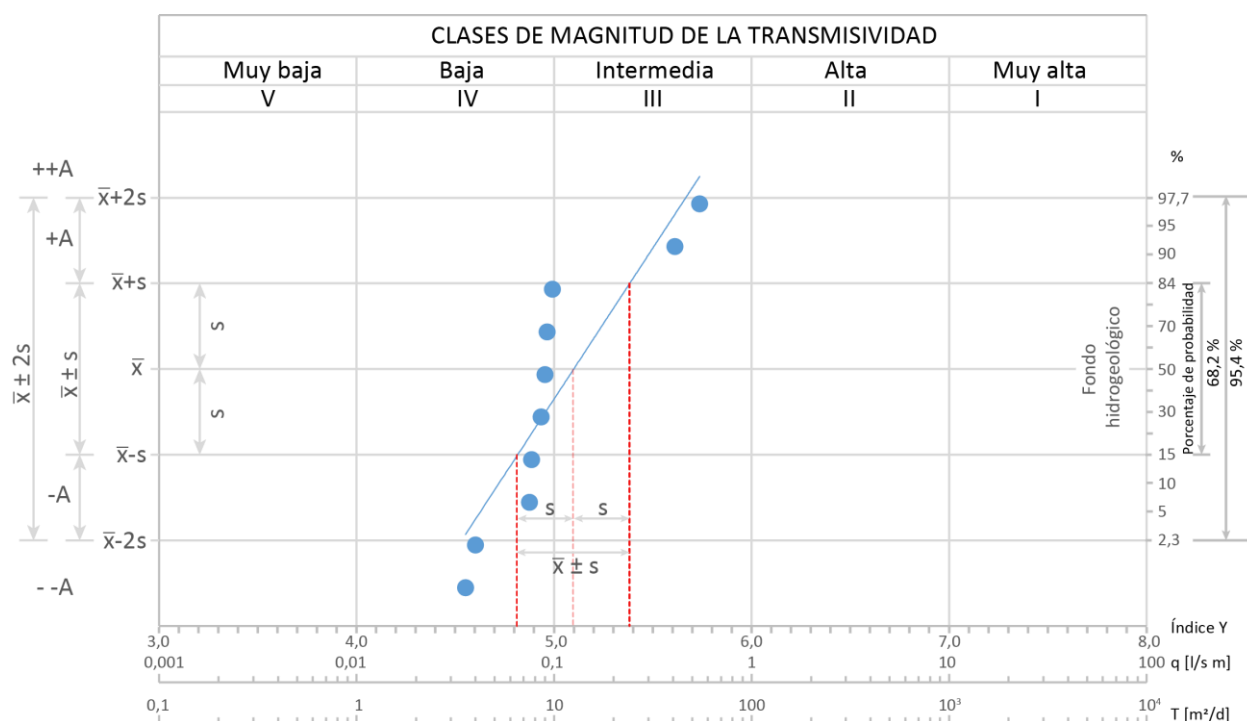


Figura 59. Distribución espacial de la clase de magnitud de la transmisividad. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).

Los pozos que captan únicamente tobas de la Formación Liberia presentan valores comparativamente menores de T respecto al acuífero Bagaces, estos varían desde 3,56 m²/d hasta 54,6 m²/d. Para su clasificación también se utilizaron los valores de T de la tabla 15 y 16 de pozos que captan únicamente dicha unidad (lista en anexo F), cabe aclarar que los datos disponibles son pocos para realizar un análisis estadístico representativo.

Los resultados indican que las transmisividades se clasifican como bajas e intermedias (clase IV y III), el fondo hidrogeológico o las transmisividades predominantes son bajas (gráfico 14). El valor promedio del índice Y es 5,1 con una desviación estándar de $\pm 0,28$, por lo que de acuerdo con la tabla 18, la variabilidad de la transmisividad es pequeña tipo "b" y el medio se puede clasificar como poco heterogéneo.

Gráfico 14. Distribución de la transmisividad del acuífero Liberia. Basado en sistema de clasificación de Krásný (1993).



En los piezómetros de investigación realizados por SENARA se realizaron pruebas de Lugeon para determinar la conductividad hidráulica de diferentes capas, se realizaron entre 5 y 8 pruebas por perforación, excepto en el piezómetro CN-716 donde solamente se pudo realizar una debido al gran espesor de sedimentos inconsolidados. La ubicación de los piezómetros se puede observar en la figura 51 y la tabla 19 muestra un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 20. Resumen de las pruebas de Lugeon realizados en piezómetros del área de estudio. Tomados de la base de datos de SENARA.

Ensayo	Prof. (m)	T (m ² /día)	K (m/día)	Clasificación	Litología	Criterio de Hously
CN-720 (o piezómetro 1-CN)						
A	146,5-150	53,174009	13,9	Muy alta	Toba lapillítica	Laminar
B	116-119	44,545296	14,86	Muy alta	Brecha	Turbulento
C	74-77	93,667055	31,22	Muy alta	Lavas fracturada	Turbulento
D	62-65	20,043206	9,68	Alta	Ignimbrita	Laminar
E	41-44	22,522417	7,5	Alta	Ignimbrita	Lavado
CN-716 (o piezómetro 6-CN)						
A	98-102	1,0934234	0,273	Baja	Ignimbrita	Turbulento
CU-66 (o piezómetro 18-CU)						
A	47,1-50,1	0,1801124	0,045	Baja	Ignimbrita	Turbulento
B	62,1-65,1	0,0097952	0,0032	Muy alta	Ignimbrita	Turbulento
C	77,1-80,1	0,4762206	0,1587	Baja	Ignimbrita	Turbulento
D	94,1-97,1	0,7318598	0,3114	Moderada	Ignimbrita	Turbulento
E	105,2-108,4	0,5470050	0,1683	Moderada	Ignimbrita	Turbulento
F	36-39	1,6413978	0,5471	Media	Ignimbrita	Turbulento
ME-412 (o piezómetro 4-ME)						
A	62,5-65,5	3,2268509	1,16	Media	Ignimbrita	Turbulento
B	85,1-89,54	3,1438012	0,74	Moderada	Ignimbrita	Laminar
C	104,6-107,6	0,6024927	0,2	Baja	Lava vesicular y fracturada	Laminar

D	119,7-122,34	3,1804438	1,23	Media	Lava vesicular y fracturada	Laminar
E	128,1-131,34	2,3631346	0,73	Media	Lava vesicular y fracturada	Laminar
F	137,6-141,84	3,6381938	0,85	Media	Lava vesicular y fracturada	Laminar
G	149,6-153,34	0,2072959	0,07	Muy baja	Ignimbrita	Dilatante-plástico
ME-413 (o piezómetro 5-ME)						
A	23,32-26,34	4,498584	1,48	Moderada	Ignimbrita	Turbulento
B	53,34-56,34	4,243598	1,4	Moderada	Lava vesicular	Turbulento
C	74,62-77,72	3,448506	1,14	Moderada	Lava vesicular	Turbulento
D	95,5-98,34	2,155999	0,71	Moderada	Ignimbrita	Lavado
E	115-119,34	2,834457	0,65	Moderada	Tobas	Turbulento
F	128,75-134,34	0,931132	0,21	Baja	Ignimbrita	Turbulento
G	148,45-152,34	2,918774	0,74	Moderada	Epiclástos	Lavado
ME-417 (o piezómetro 19-ME)						
A	35-38	0,2092611	0,0697	Muy baja	Tobas lapillíticas	Muy baja
B	47-50	0,0598211	0,0199	Muy baja	Tobas lapillíticas	Dilatante-plástico
C	59,10-62,1	0,7995823	0,2665	Baja	Tobas lapillíticas	Dilatante-plástico
D	71,6-75,6	2,3158638	0,7719	Moderada a media	Tobas lapillíticas	Turbulento
E	95,2-98,2	3,4878116	1,1626	Media a alta	Tobas	Lavado
F	122,3-125,3	0,1098083	0,0366	Muy baja	Ignimbrita	Turbulento
G	140,3-143,3	2,0766746	0,6922	Moderada a media	Ignimbrita	Turbulento
H	146,2-150	1,6425421	0,5475	Moderada a media	Ignimbrita	Turbulento

Los resultados muestran que para la Formación Bagaces los valores de conductividad hidráulica se encuentran entre 0,0032 m/día hasta 31,22 m/día, es decir varía de muy baja a muy alta, si se clasifica por litología, según la descripción del expediente del SENARA, las ignimbritas poseen valores que se clasifican desde muy bajos hasta altos, las tobas de moderados a altos y las lavas de bajos a muy altos. En el caso del piezómetro CN-720, según el reporte, la capacidad de inyección

de la bomba fue menor que la capacidad de absorción de la roca por lo que la conductividades hidráulicas deben ser mayores a las obtenidas, teniendo como sector más permeable el que corresponde con las lavas intermedias.

En las tobas del acuífero Liberia solamente se realizaron 3 pruebas en el pozo ME-417 (A, B y C), los resultados muestran que la conductividad hidráulica de estas varía de muy bajas a bajas con valores de 0,0199 m/día a 0,2665 m/día.

De acuerdo con la rutina de interpretación del ensayo de Lugeon realizada por Houlby (1991) el comportamiento de flujo normalmente es turbulento y en algunas ocasiones es laminar (tabla 8), cuando se indica lavado se refiere al lavado permanente del material que llena las diaclasas en la roca, mientras que dilatante plástico se refiere a la ocurrencia de una apertura elástica temporal del macizo rocoso cuando este es sometido a la presión máxima (Houlby, 1991).

5.6 Composición química del agua subterránea

Aunque en la propuesta de investigación inicial no estaba contemplado el muestreo y la interpretación de datos de calidad del agua subterránea, se solicitó información al Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) y gracias al apoyo brindado se cuenta con información de 6 análisis fisicoquímicos realizados en aguas de 5 pozos de AyA por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) entre el noviembre del 2015 y octubre del 2017. Además se compilaron análisis de iones mayores, isótopos estables, tritio y clorofluorocarbonatos (CFC) realizados por Collins (1999) y análisis químicos de diferentes pozos tomados de la base de datos de SENARA. Los datos fueron analizados y comparados como ejercicio académico y con el fin de aportar información al modelo conceptual.

5.6.1 Origen y tiempo de residencia del agua subterránea

Para clasificar el tipo de agua de acuerdo al diagrama de Piper se utilizaron los análisis de los pozos de AyA y los datos de Collins (1999) ya que únicamente estos contienen todos los iones mayores necesarios para dicho diagrama, los datos se resumen en la tabla 21.

Tabla 21. Valores de iones mayores en pozos de la zona de estudio.

	Pozo	UC	Fecha	HCO ₃ ⁻¹	NO ₃ ⁻¹	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	E.N. %
				mg/l								
Aya	06-14	B	01/11/2015	71*	5,88	2,73	2,66	11,3	2,9	16,8	8,2	8
	13-23	B	01/11/2015	76,94*	7,75	3,03	2,69	11,3	3,9	9,6	8,2	-4,4
	16-04	B	07/07/2016	71,91*	5,18	3,36	3,47	12,1	4,4	15,4	7,5	9,4
	06-32	BL	08/02/2017	64,99*	0	1,69	3,15	8,7	3,4	14,4	4,2	10,2
	06-32	BL	26/10/2017	63,93*	0	2,11	2,94	8,5	3,3	15,8	4,8	12,6
	06-13	B	02/02/2016	71,91*	5,28	2,38	2,58	12,1	4,4	19,7	8,2	16,1
Collins (1999)	SN49	L	28/11/1997	383	40	111	77	62	16	150	13	-4,4
	SN61	L		72	160	179	12	73	11	95	14	-12,6
	22	L		83	7,5	13	12	11	3	18	6,1	-12,2
	65	L		49	58	58	29	24	6	40	4	-16,3
	SN-63	L		46	44	29	16	18	4	21	4,8	-19
	SN57	L		252	63	136	48	48	10	140	12	-6,7
	SN-60	L		107	3,2	15	10	11	5	16,5	1,5	-18,4
	14	L		105	35	102	67	31	9	75	34	-5,2
	SN-55	L		160	220	93	12	113	20	45	6,7	-14,4
	160	L		106	39	54	16	38	12	22	5,1	-10
	SN-58	L		85	1,2	14	28	18	3	19	3,2	-8
	CU-12	L		41	3	9	14	6	1	10	7,7	-12,9
	211	B		32	63	14	12	13	4	15	2,2	-31
	203	B		85	3	8	8	12	2	13,5	5	-12
	CU-28	B		76	5,2	8	9	12	5	14	3,6	-3,3
189	B	68	5,4	11	7	9,6	2	12,4	7,3	-12		

Unidad captada: B= Acuífero Bagaces, L= Acuífero Liberia, BL: Acuíferos Bagaces y Liberia. E.N.= electroneutralidad (balance iónico).

*Valores calculados.

Los análisis del LNA no cuentan con valores de carbonatos ni bicarbonatos, pero sí de alcalinidad total, se utilizó este parámetro y el pH para calcular las concentraciones a partir de la fórmula de Sawyer & McCarty (1978):

$$Alk CO_3^{-2} = \frac{Alk total + 50000 \cdot [H_3O^+] - 50000 \cdot \left[\frac{K_w}{[H_3O^+]} \right]}{1 + \frac{[H_3O^+]}{2 \cdot K_{a2}}}$$

$$Alk HCO_3^- = \frac{Alk total + 50000 \cdot [H_3O^+] - 50000 \cdot \left[\frac{K_w}{[H_3O^+]} \right]}{1 + \frac{2 \cdot K_{a2}}{[H_3O^+]}}$$

donde la concentración de iones hidronio se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

Puesto que no se cuenta con la medida de temperatura en el campo, para las constantes de disociación se asumió una temperatura de 24 °C, por tanto:

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

$$K_{a2} = 4,8 \times 10^{-11}.$$

Para estimar la fiabilidad de los resultados se calculó la electroneutralidad o balance iónico el cual considera que las cargas positivas y negativas deberían tender a ser iguales, si se asume que predominan las especies iónicas mayores, las diferencias se deben a los errores acumulados de cada una de las determinaciones individuales, a no tener en cuenta las contribuciones iónicas menores o bien a un error de análisis (Custodio & Llamas, 2001). El % de error admitido fue de 16%, la ubicación de estas muestras se muestra en la figura 60.

El balance iónico y el diagrama de Piper se realizó en el software AquaChem 3.7, los resultados de todos los parámetros medidos en los respectivos análisis se encuentra en el anexo G.

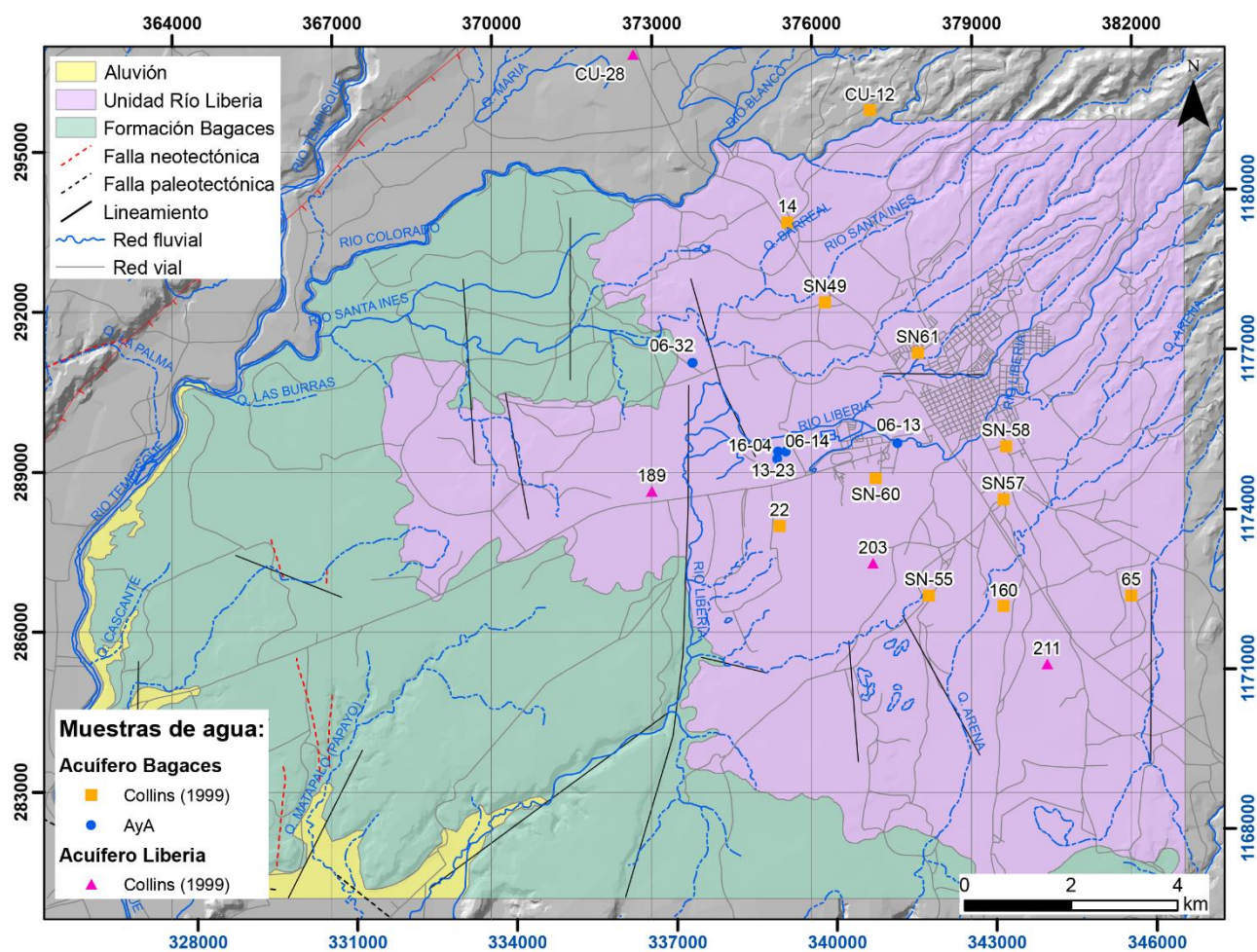
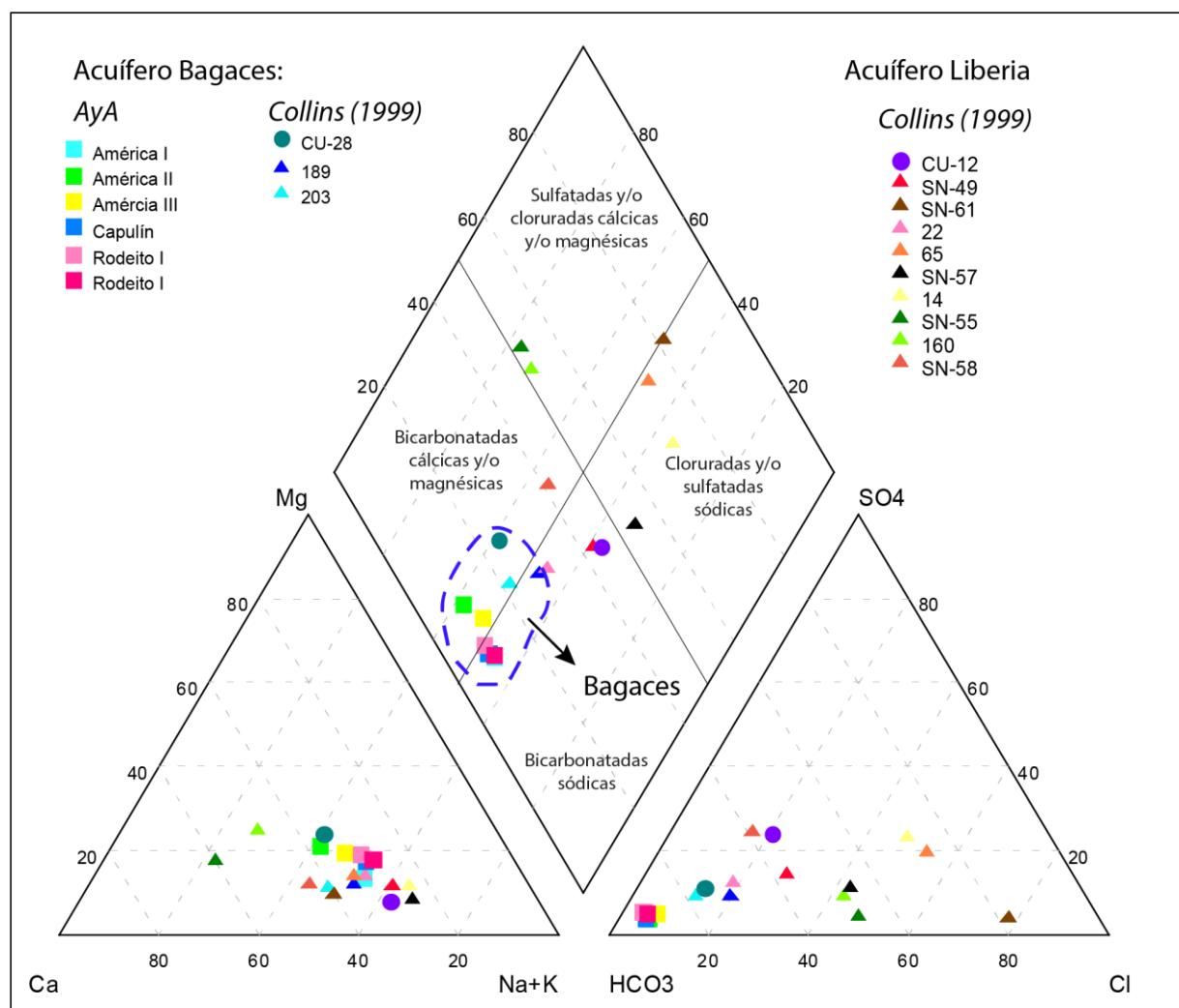


Figura 60. Mapa de ubicación de muestras de agua.

De acuerdo con el diagrama de Piper (gráfico 15), las aguas del acuífero Liberia varían en todos los rangos de clasificación. Es importante mencionar que de acuerdo con Collins (1999) los pozos en los que se tomaron las muestras de agua se encuentran cerca de la ciudad de Liberia y de áreas agrícolas por lo que únicamente se consideran representativas las muestras de los pozos CU-12 y CU-28 para los acuíferos Liberia y Bagaces respectivamente, además los pozos que captan el acuífero Liberia presentan concentraciones altas de calcio, cloruros, sulfatos, nitratos, potasio y bicarbonatos comparadas con las del acuífero Bagaces del mismo muestreo. También, en general, los valores son mayores comparados con los datos de los pozos en la base de datos de SENARA que también captan el acuífero Liberia (anexo G).

Gráfico 15. Diagrama de Piper para las muestras agua de pozos del AyA y Collins (1999).

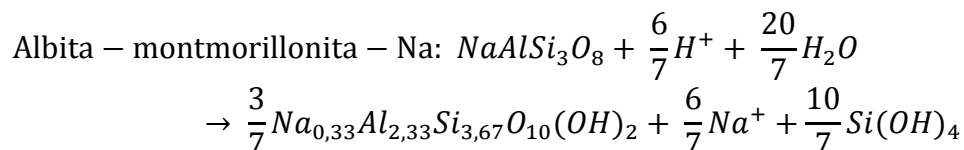
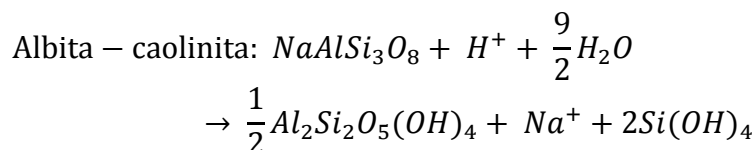


Si bien, los valores mayores en las concentraciones del acuífero Liberia podrían deberse a procesos de contaminación por distintas fuentes en las zonas urbanas y agrícolas, también se debe considerar que las muestras de este acuífero fueron tomadas en pozos excavados los cuales presentan una mayor susceptibilidad a la contaminación, además se deben tomar varias precauciones y cuidados para una toma correcta de la muestra y asegurar la representatividad del agua proveniente del acuífero (Custodio & Llamas, 2001 y Escuder et al., 2009). En el caso de las muestras para iones mayores Collins (1999) señala que estas fueron tomadas por personal de SENARA y no detalla la metodología para la toma de las mismas.

Es posible que la variedad en la clasificación de las muestras del acuífero Liberia tomadas de Collins (1999) se deba a una o ambas de las razones mencionadas. Los datos de análisis fisicoquímicos del agua de 2 pozos que captan el acuífero Liberia realizados en el 2013 y 2014 (CU-62 y CU-63, ver anexo G), tomados de la base de datos de SENARA, no cumplen, en algunos parámetros analizados, con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N°389224-S, 2015), sin embargo estas muestras se ubican al norte del área de estudio, alejadas de la ciudad de Liberia, cercana a la muestra que Collins (1999) considera representativa de dicho acuífero. Es importante realizar un muestreo de aguas del acuífero Liberia para determinar si el mismo se encuentra contaminado.

En cuanto a la muestra CU-12, la cual Collins (1999) considera representativa del acuífero Liberia, se clasifica como bicarbonatada sódica de acuerdo al diagrama de Piper (gráfico 13), esta composición se asocia a aguas meteóricas pues el HCO_3^- es el anión dominante en áreas de recarga (Freeze & Cherry, 1979), este tipo de aguas presenta el menor tiempo de permanencia en el subsuelo de acuerdo a la secuencia de Chevotatéb (1955).

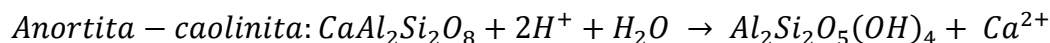
Asumiendo que no hay fuentes de contaminación cercana, la composición sódica se puede deber a la disolución de minerales como las plagioclasas de las rocas. Según Freeze & Cherry (1979) cuando el agua entra en contacto con minerales de silicato con alto contenido de cationes, aluminio y sílice, los cationes y el sílice son lixiviados, dejando un residuo aluminosilicato con relación Al/Si aumentada, este residuo es usualmente un mineral de arcilla tal como caolinita, illita o montmorillonita. De acuerdo con estudios petrográficos y geoquímicos en rocas de la unidad Río Liberia, Chiesa (1991) determinó que estas presentan una composición riolítica cuyos minerales más abundantes son los de cuarzo, plagioclasas, biotita, óxidos metálicos y hornblenda; particularmente las plagioclasas presentan un contenido elevado de la molécula albítica ($\text{Ab} > 60\%$). El proceso de alteración de este mineral aporta iones de sodio que pasan al agua, según Freeze & Cherry (1979) estas reacciones para dar caolinita o montmorillonita son las siguientes:



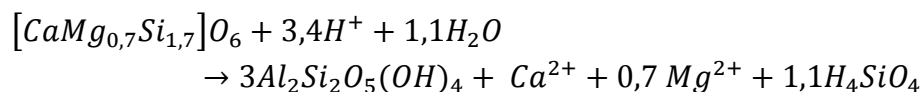
La reacción que se produce depende del pH, en un medio ácido se forma caolinita y en un medio básico se formaría montmorillonita (Custodio & Llamas, 2001).

En cuanto al acuífero Bagaces, las muestras indican una mayor similitud entre ellas, en este caso se cuenta con análisis fisicoquímicos más recientes de algunos pozos del AyA en el área de estudio, el agua se clasifica como bicarbonatada cálcica-sódica indicando, de igual forma, un origen meteórico debido a la predominancia del ión HCO_3^- . La composición química de las rocas de esta formación varía de traquiadacítica a riolítica y sus principales cristaloclastos son la plagioclasa, clinopiroxenos, ortopiroxenos y opacos (Solano, 2018). En 5 flujos de la Formación Bagaces estudiados por Szymanski (2007) las plagioclasas presentan una composición variable, con rangos de anortita de An₅₀-An₈₉, la disolución de estos minerales aportaría iones de sodio y calcio en las aguas del acuífero Bagaces.

Al igual que la reacción de las plagioclasas sódicas, mencionadas anteriormente, la reacción de meteorización de la plagioclasa cálcica para liberar iones Ca^{2+} de la estructura silicatada y dar caolinita, según Freeze & Cherry (1979) es:



La reacción de los piroxenos, los cuales también aportan iones de calcio y magnesio al agua, según Appelo & Postma (1994) es:

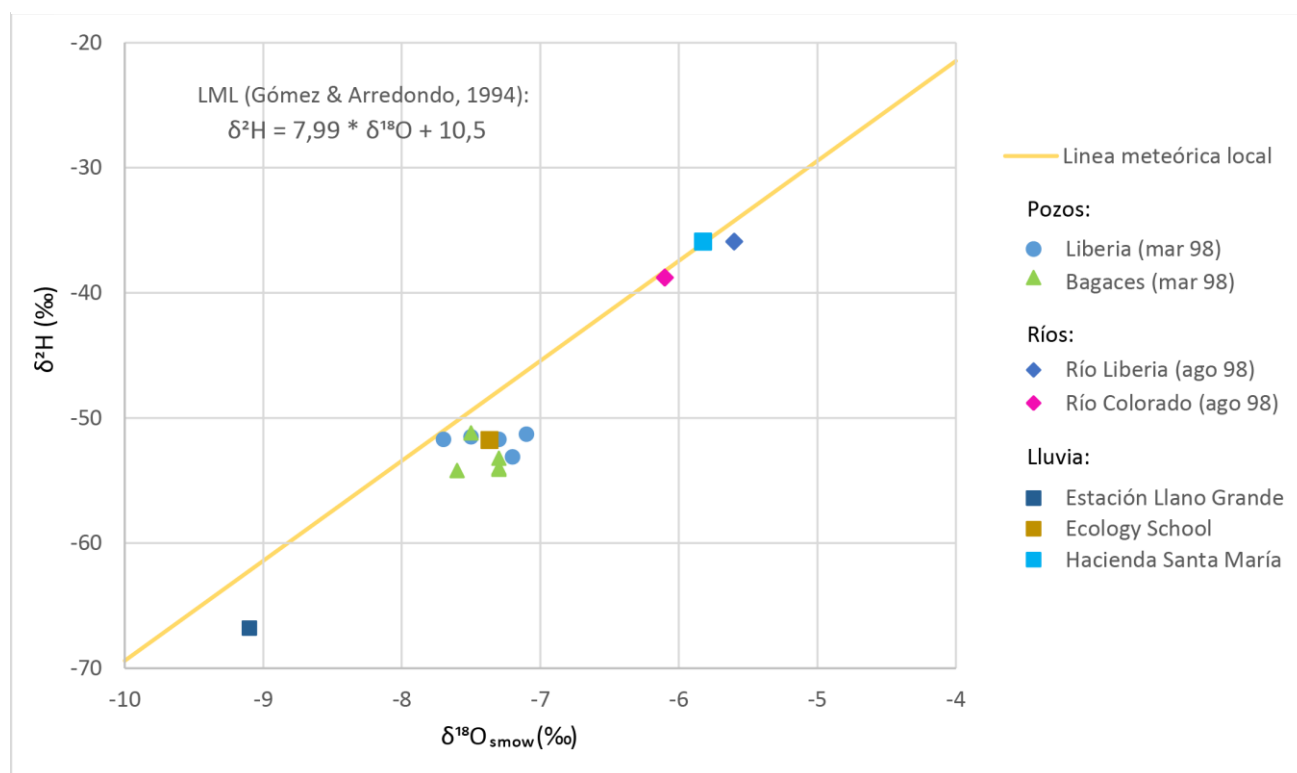


El aporte de iones de sodio también podrían provenir de otras fuentes, como se menciona en la tabla 5. Según Escuder (2009) algunas relaciones iónicas podrían ayudar a esclarecer aspectos o procesos y validar o descartar hipótesis, sin embargo, en este caso, es necesario mejorar la calidad, cantidad y distribución de muestras para realizar un estudio hidrogeoquímico detallado.

→ Isótopos estables

Análisis de isótopos estables (^{18}O y ^2H) realizados por Collins (1999) confirman el origen meteórico de las aguas de los acuíferos Liberia y Bagaces. Las muestras de pozos tomadas por la autora mencionada muestran un ajuste a la línea meteórica local (LML) para Costa Rica calculada por Gómez y Arredondo (1994) tal como se muestra en el gráfico 9. La similitud entre la composición isotópica de las muestras del acuífero Bagaces y Liberia sugieren una misma zona de recarga para ambos (Collins, 1999). Los valores además se encuentran por debajo de la línea meteórica local, lo que indica que el agua sufrió evaporación durante la recarga. Las muestras de pozos fueron tomadas en julio de 1997 y marzo de 1998, la ubicación de las muestras se puede observar en la figura 61, en el gráfico 15 únicamente se encuentran las de 1998 pues no hay variaciones significativas entre los muestreos.

Gráfico 16. Relación $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en distintos tipos de agua. Tomado de Collins (1999).



Respecto al agua de lluvia los datos mensuales no muestran una tendencia regular, es decir no indican un efecto de altura, esto debido a variaciones estacionales, lo cual coincide con un estudio realizado por Gómez & Arredondo (1994) en el valle del río Tempisque. Los valores del gráfico 15 corresponden con el promedio de 3 valores de diferentes meses en Ecology School y 4 valores de diferentes meses en

Hacienda Santa María, mientras que en la Estación Liberia el valor del gráfico corresponde con el promedio ponderado por cantidad de precipitación de 5 mediciones en meses diferentes; calcular la ponderación por cantidad de precipitación únicamente en un punto de muestreo es una limitación importante pues los datos no son comparables con los otros dos puntos de muestreo, Gómez & Arredondo (1994) concluyeron que en algunos meses es posible determinar la existencia de efecto cantidad y variación de la temperatura. Mientras que Collins (1999) atribuye las variaciones estacionales principalmente a las variaciones en la dirección del viento y las masas de aire provenientes de la costa Pacífica y Atlántica.

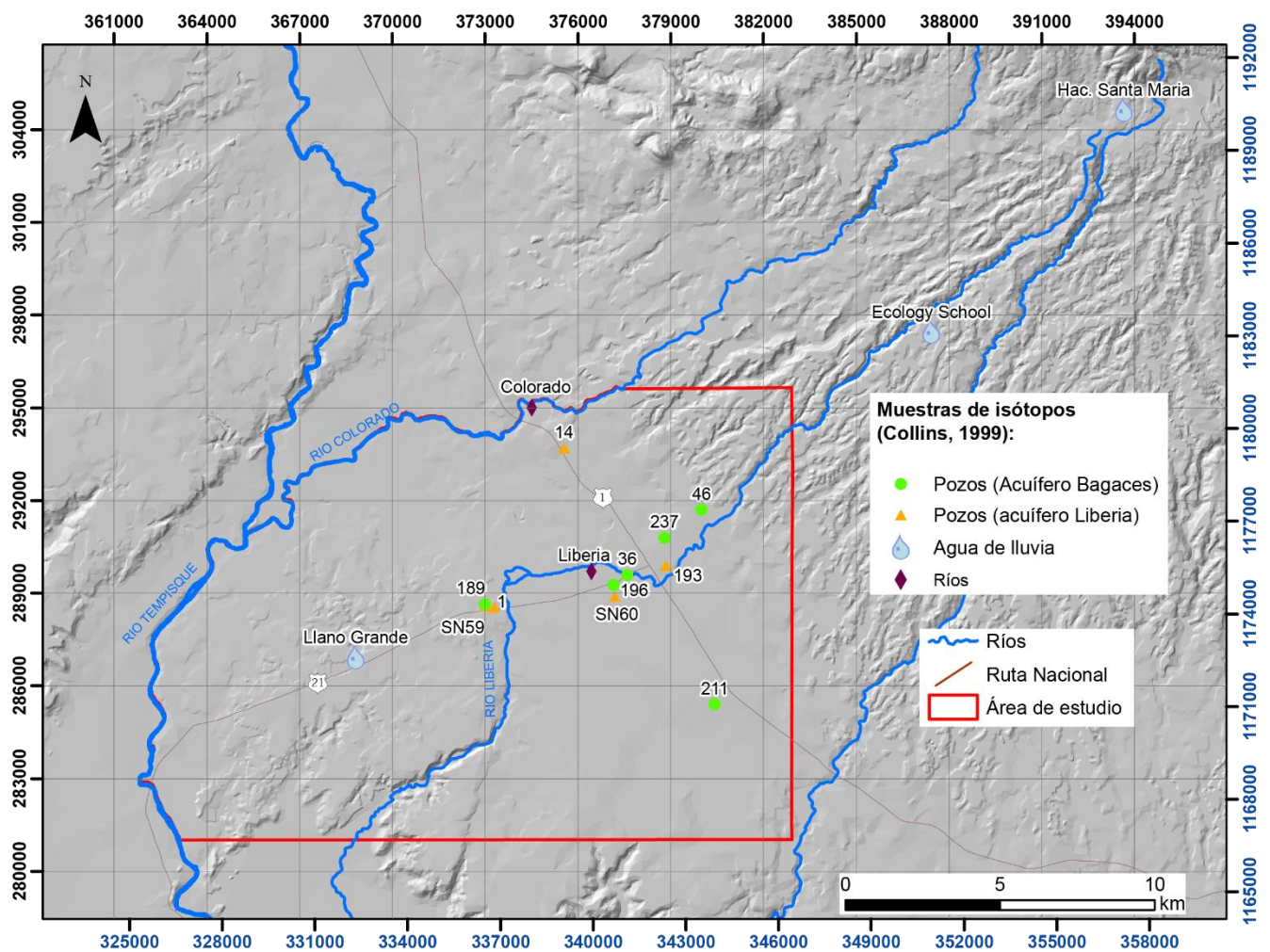


Figura 61. Ubicación de muestras de ^{18}O y ^2H tomadas por Collins (1999).

Según Freeze & Cherry (1979) la composición isotópica del agua de lluvia es muy variable pues esta depende de la temperatura y la cantidad de precipitación, sin embargo valores promedios anuales tienen poca variación, por lo que se deben

tomar y analizar muestras de agua de lluvia durante al menos un año hidrológico para evitar sesgos climáticos coyunturales (Escuder et al., 2009). Por tanto los datos de agua de lluvia de Collins (1999) resultan insuficientes para evaluar las condiciones promedio del comportamiento isotópico del agua de lluvia en la zona.

Las muestras de agua de ríos muestran un mayor enriquecimiento en $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ respecto al agua subterránea (gráfico 15). Estas muestras fueron tomadas en julio de 1997 y agosto de 1998, los resultados muestran similitud en ambos muestreos. De acuerdo con Lachniet & Patterson (2002), quienes evaluaron los valores de isótopos estables en aguas superficiales en el país, es probable que la variabilidad estacional presente en la composición isotópica de la precipitación se manifieste como variaciones estacionales en las composiciones isotópicas de aguas superficiales, tomando en cuenta que los valores representan una media ponderada por elevación y precipitación para la cuenca de drenaje aguas arriba, y las relación que puede haber entre ríos-acuíferos hace que los factores que afectan los valores de ^{18}O de las aguas superficiales sean multivariados y complejos.

→ Tiempo de residencia del agua subterránea

Collins (1999) determinó el tiempo de residencia del agua subterránea en los acuíferos Liberia y Bagaces utilizando análisis de tritio y CFCs. Respecto a las concentraciones de tritio, los valores determinados en dicho estudio generalmente son mayores en el acuífero Liberia que en acuífero Bagaces, en este último caso los valores bajos dificultaron la estimación del tiempo de residencia. Los resultados de CFC-11 y CFC-12 también indican un menor tiempo de residencia del agua subterránea en el acuífero Liberia (Collins, 1999).

Una combinación de ambos resultados indica que el tiempo de residencia del agua en el acuífero Liberia varía entre 20 y 33 años, mientras que en el acuífero Bagaces este se encuentra entre 24 y 46 años (Collins, 1999). Según la autora, basado en la diferencia en los iones mayores, esta diferencia se debe a que probablemente el acuífero Bagaces recibe recarga de las zonas montañosas, sin embargo esto no se observa en el análisis de iones mayores realizado anteriormente y tampoco fue posible confirmarlo con los isótopos de ^{18}O y deuterio, es necesario realizar un estudio más detallado para afirmar o descartar dicha hipótesis.

Algunas limitaciones de las metodologías es que no se contaba con un registro histórico de tritio atmosférico en la precipitación en el país, por tanto se utilizó la función de entrada de Katioke, Nueva Zelanda, si bien se contaba con datos de Panamá y El Salvador, Collins (1999) consideró más apropiada la estación de Nueva Zelanda pues esta cuenta con datos representativos del Hemisferio Sur y Costa Rica se encuentra cerca de este, además de las estaciones mencionadas

únicamente esta cuenta con datos desde 1961. En el caso de los CFCs tampoco se cuenta con una función de entrada por lo que se utilizó la función de Oklahoma City, además los efectos de la dispersión en las concentraciones de tritio y los efectos de sorción, degradación y contaminación en las concentraciones de CFC no fueron considerados. Debido a estas limitaciones Collins (1999) concluye que el agua de Liberia es más joven que el agua de Bagaces y en ambos acuíferos se recargan en menos de 50 años.

5.7 Modelo hidrogeológico conceptual

A partir de la información estudiada en los capítulos anteriores, se propone un modelo hidrogeológico conceptual, este representa una comprensión simplificada del sistema hidrogeológico y de los procesos de recarga la zona de estudio.

Las figuras 62 y 63 muestran un esquema del proceso general de distribución del agua y su movimiento en diferentes fases, sobre y bajo la superficie, mientras que la tabla 22 resume las características de las unidades acuíferas.

De la precipitación total en la zona de estudio (13,9 m³/s) se estima que 11,4 m³/s se infiltran en el subsuelo, parte de esta agua vuelve a la atmósfera debido a la evaporación y transpiración de las plantas, mientras que unos 3,46 m³/s recargarían los acuíferos Liberia y Bagaces.

Esta agua recarga de forma directa dos unidades acuíferas, que corresponden con el sistema acuífero Liberia y Bagaces, relacionados con las formaciones geológicas del mismo nombre, en el caso del acuífero Bagaces también se conecta al aluvión del río Tempisque al oeste del área. De acuerdo con la información hidrogeoquímica el agua que recarga ambos acuíferos es de origen meteórico, no fue posible determinar si estos reciben recarga de las zonas montañosas, aunque no se descarta que esto ocurra; Collins (1999) determinó un tiempo de residencia del agua es menor en el acuífero Liberia que en Bagaces con base en isótopos de tritio y CFCs, en ambos casos este es menor de 50 años.

De acuerdo a los datos de transmisividad disponibles y la clasificación Krásný (1993) el acuífero Bagaces es considerablemente heterogéneo, mientras que el acuífero Liberia se clasifica como poco heterogéneo. La dirección general de flujo de ambos acuíferos es hacia el oeste, con un gradiente hidráulico mayor en el acuífero Bagaces, el cual descarga mediante manantiales al oeste del área (Alpizar, 2014) o como flujo base en el río Tempisque, donde se presentan tramos efluentes o influentes que varían dependiendo del nivel del río o de los acuíferos en la margen

derecha e izquierda del río. La tabla 16 detalla las características de cada unidad acuífera.

El caudal que sale del sistema como descarga en ríos o debido al bombeo no fue calculado en este estudio. Una parte del agua que descarga en los ríos podría evaporarse localmente o eventualmente llegaría al mar y evaporarse también, esta evaporación junto con la evapotranspiración de las plantas iniciaría nuevamente el ciclo hidrológico como se observa en la figura 61.

Tabla 22. Resumen de las características de las unidades acuíferas presentes en el área de estudio.

Parámetros	Acuífero Liberia	Sistema acuífero Bagaces
Litología	Tobas	Ignimbritas, tobas, lavas y epiclastos
Espesor (m)	Máximo de 80	> 150
Tipo de acuífero	Poroso-fracturado	Fracturado
Confinamiento	Libre	Libre a confinado
S	-	$3,8 \times 10^{-4}$ - $3,2 \times 10^{-3}$
T (m²/d) Clasif Krásny (1993)	3,56-54,6 Poco heterogéneo	2,43-5520 Extremadamente heterogéneo
K (m/d)	0,0199-0,2665	$3,2 \times 10^{-3}$ -31,22
i promedio	0,02	0,13
Dirección de flujo	Suroeste-Oeste	Suroeste-Oeste
Clasificación geoquímica del agua	Bicarbonatada sódica	Bicarbonatada cálcico-sódica.
Tiempo de residencia*	20-33 años	24-46 años

*Tomado de Collins (1999).

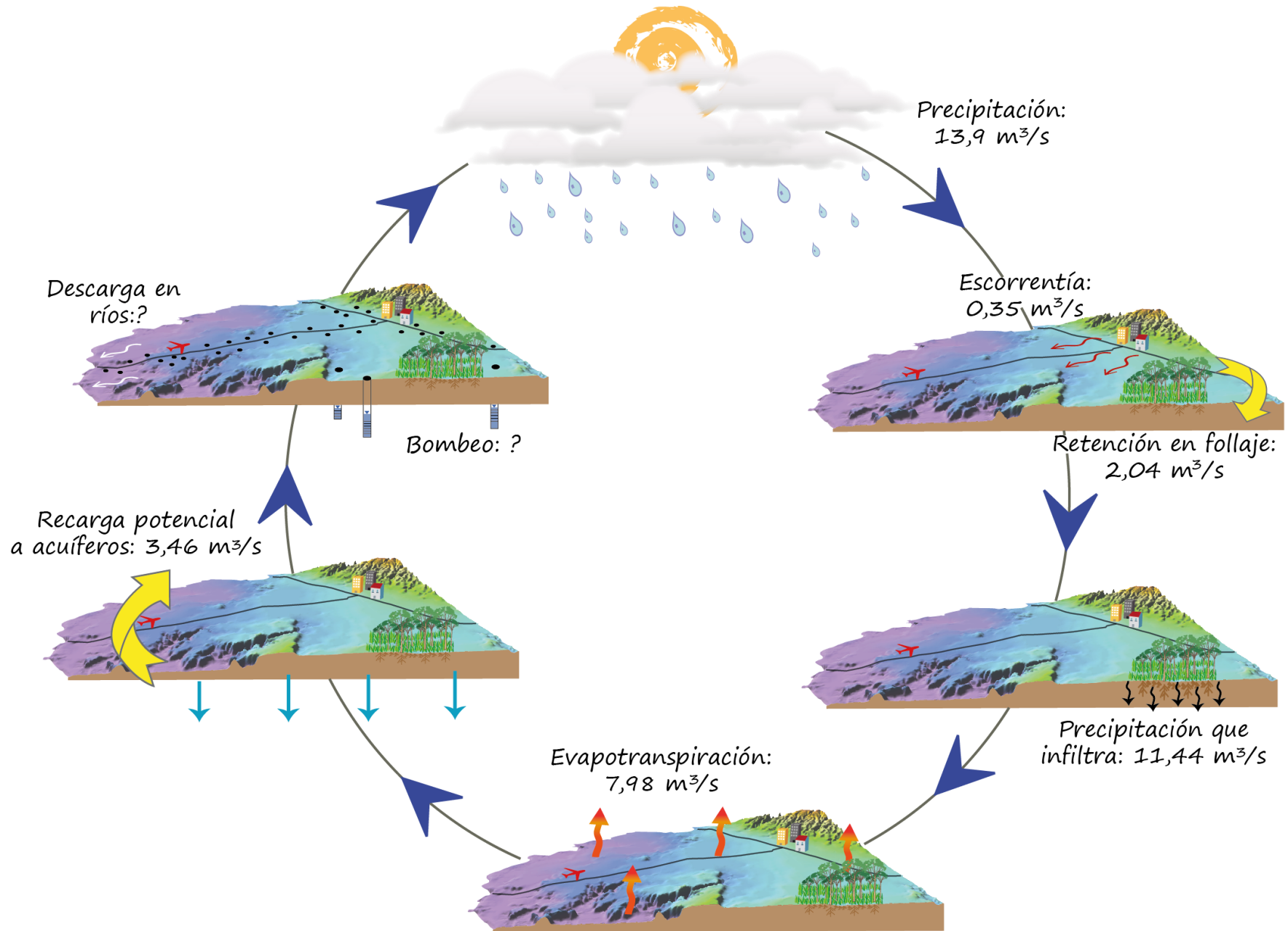


Figura 62. Esquema de distribución del agua en la zona de estudio.

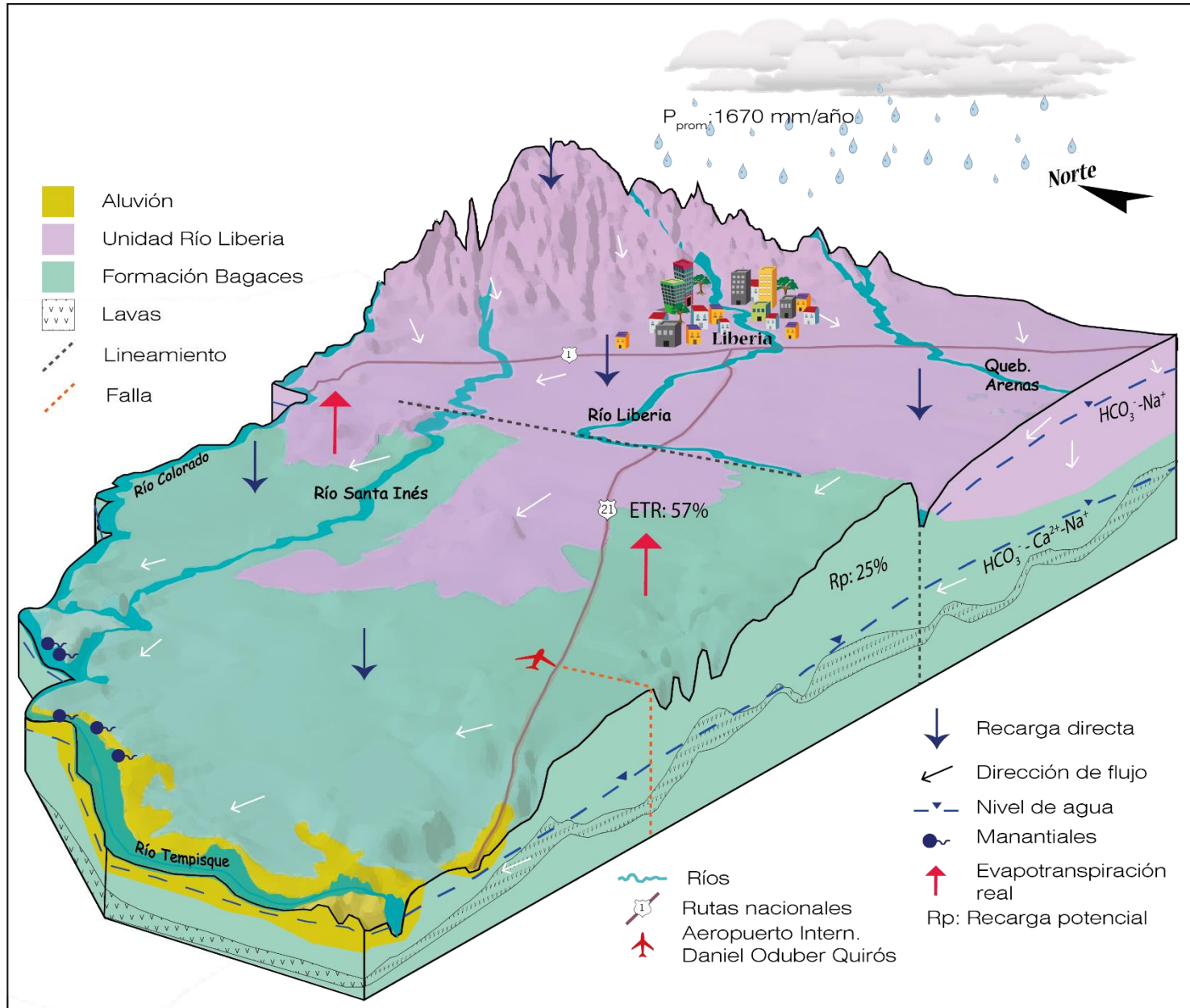


Figura 63. Modelo hidrogeológico conceptual.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

→ **Conclusiones**

La zona de estudio cubre un área de 262 km² y forma parte de las subcuencas de los ríos Colorado, Liberia, Salto, Tempisque y Zopilota. La principal morfología de la zona corresponde con la planicie ignimbrítica donde la pendiente promedio es de 2°, esta aumenta hasta unos 80° al noreste, en los valles escarpados, y al suroeste en el frente de las ignimbritas. El drenaje es radial en las partes altas al noroeste y rectangular hacia la zona plana.

El principal uso que se da al agua en la zona de estudio es el doméstico y para riego, la mayor parte de los pozos tiene una profundidad entre 50 m y 100 m.

La Formación Bagaces está compuesta por tobas, ignimbritas, lavas y depósitos epiclásticos es sobreyacida al Oeste por el Depósito Aluvial del río Tempisque, ambas unidades propician la presencia del Sistema Acuífero Bagaces. Mientras que al Oeste del área se encuentran tobas blancas cristalinas correlacionadas con la Unidad Río Liberia de la Formación Liberia, las cuales favorecen la formación acuífero Liberia.

El acuífero Bagaces es un sistema complejo debido a las heterogeneidades de la formación, algunas capas de tobas y paleosuelos constituyen horizontes de menor conductividad hidráulica, en general las lavas presentan las mejores condiciones hidrogeológicas. El confinamiento del acuífero varía de libre a confinado, la conductividad hidráulica se encuentra entre $3,2 \times 10^{-3}$ m/d y 31,22 m/d. Los valores de transmisividad varían desde 2,43 m²/d hasta 5520 m²/d, en el sector noreste predominan los valores muy altos y altos, al oeste predominan valores altos y en la zona oeste-central destacan valores intermedios, el medio se clasifica como considerablemente heterogéneo.

En el acuífero Liberia es libre y las transmisividades varían entre 3,56 m²/d y 54,6 m²/d, el medio se clasifica como poco heterogéneo, mientras que la conductividad hidráulica varía desde 0,0199 m/d hasta 0,2665 m/d.

El potencial del sistema acuífero Bagaces varía de bajo a muy alto, se estima que la posibilidad de aprovechamiento del recurso puede ser de abastecimiento local hasta de gran importancia a nivel regional. El potencial del acuífero Liberia es bajo a moderado, es decir su posibilidad de aprovechamiento es para abastecimiento local.

El promedio de cambio en el almacenamiento anual es de 3,63 m

La dirección de flujo de ambos acuíferos sigue la morfología del terreno, en general es hacia el Oeste. El gradiente hidráulico promedio de Liberia es de 0,02 y de Bagaces es de 0,13, este último descarga como flujo base en el río Tempisque y como manantiales al Oeste del área de estudio, en la orilla del río Tempisque y el río Colorado.

La mayor parte del área de estudio se encuentra cubierta por pastos (149,2 km²), seguida por bosques (72,3 km²), los cultivos, principalmente de arroz y caña, abarcan alrededor de 19,4 km² y la zona urbana cubre 13 km².

Le época seca se da entre diciembre y marzo, mientras que la lluviosa se extiende de mayo a octubre, con abril y noviembre como meses de transición.

El promedio total de precipitación es de 13,9 m³/s, utilizando la metodología de Schosinsky (2006) se determina que 2,05 m³/s (14,73 %) es retenido por el follaje, el volumen escorrentía es de 0,35 m³/s (2,51 %) y se limita principalmente a la zona urbana, la evapotranspiración es de 7,98 m³/s (57 %) y la recarga potencial a los acuíferos es de 3,46 m³/s, es decir un 24,8 % del total de precipitaciones en la zona.

La recarga potencial se da principalmente entre los meses de mayo a noviembre, con una disminución en julio debido al descenso en las precipitaciones, los mayores valores se dan entre septiembre y octubre, entre los meses de diciembre a abril la recarga es baja, pues la precipitación es retenida por el follaje o se pierde por evapotranspiración.

El pasto y algunas zonas de cultivo reportan los mayores valores de recarga potencial mientras que la zona urbana genera los menores valores.

Ambos acuíferos recargan por medio de la infiltración de agua de lluvia y en el caso de Bagaces la recarga también se da por percolación vertical del acuífero superior, no se descarta que este también reciba recarga de la zona montañosa.

→ **Recomendaciones**

Reanudar las mediciones de niveles en la red de monitoreo y ampliar la misma, principalmente en pozos que capten al acuífero Bagaces, con el fin de conocer el comportamiento de los acuíferos en diferentes condiciones climáticas. En el caso de los piezómetros es conveniente realizar el control de manera automática mediante la instalación de sensores diseñados para tal fin.

Esta información ayudaría determinar el volumen de recarga mediante la metodología de hidrograma de pozos y de esta forma calibrar el valor calculado por balance de masas en la zona de Liberia.

Realizar pruebas de bombeo para obtener parámetros hidráulicos en ambos acuíferos, principalmente en pozos que capten el acuífero Liberia, pues no se cuenta con valores de coeficiente de almacenamiento. En el caso del acuífero Bagaces estas deben distribuirse espacialmente en el área para comprobar las variaciones espaciales de la transmisividad.

Realizar una campaña de aforos durante la época seca y lluviosa para conocer mejor el comportamiento de la recarga y la interacción de los ríos con el agua subterránea y sus variaciones estacionales.

Realizar muestreos periódicos de parámetros físico-químicos del agua subterránea con el fin de determinar su calidad.

Integrar la información de la margen derecha e izquierda del río Tempisque mediante la implementación de un modelo numérico y evaluarlo para distintos escenarios climáticos considerando la extracción de agua en pozos y flujo base del río principal.

Capítulo 7: Bibliografía

- AGUILAR, T., & ALVARADO, G., 2004: Tafonomía y sedimentología de la paleobiota estuarina en los Cerros Barbudal (Costa Rica) sepultada por vulcanismo neógeno.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 30: 111-116.
- ALLEN, R.G., 2006: Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requisitos de agua de los cultivos.- 299 págs. FAO, Roma.
- ALPIZAR, R., 2014: Modelo conceptual y aplicación del modelo numérico usando Visual Modflow del Acuífero Aluvial del río Tempisque en el sector Trancas, Provincia de Guanacaste, Costa Rica.- Univ. De Costa Rica [Tesis M.Sc.].
- ALVARADO, G., & GANS, P., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 46: 7-122.
- ANDERSON, M., WOESSNER, W. & HUNT, R., 2015: Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport.- 630 págs. Elsevier, Londres.
- APARICIO, J., LAFRAGUA, J., GUTIÉRREZ A., MEJÍA, R. & AGUILAR, E., 2006: Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas.- 95 págs. PHI-LAC N°4. Unesco, Montevideo.
- APPELO, C. & POSTMA, D., 1994: Geochemistry, groundwater and pollution.- 536 págs. Ed. Balkema, Róterdam.
- ARANCIL., E., MAURI, U., VALLÉS, J., MARTÍNEZ, P. & PORRES, J., 2003: Evaluación de problemas medioambientales mediante tomografía eléctrica.- <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1993/epm.pdf?sequence=1> [Consulta: 26 de agosto de 2017].
- ARIAS, M., 2002: La prospección geoeléctrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 27: 21-26.
- ARIAS, M. & MOJICA, A., 2003: Prospección arqueológica en América Central mediante el uso de métodos geofísicos.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 29: 35-41.
- ASTORGA, Y., 2007: Recurso Aguas Superficiales y Subterráneas con énfasis en las principales cuencas hidrográficas.- Informe final, Décimo tercer Informe Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible, San José.

- BARCKHAUSEN, U., RANERO, C.R. VON HUENE, R., CANDE, S.C. & ROESER, H., 2001: Revised tectonic boundaries in the Cocos Plate off Costa Rica: Implications for the segmentation of the convergent margin and for plate tectonic models.- J. Geophys. Res. 106: 19207-19220.
- BANKS, H., 1971: Investigación de aguas subterráneas en tres áreas seleccionadas de Costa Rica.- 20 págs. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, San José [Inf. Interno].
- BEAR, J. & VERRUJIT, A., 1987: Modelling groundwater flow and pollution.- 414 págs. D. Reidel Publishing Company, Holanda.
- BERMÚDEZ, P., RODRÍGUEZ, R., VARGAS, C., 2002: Identificación y caracterización de los impactos socioeconómicos y ambientales de la construcción del puente sobre el río Tempisque, Nicoya, Costa Rica.- Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic].
- BETANCUR, T., MEJÍA, O., PALACIO, C., 2009: Modelo hidrogeológico conceptual del Bajo Cauca antioqueño: un sistema acuífero tropical.- Rev. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 48: 107-118.
- BOHNENBERGER, O., 1968: Un reconocimiento fotogeológico en Guanacaste.- 26 págs, Ed. Naciones Unidas, San José [Inf. Interno].
- BREÑA, A., 2003: Hidrología urbana.- <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/index.htm> [Consulta: 10 de julio de 2018].
- CHEBOTAREV, I., 1955: Metamorphism of natural wáter in the crust of weathering.- Geochim. Acta, 8: 22-48.
- CHIESA, S., 1991: El flujo de pómez biotítica de Río Liberia (Guanacaste), Costa Rica, América Central.- Rev. Geol. Amér. Central, 13: 73-84.
- CHIESA, S., ALVARADO, G., PECCHIO, M., CORELLA, M & ZANDHI, A., 1994: Contribution to petrological and stratigraphical understandint of the Cordillera de Guanacaste lava flows, Costa Rica.- Rev. Geól. Amér. Central, 14-43.
- CHIESA, S., CIVELLI, G., GYLLOT, P.-Y, MORA, O. & ALVARADO, G.E., 1992: Rocas piroclásticas asociadas con la formación de la caldera de Guayabo, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 14: 59-75.
- COLLINS, J., 1999: A groundwater resource evaluation of a volcanic aquifer system near the city of Liberia, Costa Rica.- 275 págs. Univ. de Waterloo, Ontario [Tesis M.Sc.].

- CÓRDOBA, D.F., MEFFE, R. & MARTÍNEZ, M.V., 2013: Metodología para el desarrollo de un modelo hidrogeológico mediante herramientas de información geográfica.- En: PASCUAL, J., SANZ, J., BUSTAMANTE, I. (Ed.): Modelos y bases de datos geoespaciales para la evaluación e inventario de los recursos hídricos.- Instituto IMDEA agua, Madrid.
- CUSTODIO, E & LLAMAS, M.R., 2001: Hidrología subterránea [2ª ed.]- 1157 págs. Ed. Omega, Barcelona.
- DAVID, A., 2005: The Bagaces Formation in the Guanacaste Province, Costa Rica; Refined stratigraphy and petrology.- 203 págs. Leiniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel [Tesis de Lic.].
- DEMETS, C., GORDON, R. G., ARGUS, D.F., & STEIN, S., 1994: Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motion.- J. Geophys. Res. 21: 2191-2194, DOI: 10.1029/94g102118.
- DEMETS, C., GORDON, R. G. & ARGUS, D.F., 2010: Geologically current plate motion.- J. Geophys. Res., 181: 1-80, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x.
- DENGO, G., 1962: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.- 112 págs. Instituto Geográfico Nacional, San José.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2013: Mapa geológico de la hoja Carrillo Norte.- Escala 1:50000, UCR-MINAE, San José.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografía geológica de la Península de Nicoya Costa Rica.- 207 págs. Ed. UCR, San José.
- DENYER, P & ARIAS, O., 1993: Geología del norte de la Península de Nicoya, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 16: 69-84.
- DENYER, P., & BAUMGARTNER, P.O., 2006: Emplacement of Jurassic-Lower Cretaceous radiolarites of the Nicoya Complex (Costa Rica).- Geologica Acta, 4(1-2): 203-218.
- DONDOLI, C., 1950: Liberia y sus alrededores.- 8 págs., Boletín Técnico No.3, Ministerio Agricultura e Industrias.
- ECHANDI, E & SCHOSINSKY, G., 2001: Estudio hidrogeológico del valle aluvial superior del Río Tempisque.- 20 págs. Conagua [Inf. técnico].
- ECHEVERRIA, J, 2005: Estudio de caso cuenca Tempisque, Costa Rica.- 20 págs. Estrategia de Gestión Integrada del Recurso Hídrico. MINAE, San José [Inf. técnico].

- ELIZONDO, J., 1982: Estudio hidrogeológico con fines de riego en la margen derecha del río Tempisque.- 39 págs + 9 mapas, SENARA, San José [Inf. interno].
- ESCUDE, R., FRAILE, J., JORDANA S., RIBERA F., SÁNCHEZ-VILA, X. & VÁZQUEZ-SUÑÉ, E., 2009: Hidrogeología: conceptos básicos de hidrología subterránea.- 768 págs. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea, Barcelona.
- FETTER, C.W., 2001: Applied hydrogeology.- 598 págs. Ed. Prentice Hall, New Jersey.
- FOURNIER, L., 1980: Esbozo fitogeográfico de Costa Rica.- En: MONTIEL, M (ed): Introducción a la flora de Costa Rica.- Ed. Univ. de Costa Rica, San José: 19-36.
- FREEZE, R. & CHERRY, J., 1979: Groundwater.- 604 págs. Ed Prentice Hall, New Jersey.
- GILLOT, P., CHIESA, S. & ALVARADO, G., 1994: Chronostratigraphy of Upper Miocene-Quaternary volcanism in northern Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 17: 45-53.
- GÓMEZ, A. & ARREDONDO, S., 1994: Hidrología isotópica del valle del río Tempisque, provincia de Guanacaste, Costa Rica.- En: Estudios de hidrología isotópica en América Latina 1994. 340 págs. Organismo Internacional de Energía Atómica, Vienna.
- GÓMEZ, L., 1986: Mapa tipos de vegetación.- Escala 1:250 000, EUNED, San José, Costa Rica.
- GUZMÁN, I., 2013: Base para la planificación del recurso hídrico superficial en la cuenca alta y media del río Tempisque, Costa Rica.- Univ. Nacional, Heredia [Tesis Ph. D.].
- HALLOF, P., 1980: Electrical: IP and resistivity.- En: VAN BLARICOM, R.: Practical geophysics for the exploration geologist.- Northwest Mining Association, 39-151.
- HARGREAVES, G. & SAMANI, Z., 1982: Estimating potential evapotranspiration.- Journal of the irrigation and drainage, 108(3): 223-230.
- HARGREAVES, G. & SAMANI, Z., 1985: Reference Crop Evapotranspiration from temperatura.- Applied Eng. In Agric., 1(2): 96-99.
- HEALY, R. & COOK, P., 2002: Using groundwater levels to estimate recharge.- Hydrogeology Journal, 10: 91-109.

- HERRERA, W., 1985: Mapa tipos de clima.- Escala 1:250 000, EUNED, San José, Costa Rica.
- HERRERA, P., & VARGAS, A., 2012: Geología de Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica.- *Rev. Biol. Trop.*, 60: 213-223.
- HEY, R., 1977: Tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center.- *Geol. Soc. Am.*, 88: 1404-1420.
- HOLDRIDGE, L.R., 1967: Life zone ecology.- 140 págs, Centro Científico Tropical, San José.
- HOULSBY, A.C., 1991: El ensayo de Lugeon y su interpretación.- *Rev. de la Universidad de La Salle*, 18:139-150.
- IMN, 2016: Climatología aeronáutica, aeropuerto internaciona Daniel Oduber Quirós (Costa Rica).- 20 págs, Instituto Meteorológico Nacional, San José.
- IMN, MINAE, 2016: Perspectiva climática anual 2016 para Costa Rica.- <https://www.imn.ac.cr/pronostico-climatico> [Consulta: 20 de setiembre de 2016].
- INDER, 2014: Caracterización del Territorio Inder Liberia-La Cruz.- 108 págs, Instituto de Desarrollo Rural, San José.
- KRÁSNÝ, J., 1993: Classification of transmissivity magnitude and variation.- *Groundwater*, 31: 230-236.
- KRÁSNÝ, J., 2003: Distribución espacial de los parámetros hidráulicos en diversos medios hidrogeológicos.- *Boletín Geológico Minero*, 114 (2): 171-182.
- KRÁSNÝ, J. & SHARP, Jr., 2003: Hydrogeology of fractured rocks from particular fractures to regional approaches: State-of-the art and future challenges.- En: KRÁSNY, J. & SHARP, Jr.: *Groundwater in fractured rocks*.- CRC Press, 17-46.
- KUIJPERS, E.P., 1979: La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica.- Informe semestral, IGN, 1979 (2): 15-75.
- LACHNIET, M. & PATTERSON, W., 2002: Stable isotope values of Costa Rica surface waters.- *Journal of hydrology*, 260 (2002): 135-150.
- LERNER, D., 2002: Identifying and quantifying urban recharge: a review.- *Hydrogeology Journal*, 10: 143-152.
- LOKE, M.H., 2004: Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys.- 128 págs. Geotomo Software, Malasia.

- LOSILLA, M., RODRIGUEZ, H., SCHOSINKY, G., STIMSON, J. & BETHUNE, D., 2001: Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central.- 208 págs. Ed. Universidad de Costa Rica, San José.
- MADRIGAL, R., & ROJAS, E., 1980: Mapa geomorfológico de Costa Rica (1:200000) Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica.
- MANSOR, S., 2005: The Post-Carbonal units of the Bagaces Formation: The Meseta de Santa Rosa (National Park Santa Rosa, Costa Rica).- 52 págs University of Kiel, Alemania [Tesis M.Sc.].
- MARSHALL, J. & FISHER, D., 2000: Central Costa Rica deformed belt: Kinematics of diffuse faulting across the western Panama block.- *Tectonics* 19: 468-492, DOI: 10.1029/1999TC001136.
- MINAET, AyA, SENARA, ICE, & Banco Nacional, 2008: Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Margen Occidental del Río Tempisque a partir de la Presa - Embalse La Cueva.- 15 págs. Plan de Abastecimiento de Agua y Gestión Integrada de las Aguas residuales para Guanacaste.
- ONU, 1972: Manual de instrucciones, estudios hidrológicos.- 540 págs. ONU Publ. N° 70, San José, Costa Rica.
- ONU, 1975: Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas, Costa Rica.- 261 págs. Naciones Unidas, New York [Inf. técnico].
- ORELLANA, E., 1972: Prospección geoelectrica de corriente continua.- 523 págs. Ed. Paraninfo, Madrid.
- OROZCO, E., 2014: Modelo numérico del acuífero de la margen derecha del río Tempisque, desde Monte Galán hasta Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.- 106 págs. Univ. De Costa Rica [Tesis M.Sc.].
- PEN, 2017: Vigésimo tercer Informe Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible.- 322 págs, Programa Estado de la Nación, San José.
- PETERS, G., 2001: La Cuenca del Tempisque: una perspectiva histórica.- En: JÍMENEZ, J., & GONZÁLEZ, E. (Ed.): La Cuenca del río Tempisque.- OET, 1-21.
- PODER EJECUTIVO, 2015: Reglamento para la Calidad del Agua Potable D.E. N° 389224-S.- La Gaceta N° 170. San José.
- QUESADA, R., 2007: Los bosques de Costa Rica.- IX Congreso Nacional de Ciencias, Cartago, Costa Rica: 1-16.

- RAMIREZ, R., 2014: Recarga y extracción hídrica de los acuíferos Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica.- 137 págs. Univ. de Costa Rica [Tesis M.Sc.].
- RUSHTON, K.R., 2003: Groundwater hydrology: conceptual and computational models.- 416 págs, Ed. Wiley, Inglaterra.
- SÁNCHEZ, L., 2017: Tendencias de crecimiento en ciudades intermedias: El caso de San Isidro de El General, Ciudad Quesada y Guápiles.- 44 págs, ponencia preparada para el Informe Estado de la Nación 2017, San José.
- SAWYER, C.N. & MCCARTY, P.L., 1978: Chemistry for Environmental Engineering and Science (3rd ed.).- 752 págs. McGraw-Hill, New York.
- SCHOSINSKY, G. & LOSILLA, M., 2000: Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual.- Rev. Geol. Amér. Central, 23: 43-55.
- SCHOSINSKY, G., 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos.- Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 13-30.
- SEMM, W., 2005: Pliocene ignimbrites (Formación Bagaces) around Cañas, Guanacaste, Costa Rica.- 33 págs. University of Kiel, Alemania [Tesis M.Sc.].
- SENARA, 1992: Mapa hidrogeológico de la península de Nicoya.- Escala 1: 250 000, Dirección de Aguas y Estudios Básicos del SENARA, San José.
- SENARA, 2008: Programa de gestión integrada de recursos hídricos (PRO-GIRH SENARA).- 30 págs, documento resumen PRO-GIRH-SENARA, San José [Inf. interno].
- SERWAY, R. & JEWETT, J., 2008: Física para ciencias e ingeniería.- 640 págs. Cenage learning, México D.F.
- SINTON, C.W., DUNCAN, R.A. & DENYER, P., 1997: Nicoya Peninsula: A single suite of Caribbean oceanic plateau magmas.- Jour. Geophys. Research, 102 (B7): 15507-15520.
- SOKOLOV, A.A. & CHAPMAN, T., 1981: Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de métodos de investigación.- 180 págs. Instituto de hidrología de España-UNESCO, Madrid.
- SOLANO, J. & VILLALOBOS, R., 2001: Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica.- Top. Meteor. Oceanog., 8(1): 26-39.

- SOLANO, J., 2018: Estratigrafía y petrografía del Plio-Pleistoceno del noroeste de Costa Rica: Formación Bagaces y lavas Pelón de la Bajura.- 389 págs. Univ. de Costa Rica [Tesis Lic].
- SZYMANSKI, D., 2007: Magmatic evolution of ignimbrites in the Bagaces Formation, Guanacaste Province, Costa Rica.- 340 págs. Michigan State University [Tesis Ph.D.].
- TOURNON, J., 1984: Magmatismes du Mesozoique a l'actuel en Amerique Centrale: L'exemple de Costa Rica, des ophiolites aux andesites.- 335 págs. Univ. Pierre et Marie Curie [Tesis Ph.D.].
- UDÍAS, A. & MÉZCUA, J., 1986: Fundamentos de geofísica.- 419 págs. Ed. Alhambra S.A., Madrid.
- USGS, 2017: Water-table fluctuation (WTF) method.- <https://water.usgs.gov/ogw/gwrp/methods/wtf/> [Consulta: 10 de Julio de 2018].
- VARGAS, I. (Comp), 2013: Manejo sostenible de la zona norte del Acuífero Tempisque.- 167 págs. Informe final de proyecto COS08/010, SENARA, Univ. De Costa Rica, OIEA, San José.
- VARGAS, C., 2014: Informe final de perforación piezómetro 4-ME (ME-412).- 60 págs. Castro & DeLaTorre [Inf. Interno].
- VARGAS, C., LEANDRO G. & SÓLIS, L., 2015: Pruebas de infiltración, tipos de suelos e investigación geofísica en: parte media de la cuenca del río Tempisque, cuenca del río Ario y zonas costeras del Pacífico Central.- 1620 págs. GEO-TECTICA-SENARA, Licitación Nacional N° 2013LN-000008-OC.
- VOGEL, T.A., PATINO, L.C., ALVARADO, G. & GANS, P., 2004: Silicic ignimbrites within the Costa Rican volcanic front: evidence for the formation of continental crust.- *Earth Planetary Sci. Letters*, 226: 149-159.
- WELLS, S., BULLARD, T., MENGES, C., DRAKE, P., KARAS, K., KELSON, K., RITTER, J. & WESLING, J., 1988: Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica.- *Geomorphology*, 1:239-265.
- YOUNGER, P., 2007: Groundwater in the environment: An introduction.- 318 págs. Blackwell Publishing, Reino Unido.

Anexo A: Resumen pozos SENARA y AyA

NE: Nivel estático, ND: nivel dinámico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
AH-30 (1973)	294600	370700	45,72	-	NE: 2,74 - ND: 4,57	27,43-45,72	-	-	-
AH-31 (1973)	310900	367600	18,28	0-7,62: Toba color blanco o crema, algo meteorizada, dando la impresión de ser muy ácida, acompañada por algas partículas arcillosas. El grano es mediano y poroso. La permeabilidad es alta. 7,62-13,76: Litología heterogénea, el color es muy heterogéneo, contiene fragmentos angulosos de lava de color gris con fenocristales de natural ácido, lavas de color morado, etc. No contiene arcilla. La permeabilidad puede ser de mediana a buena. 13,76 - 16,76: Toba color blanco, con gran cantidad de láminas de moscovita y granos de cuarzo, entremezclados con algunos fragmentos lávicos de color gris; estos se aumentan en la parte inferior (15,24-16,76). No contiene partículas arcillosas. La permeabilidad es buena.	NE: 4,69	6.09 - 18.28	-	-	-
AH-59 (2003)	297925	372250	50	0-1: Suelo 1-31: Formación Liberia, las tobas se encontraron muy densas, sin ningún nivel freático. 31-50: Formación Bagaces, con muy alta permeabilidad, presentando artesianismo.	Al tocar Bagaces nivel subió a 13.3 m. Excelentes condiciones de permeabilidad. Prof (m): 31 → Nivel 17,7 m NE: 17,7 - ND: 18,5	-	2,5	-	Industrial
AH- 73 (2007)	297180	372200	50	0-3: Tobs blancas 3-6: Tobs oscuras 6- 15: Tobs con piedra pómez 15-18: Lava y piedra pómez 18-27: Lavas sólidas 27-30: Arcillas y tobas 30-45: Tobs de la Fm. Bagaces 45-50: Lavas	Prof. 22 m → Nivel: 21,4 m NE: 21,4 - ND: 21,81	-	2,8	-	Doméstico
CN-37 (1968)	362200	282400	57,6	Aluvión del Tempisque	NE: 11,8 - ND: 24,2	45,7-57,6	-	-	Abas. Público
CN-57 (1968)	368700	281800	-	-	NE: 13,42	-	-	-	Doméstico
CN-65 (1967)	285000	364400	30	0-13,2: Toba material piroclástico de color gris claro, contiene gran cantidad de cuarzo dando aspecto arenoso, también contiene mucha mica color amarillo. Este se encuentra muy meteorizado en la parte superior. Este material es de baja permeabilidad. 13,2 - 21,3: Toba de color café ha rosado, contiene mucha pómez es poroso y moderadamente permeable, muy suave, muy fracturado, puede este dada su condición rendir agua subterránea. 21,3 - 30,5: Toba; ignimbrita de color gris oscuro, dura, fracturada, contiene gran cantidad de vidrio volcánico de color negro. Debido a su enfriamiento rápido presenta un diaclasado intenso.	Tipo de pozo: freático NE: 9,14	12,19 - 30	-	-	Doméstico, abrevaderos

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-76 (1971)	363400	284300	57,64	<p>0-0,91: Limo arcilloso (de aspecto terroso) café rojizo. Permeabilidad baja. Rend espec= 3.</p> <p>0,91m-2,74: Arcilla café claro muy plástica con poca cantidad de arena, muy fina y cuarzosa. Permeabilidad baja. Rend espec ≈2</p> <p>2,74-5,49: Arena arcillosa, de grano muy fino, el color del material es café grisáceo y debido a la arcilla (±40%) es bastante plástico. Permeabilidad de baja a media. Rend espec ≈ 6.</p> <p>5,49-7,32: Arcilla arenosa color café grisáceo, muy plástica. La arena que contiene es de grano muy fino y compuesto casi en su totalidad por granos de cuarzo o vidrio transparente. Perm baja. Rend espec ≈ 4.</p> <p>7,32-8,23: Arcilla gris muy plástica incluyendo pocos granos de arena y poco material limoso. Permeabilidad baja. Rend espec ≈ 2.</p> <p>8,23-9,45: Aglomerado volcánico de cenizas, lapiles, fragmentos de lava meteorizada, ignimbrita y vidrio volcánico en una matriz cenicienta y vidriosa, suave. Perm media a baja. Rend espec ≈6.</p> <p>9,45-10,98: Toba lapilitica suave, café negruzca, con fragmentos de ignimbrita, regular cantidad de vidrio volcánico y de fragmentos basálticos. Perm media.</p> <p>10,98-14,64: Toba de Bagaces, no muy dura, café blancuzca, incluyendo poco vidrio volcánico y fragmentos de lava basáltica. Perm media.</p> <p>14,64-18,30: Toba de la Form. Bagaces un poco más oscura y más dura que la anterior. En más homogénea. Perm media.</p> <p>18,30-23,79: Ignimbrita muy dura, color café amarillenta, presenta estructura fluidal. Hya también evidencia de regular número de diaclasas.</p> <p>23,79-25,62: Ignimbrita menos dura, color gris, con mayor cantidad de vidrio volcánico que la anterior. Perm media.</p> <p>25,62-32,02: Arena de fina a gruesa, compuesta por lápiles, fragmentos pequeños de lava e ignimbrita cementada por una matriz cenicienta. Este material parece de deposición fluvio-lacustre. El color del material es gris. Permeabilidad baja. Rend espec ≈3.</p> <p>32,02-32,94: El mismo material anterior, pero de un color rojizo y amarillento. Posiblemente fue quemado.</p> <p>32,94-34,77: Toba roja con regular cantidad de vidrio volcánico. Su color rojo indica que fue quemada. Perm media.</p> <p>34,77-38,43: Ignimbrita dura, café rosácea con inclusiones de fenocristales, regular cantidad de fragmentos de pómez y vidrio volcánico. De 36,6 a 38,4 más suave e incluye regular cantidad de fragmentos lapiliticos. Perm media.</p> <p>38,43-39,34: Aglomerado volcánico gris negruzco incluyendo fragmentos de toba, ignimbrita negra, lapiles, gran cantidad de pómez, vidrio volcánico y cenizas. Perm media. Rend espec= 7.</p> <p>39,34-48,50: Serie fluvio-lacustre compuesta de un material blanco amarillento de textura fina regularmente compactado. De 39,3-41,1 m y de 46,6 a 48,5 m incluye gran cantidad de granos subangulosos de arena y lapiles de pequeña a media. Perm baja. Rend espe≈3.</p> <p>50,32-53,98: Material aluvial, heterogéneo, bastante meteorizado muy arcilloso, compuesto por arena de media a gruesa y grava pequeña de angulosa a subredondeada y gran cantidad de granos de sílice coloidal. Perm de baja a media. Redn espe ≈8.</p> <p>53,98-57,64: Material de origen fluvio-lacustre de color gris y amarillo de textura muy fina, bastante duro, incluyendo bastantes fragmentos coloidales y fragmentos verdes, amarillos y rojizos. Perm baja.</p>					Investigación

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)- T (m2/d)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN- 78	292500	368600	62,48	<p>0,3 - 0,5: Arcillas café oscuro y grisácea, plástica con poca arena fina, cuarzosa y pocos granos de grava pequeña meteorizada. Permeabilidad nula. Rendimiento específico 2.</p> <p>3,05-5,49: Arcilla café semi-plástica, con mayor contenido de arena fina cuarzosa que la anterior y además contiene un bajo contenido de limo que le da cierto aspecto terroso. Hay bajo contenido de grava pequeña meteorizada. Permeabilidad de nula a baja. Rendimiento específico 3.</p> <p>5,49- 7,63: Arcilla gris, plástica, con regular cantidad (-25%) de arena de fina a gruesa, negra, incluyendo granos de arenisca negra, meteorizada, bastante compacta y mucho vidrio volcánico. Permeabilidad de nula a baja. Rendimiento específico 3.</p> <p>7,63 - 12,20: Arcilla limosa café grisácea con poco contenido de arena fina, cuarzosa y pocos granos de grava pequeña meteorizada. Permeabilidad baja. Rendimiento esp 4</p> <p>12,20 - 13,73: Arcilla limosa café blancuzca con gran cantidad de arena fina a gruesa y grava pequeña, heterogénea, incluyendo granos subredondeados de lava negra andesítica con inclusiones de feldespatos y además bastantes granos de cuarzo. Permeabilidad baja. Rendimiento espec. 4.</p> <p>13,73 - 18,30: Material de textura muy fina, arcilloso, limoso de posible depositación lacustre. Incluye gran cantidad de arena fina, cuarzosa y micásea. Pocos granos de grava pequeña negra y subredondeada. Hay también muchos granos pequeños de pómez. Permeabilidad baja. Rendimiento espec.4.</p> <p>18,30 - 27,45: Arena de fina a gruesa, blanca, principalmente pumicea, contiene también mucho cuarzo, mica, lapiles y vidrio volcánico. Esta poco cementada. Permeabilidad media. Rendimiento específico 12.</p> <p>27,45 - 35,08: Arena de fina a gruesa heterogénea, con mucho cuarzo, escasa mica. Existen pocos granos de grava pequeña, bastantes fragmentos pequeños de pómez blanco. El material está medianamente cementado por una matriz cenicienta. Permeabilidad media. Rendimiento espec. 10.</p> <p>35,08 - 36,60: Toba de Bagaces café, rosácea, bastante dura con inclusiones de vidrio volcánico y plagioclasas. Presenta evidencia de fracturas y vacuolas. Perm de media a buena.</p> <p>36,60 - 45,75: No hay muestras.</p> <p>45,75 - 50, 33: Toba café grisácea no muy dura con inclusiones de fragmentos de litofiros ácidos blancos. Hay también vidrio volcánico. Permeabilidad media.</p>	<p>Acuíferos principales: de 13,7 a 19,8 y de 56,4 a 62,4.</p> <p>Bombeo de 1 l/s produce abatimiento de 1,35m en 1 hora sin llegar al equilibrio. Interfiere el pozo excavado CN-62 en 20 min después de iniciado.</p> <p>NE: 13,71.</p>	13,71 - 19,81 / 56,39- 62,48	-	-	Doméstico
CN-79 (1971)	278700	363550	30,48	Se perforaron gravas y arenas	Se abate muy poco. NE: 9,14	18,29- 30,48	-	-	-
AH-80 (2006)	372391	299788	70	0-55 Tobas blancas. 55-62 Paleosuelo rojizo 62-70 Tobas grises	NE: 21	No se puede leer	2,45	2,45	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-82 (1972)	370400	282800	137,46	<p>58,2-70: Aglomerado volcánico de matriz cenicienta ácida y los clastos existen en aprox 75% y son en su mayoría fragmentos de pómez desde +o- 1mm hasta 2 cm de diám; algunos clastos (+o- 5%) son fragmentos lávicos subangulosos menores de 4 mm de diám. El material es deleznable y bastante poroso. Permeabilidad primaria es baja y no se notan fracturas mayores. No hay evidencia de microfósiles ni de estratificación muy marcada.</p> <p>70- 73,1: Arenisca de grano grueso (hasta +o- 4 mm) con matriz cenicienta ácida y cemento silíceo, deleznable. Los granos son en su mayoría fragmentos de vidrio volcánico (pumíceos). Algunas secciones son de arenisca de grano fino a medio y otras aglomeráticas parecidas a la sección anterior. Algunas secciones también tienen mayor cantidad de fragmentos líticos (volcánicos). Algunos planos de estratificación muestran inclinaciones entre 5° y 30°. El material presenta porosidad y permeabilidad primaria entre media y alta; también existe evidencia de permeabilidad secundaria por fracturas a más o menos 90° con la horizontal y que presentan deposiciones de óxidos. No hay evidencia de microfósiles.</p> <p>73,1-74: Lutita gris verdosa, regularmente consolidada, no parece tener influencia volcánica. El material pasa transicionalmente a una arenisca arcósica con vidrio volcánico y cemento silíceo y algo calcáreo. La arenisca también es verdosa. La lutita está en discordancia estratigráfica con el material de 200'-240' Límite entre terciario y Cuaternario? Permeabilidad y porosidad bajas.</p> <p>74-78,6: Arenisca arcósica color gris blancuzco, con secciones de grano fino, otras de grano medio a grueso. Cemento silíceo y a veces algo calcáreo. Matriz cenicienta escasa. Algunas secciones son iguales al material de 191-200'. Se notan planos de estratificación con inclinaciones hasta de 30°. Porosidad y permeabilidad media.</p> <p>78,6-88,4: Tobita de textura muy fina (de deposición en aguas tranquilas), algunas secciones son color gris verdoso otras blancuzcas y otras grises; algunas son bastante lapilíticas, en algunos intervalos la toba es arenosa.</p> <p>88,4-90,8: Toba arenosa gris con inclusiones de fragmentos de cuarzo y fragmentos líticos volcánicos. Matriz cenicienta y posible cemento silíceo. Hay intercalaciones de tobita.</p> <p>90,8-92: Tobita blanca de textura muy fina, con arena volcánica muy fina y en más o menos 15% del total de la roca, el resto con cenizas ácidas cementadas por sílice. El material tiene una porosidad de media a alta y una permeabilidad de baja a media. Hay fragmentos de pómez esporádicos hasta 4 cm de diám.</p> <p>92-93,4: Idem 88,4-90,8</p> <p>93,4- 96,9: Idem 90,8-92 m con intercalaciones de toba gris arenosa con fragmentos de pómez hasta de 1/2 cm de diám.</p> <p>96,9-97,2: Aglomerado volcánico compuesto principalmente por fragmentos líticos volcánicos desde 1/2 mm hasta 1 cm de diám en una matriz pumícea. Porosidad alta y permeabilidad media.</p> <p>97,2-111,5: Lutita fisible regularmente arenosa, compuesta principalmente por cenizas volcánicas, porosa y compactación media. En algunas secciones se encuentran inclusiones de pómez de 1/2 cm de diám; también hay poco nódulos calcáreos hasta de 25 mm de diám y pocas fracturas horizontales rellenas de CaCO3.</p> <p>111,5-118,9: Tobita arenosa, fosilífera, color gris oscuro con fragmentos de microfósiles de bivalvos y de vegetales. Tiene inclusiones de fragmentos de pómez hasta de 2 cm de diám.</p> <p>118,9-119,5: Idem 88,4-90,8 pero los fragmentos de pómez tienen hasta 2 cm de diám.</p> <p>119,5- 120,4: Arenisca gris de grano muy fino, muy compacta, con cemento silíceo y matriz cenicienta. No se ven microfósiles.</p> <p>120,4-130,5: Toba arenosa color oscuro de matriz cenicienta, poco fosilífera con secciones de toba de textura muy fina, poco arenosa y compacta; y otras de aglomerados volcánicos compuestos por fragmentos de pómez hasta de 1 cm de diám con matriz cenicienta.</p> <p>130,5-134,1: Tobita arenosa fosilífera color gris con secciones de material orgánica, otras secciones tienen cemento calcáreo. Los granos de arena son de origen volcánico. Porosidad buena y permeabilidad baja.</p> <p>134,1-137,5: Idem 119,5 - 120,4 m y en algunas secciones se encuentran intercalaciones de fragmentos de pómez hasta de 1 cm de diám.</p>	<p>Perforación de investigación estratigráfica.</p> <p>0-58,2 m: De 0-16,4 m arena y arcilla. De 16,4 m a 27,4 arena y arcilla pero con piedras diseminadas hasta de 18". De 27,4 m a 42,7 arena y arcilla. De 42,7 m a 57,9 m roca suave, posiblemente un conglomerado igual al recuperado después de los 58,2m. 58,2-100,5m: Recuperación promedio 95%.</p> <p>A los 85 m hubo una pérdida parcial del agua. De 95 a 36 m se notó lo que parece madera fosilizada.</p> <p>100,5-137,5m: Recuperación promedio 94%. Desde los 103,6 m comenzó a fugarse el agua y a los 107 m solamente se recuperaba el 50% de agua. A los 112,7 m comenzó a aparecer los fósiles. El promedio de recuperación total del núcleo, o sea de 58,2 m a 137,5 fue de 95%.</p>	-	-	-	Investigación

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-83 (1972)	368600	281000	64,66	<p>0-12,8: Aluviones finos, consistentes en cenizas bastante ácidas, arcillificadas, café grisáceas y arena de fina a media, subangulosa, cuarzosa y micácea. Las cenizas arcillificadas aparecen como matriz en más o menos un 50% del total de la muestra. Permeabilidad baja.</p> <p>12,8- 24,7: Aluvión compuesto por arena de fina a gruesa cuarzosa y regular cantidad de grava pequeña de subangulosa a subredondeada; la grava es de procedencia volcánica variada. El material se encuentra en una matriz grisácea compuesta de ceniza arcillificadas que comprende más o menos el 50% de total de la muestra. Se encuentran horizontes pequeños de textura fina, cenicienta que parece ser una tobita. Permeabilidad baja.</p> <p>24,7- 29,3: Arena cuarzosa de grano medio, de angulosa a subangulosa con más o menos 20% de matriz cenicienta. El material está poco consolidado. Podría ser una toba riolítica, arenosa depositada en agua. Permeabilidad media.</p> <p>29,3- 34,7: Grava pequeña, subredondeada proveniente de lavas e ignimbritas y arena media, cuarzosa. El material se encuentra en más o menos un 50% de matriz arcillosa. Permeabilidad baja.</p> <p>34,7-38,4: Grava pequeña, subredondeada, de procedencia volcánica muy variada con regular cantidad de arena de fina a gruesa con bastantes granos de cuarzo. El material contiene +- un 15% de arcilla. Permeabilidad de media a buena.</p> <p>38,4-43: Grava pequeña y ocasionales fragmentos de grava gruesa y media, de subangulosa a subredondeada y arena bastante cuarzosa de fina a gruesa en una matriz arcillosa gris q constituye +- un 35% del total de la muestra. Permeabilidad media a baja.</p> <p>43-46,6: Grava fina con arena fina color gris, granos subangulosos a subredondeados de composición lávica y tobácea. Matriz arcillosa en más o menos un 20% de la muestra. Permeabilidad media.</p> <p>46,6-61,3: Tobita lapilítica gris verdosa, con bastante contenido de cuarzo volcánico, regularmente arcillificada; presenta ocasionales mineralizaciones de sulfuros. La matriz cenicienta es de textura muy fina. Se presentan ocasionales clastos de grava de fina a gruesa, de composición lávica, que posiblemente sean caídos de intervalos superiores. Permeabilidad baja</p>	NE: 3,94	33,55-45,75	3,6	-	Investigación
CN-84 (1972)	364000	283300	38,1	<p>0-9,1: Arcilla y limo café claro con gran cantidad de fragmentos suaves de toba riolítica con abundancia de cuarzo volcánico y mica meteorizada. Permeabilidad baja.</p> <p>9,1-24,7: Aluvión arena de fina a gruesa y grava pequeña proveniente de la toba rosada de Bagaces y la toba riolítica de Liberia. Gran cantidad de vidrio volcánico pequeño. Arcilla +- 20%. Permeabilidad de media a buena.</p> <p>24,7-26,5: Arcilla rojo oscuro con fragmentos de tobas de Bagaces y de Liberia. Permeabilidad baja.</p> <p>26,5-37,5: Aluvión: arena gruesa y grava pequeña, material muy heterogéneo, subangulosos; existen muchos fragmentos de pómez y de toba riolítica. Matriz arcillosa en más o menos 20%. Permeabilidad media a buena.</p>	NE: 4,76 - ND: 9,78	18,3-30,5	3,1	60	Abast. Público
CN-92 (1974)	362270	287660	30,18	-	NE: 8,1	-	-	-	Estudio para represa
CN-93 (1974)	362400	287600	26,21	-	NE: 8,53	-	-	-	Estudio para represa
CN-94 (1974)	364140	289849	39,95	-	NE: 9,37	-	-	-	Estudio para represa
CN-95 (1974)	364260	289830	42,67	-	NE: 2,95	-	-	-	Estudio para represa

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-158 (2007)	289489	369875	80	0-3: Ignimbrita gris, dura. Permeabilidad aparente mala. 3-40: Formación Liberia, matriz cenicienta, suelta, color crema, pómez, mica, con secciones fluvio-lacustres. Permeabilidad aparente mala. 40-45: Formación Bagaces, ignimbrita gris, dura, matriz cenicienta. Permeabilidad aparente baja. 45-50 m Ignimbrita rosada, dura, pómez, matriz cenicienta. Permeabilidad aparente moderada. 50-60: Ignimbrita café, dura, fracturada, circulación de agua. Permeabilidad aparente moderada. 60-65: Lava gris oscuro, dura, vesicular. Permeabilidad aparente buena. 65-70: Ignimbrita café y lava gris oscuro, fracturada. Permeabilidad aparente buena. 70-78: Ignimbrita café, dura (dacita), lava café, fracturada. Permeabilidad aparente buena. 78-80: Lacustre arenoso, suelto, café. Permeabilidad aparente mala.	Sección acuífera, localizada entre 40 y 78 m de profundidad. El agua apareció entre 40 y 78 m de profundidad originando un nivel estático de 32m que apareció estable durante el proceso de la perforación. NE: 32,18 - ND: 33,88	62-78		5	Abrevadero y riego
CN-148 (1980)	362450	281700	38	0-8: Arcilla color café pardo, con muy pocos fragmentos arenosos finos. 8-14: Aluvión arenoso-gravoso fino, con arcilla. 14-16: Grava de gruesa a muy gruesa de fragmentos basálticos con ciertas zonas oxidadas (limonita). Perm. ap alta (sin arcilla). 16-22: Toba arenosa gruesa multicolor, sin arcilla con alto porcentaje de fragmentos oxidados predominando fragmentos tobáceos (vítreo), caolín, obsidiana, cuarzo, ópalo, piriboles, ciertos fragmentos brechosos (lava). Perm media a baja. 22-33: Toba arena fina, perm de media a baja. 33-36: Toba, limo y arena fina, perm media a baja. 36-38: Idem anterior, pero mucho más sana. Perm baja.	Pozo AyA: Guardia N°2.	13,43-28,07	9,45	7	Abast. Público
CN-250 (2001)	371440	287845	80	0-10: Fm. Liberia. Toba gris, matriz cenicienta, con cuarzo amorfo, vidrio volcánico negro, microcristales. 10-12: Toba blanca, matriz cenicienta, fina, liviana, algunos clastos angulares de lava, cuarzo amorfo. 12-14: Paleosuelo rojizo, arcilla quemada, cuarzo incrustado. 14-18: Toba café, matriz cenicienta, algo arcillosa, suave, liviana, cuarzo y vidrio volcánico. 18-24: Toba negra, suelta, arenosa, suave, con mucho vidrio negro. 24-26: Paleosuelo arcilloso rojizo, impermeable. 26-30: Toba arenosa suelta, suave, café. 30-48: Toba gris arenosa, suelta, mucho vidrio volcánico, matriz cenicienta. 46-47: apareció una ignimbrita, gris oscuro, vidriosa, fragmentos líticos incrustados, dura y fracturada. El agua apareció a 46 m y no subió. 48-52: Paleosuelo rojizo arcilloso con secciones amarillas, pareciera material sedimentado en agua. 52-64: Ignimbrita de color café grisáceo, matriz cenicienta con fragmentos de escoria rojiza y negra, cuarzo incrustado, vidrio volcánico negro, perm. ap. mala. 64-74: Ignimbrita negra, pasta fundamental vidriosa, fracturada, macrocristales de cuarzo y algunos feldespatos. El agua se fugó al llegar 66-67m, actualmente el nivel se encuentra a 68-69: el que pareciera ser regional. 74-80: Lava gris oscuro, dura, fracturada intensamente, cristales grandes de feldespatos y algo de cuarzo, hacia los 80 m aumentan la brecha y escorea rojiza, completamente suelta, perm. ap. muy buena	Secciones acuíferas: Liberia (46-48m) y Bagaces (66-80m). Primer nivel de agua 46 m. bajándose luego este luego a 67 m cuando se encontró la form Bagaces saturada, este nivel se mantuvo así durante todo el proceso de perforación. Durante la prueba de bombeo realizada no se produjo ningún rebajamiento de este durante los 240 min que duró la prueba. NE: 64,22 - ND: 64,22 Prof (m) Nivel (m) 0-45 → 0 45-46 → 46 46-65 → 46 65-70 → 67 70-80 → 67	66-80	1,34	2	Irrigación

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso												
CN-252 (1991)	369280	287340	80	<p>0-0,50: Arcilla café grisáceo con M.O., plástica.</p> <p>0,50-2: Arcilla rosada, liviana con arena.</p> <p>2-4: Arcilla grisáceo, con fragmentos líticos, liviana.</p> <p>4-7: Ignimbrita, muy vidriosa, arenosa, dura, color negro en bandas.</p> <p>7-8: Paleosuelo rojizo.</p> <p>8-11: Ignimbrita, café rosado, vidriosa, dura.</p> <p>11-14: Arcilla de color gris, suave, liviana, plástica, adhesiva.</p> <p>14-20: Ignimbrita café rosado, dura, arenosa, matriz cenicienta.</p> <p>20-32: Ignimbrita de color café claro ha rosado, dura, matriz cenicienta, arenosa.</p> <p>32-36: Ignimbrita negra, matriz cenicienta, dura, con vidrio volcánico incluido.</p> <p>36-42: Arcillas livianas (lacustre) de color amarillo a rojizo, suaves, adhesivas.</p> <p>42-52: Ignimbrita (lava vidriosa) de color negro, dura, vidrio volcánico, matriz cenicienta, dura.</p> <p>52-54: Lava negra vesicular, oxidada (vacuolas), dura, cristales de feldespatos, fracturada.</p> <p>54-56: Ignimbrita negra, liviana, incluye cristales de cuarzo aislados, quebradiza, fracturada.</p> <p>56-64: Ignimbrita café, dura, fracturada, textura fina, vidriosa, quebradiza.</p> <p>64-66: Ignimbrita negra, liviana, matriz cenicienta, mucha obsidiana, suave, porosa.</p> <p>66-70: Lava negra, dura, fracturada, vesicular, amigdaloides, fisurada, óxidos de Fe.</p> <p>70-80: Lava negra, vidriosa, vesicular, muestra evidencia de circulación de agua, muy fracturada, dura, muy suelta, perm. ap. muy buena</p>	<p>No se encontró la Formación Liberia, se entró directamente a Bagaces, lo que indica así la litología como el nivel del agua a 57 m y la presencia de las ignimbritas y la lava vesicular muy fracturada, así como el comportamiento durante el bombeo en que no hubo abatimiento.</p> <p>NE: 57,46 - ND: 57,46</p> <table> <tr> <td>Prof (m)</td> <td>nivel (m)</td> </tr> <tr> <td>0-56</td> <td>→ 0</td> </tr> <tr> <td>56-58</td> <td>→ 57</td> </tr> <tr> <td>58-80</td> <td>→ 57</td> </tr> </table>	Prof (m)	nivel (m)	0-56	→ 0	56-58	→ 57	58-80	→ 57	58-80	2	3	-				
Prof (m)	nivel (m)																				
0-56	→ 0																				
56-58	→ 57																				
58-80	→ 57																				
CN-253 (1991)	369710	289000	80	<p>0-2: Primeros 0,5 m suelo agrícola, de color café claro, arcilloso, pesado, el resto toba blanca alterada.</p> <p>2-12: Toba café claro, suave, con algo de arcilla gris, matriz cenicienta, con cuarzo lechoso, incluido, mojada da un color grisáceo.</p> <p>12-16: Arcilla gris, suave, plástica, incluye clastos de ignimbrita.</p> <p>16-20: Toba rosada, matriz cenicienta, mucho cuarzo lechoso, pómez.</p> <p>20-24: Ignimbrita, matriz cenicienta, semidura, de color café rojizo, pasta vítrea, incluye cristales e cuarzo amorfo.</p> <p>24-26: Ignimbrita gris claro, semidura, matriz cenicienta, granos pequeños de cuarzo y escoria rojiza 2 a 3 mm diámetro.</p> <p>26-28: Paleosuelo rojizo, suave, arcilloso, quemado.</p> <p>28-30: Zona de contacto, transición.</p> <p>30-38: Ignimbrita de color café grisáceo a rojizo, con cristales de cuarzo, matriz cenicienta, abrasiva, quebradiza.</p> <p>38-46: Ignimbrita de color café, semidura, pasta fundamental vidriosa (lisa).</p> <p>46-50: Ignimbrita café rojizo, matriz cenicienta, fragmentos líticos incluidos, cristales de cuarzo.</p> <p>50-52: Arcilla plástica, suave, color café grisáceo, moldeable.</p> <p>52-56: Paleosuelo rojizo.</p> <p>56-52: Ignimbrita café grisáceo, suelta, arenosa, clastos angulares de lava, escoria y cristales de cuarzo de 1 a 2 mm de diám (pómez), perm ap baja.</p> <p>62-64: Ignimbrita café rojizo, dura, matriz cenicienta, clastos angulares pequeños.</p> <p>64-66: Toba arcillosa, suave, liviana, clastos alterados, aciculado.</p> <p>66-68: (67 contacto) Ignimbrita negra, vidriosa, quebradiza, semidura, fracturada, algunos cristales de cuarzo incluidos aspecto lustroso. (lava).</p> <p>68-72: Ignimbrita (lava) vidriosa, fracturada, quebradiza, muestra de recortes muy sanos angulares, porosidad fisural.</p> <p>72-74: Brecha rojiza, suelta, con algo de arcilla, perm ap buena.</p> <p>74-76: Ignimbrita negra, vidriosa, lisa, fracturada, cuarzo amorfo, algo de vidrio negro, matriz cenicienta.</p> <p>76-80 Ignimbrita café, fina, semidura, fracturada, cuarzo lechoso, perm ap. moderada.</p>	<p>Formación Bagaces apareció a 56 m y no se encontró evidencias de agua subterránea en Formación Liberia. El nivel del acuífero regional apareció a los 59-60 m donde se mantuvo estable el resto de la perforación. Durante la prueba de bombeo a un Q de 1,57 l/s, tuvo un abatimiento instantáneo d 0,25 m, equilibrándose inmediatamente durante los 120 min que duró la prueba.</p> <p>NE: 60,85 ND: 61,1</p> <table> <tr> <td>Prof (m)</td> <td>Nivel (m)</td> </tr> <tr> <td>0-58</td> <td>→ 0</td> </tr> <tr> <td>58-59</td> <td>→ 59</td> </tr> <tr> <td>59-60</td> <td>→ 59</td> </tr> <tr> <td>60-70</td> <td>→ 59</td> </tr> <tr> <td>70-80</td> <td>→ 59</td> </tr> </table>	Prof (m)	Nivel (m)	0-58	→ 0	58-59	→ 59	59-60	→ 59	60-70	→ 59	70-80	→ 59	68-80 m	1,32 l/s	2	Doméstico e Irrigación
Prof (m)	Nivel (m)																				
0-58	→ 0																				
58-59	→ 59																				
59-60	→ 59																				
60-70	→ 59																				
70-80	→ 59																				
CN-263	362850	282240	30	<p>0-10: Arcilla.</p> <p>10-30: Arena media gruesa</p>	-	-	-	-	-												

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-267 (1992)	370620	287240	75	0-2: Arcilla color café, plástico. 2-4: Arcilla color café naranja, plástica (limolita). 4-46: Toba, color general café con tramos con textura fluidal, con alto grado de composición arcillosa "K" bajo. 46-61: Ignimbrita color en general negro oscuro, compuesta mayoritariamente por vidrio volcánico. Son corrientes planos de fracturas con gruesas platinas de arcillas liolíticas. También se observa cuarzo en pequeñas cantidades. 61-69: Lava de gran dureza con fracturas, perm ap alta. El tramo de 61-63 la roca es rojiza con alteraciones de hematita. 69-75: Ignimbrita, idem 46-61.	De 0 a 46 m formación no acuifera. El acuífero productor se encuentra a partir de los 61 m. Se trata del acuífero "Bagaces", que es de un potencial alto. Para este pozo se calcula un potencial mínimo de 7l/s. Capac especí: alta. NE: 58,3	60-75	1,2	-	Industrial
CN-279 (2007)	371600	288300	90	0-13: Se encuentra una toba lapilli de Fm. Liberia con clastos líticos, fragmentos de cuarzo color grisáceo cuando está sano y rojizo cuando se encuentra oxidado. 13-19: Lava andesítica con text. afanítica porfírica matriz negra y tiene fenocristales de plagioclasa. 19-40: Toba de lapilli fino, Fm Liberia. Predomina color grisáceo, pero también puede presentar tonalidades moradas y cafés. Tiene fragmentos de cuarzo. 40 - 44: Lava afanítica color negro. 44-57: Toba gris de ceniza a lapilli fina, algunos fragmentos de cuarzo. 57-63: Toba de ceniza café-morado, no se observan fragmentos de cuarzo. Fm Bagaces. 63-90: Lava andesítica text afanítica porfírica matriz negra y tiene fenocristales de plagioclasa.	Acuífero libre inicia a los 48 m. Al llegar a las tobas de la Formación Bagaces el nivel del acuífero desciende hasta 60,95 m. El acuífero con mejores condiciones hidrogeológicas se encuentra dentro e lavas fracturadas las cuales inician a los 63 m de prof. NE: 60,95 - ND: 61,9 Prof (m) Nivel (m) 48 → 48 60,95 → 60,95	60-90	4,6	-	Industrial
CN-290 (1993)	363200	282400	25	0-11: Arcillas. 11-21: Arenas 21-25: Arcillas y arenas.	Pozo AyA: Guardia 93-28. NE: 10,5	-	-	-	Abast. Público
CN-310	365140	285100	100	0-1: Suelo vegetal. 1-12: Tobas oscuras 12-50: Ignimbritas fracturadas. 50-100: Lavas	NE: 38	-	-	-	-
CN-324 (1996)	362925	278650	35	0-2: Suelo 2-12: Toba areno-arcillosa ligeramente plástica. 12-18: Tobas arenosas de grano grueso. 18-20: Capa de arcilla ligeramente plástica. 20-27: Tobas arenosa de grano grueso y algo de arcilla. 27-28: Capa de arcilla 28-33: Tobas arenosas de grano grueso. 33-35: Tobas finas y arcillas.	Las mejores condiciones hidrogeológicas encontradas fueron en las tobas arenosas de los 28 a 33 m. NE: 3 - ND: 8	6-33	-	12	Riego
CN-329 (1997)	361550	288850	40	0-1: Capa de arcilla. 1-10: Capa de arena fina mezclada con arcilla. 10-28: Capa de arena granulometría media y color café oscuro. 28-40: Capas de arenas gruesas color café oscuro.	Se encontró buenas condiciones hidrogeológicas. NE: 8 - ND: 11	12-28 y 34-40	22	22	Riego
CN-335 (1998)	361200	280650	41	0-12: Toba arcillosa. 12-30: Toba. 30-41: Toba arcillosa.	Pozo AyA: Guardia N°4. NE: 4,4 - ND: 7,82	12-30	16	10	Abast. Público.
CN-372 (1999)	363550	280750	41	0-1,5: Suelo arcilloso arenoso. 1,5-6: Capa de arcillas. 6-18: Capas de arenas de color gris oscuro. 18-24: Capas de limos de color café. 24-26: Capa de arcilla negra. 26-36: Capas de arenas gruesas. 36-40: Capas de arenas finas. 40-41: Capa de arcilla.	Se encontró buenas condiciones hidrogeológicas. NE: 8 - ND: 24		15	15	Riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-373 (1999)	364500	278400	60	0-10: Arenas finas blancas. 10-12: Arenas medias grises. 12-15: Arenas finas grises. 15-17: Arenas gruesas grises. 17-20: Arenas finas grises. 20-24,5: Arenas gruesas gris oscuro. 24,5 - 25,5: Arcilla amarilla dura. 25,5 36: Arenas gruesas. 36-60: Arcillas.	El pozo captó niveles de saturación en el Aluvión entre los 8 y 24,5 m y los 25,5 y 36 m sobreyaciendo los basaltos del Complejo de Nicoya. La permeabilidad de estos materiales aluviales resultó alta en este sitio. Las condiciones hidrogeológicas dominantes en el área son apropiadas para generar un buen acuífero en el sitio. NE: 6	8-36 / 42-60 sin revestimiento.	20	-	Riego
CN-384 (2000)	362300	289300	84	0-4: Suelo limo arcilloso, color negro. Pemb ap baja. 4-13: Arenas medianas a gruesas con gravas y gravillas con arcilla. Perm ap media a alta. 13-16: Arena media a gruesa color café. Poco limo. Perm ap media. 16-28: Arena arcillosa, con text fina a media. Perm ap baja. 28-37: Inicia arena media color café con poca arcilla, continúan arenas medias a gruesas a gravillas y gravas, con poca arcilla. Perm ap media a alta. 37-52: Arena fina a media arcillosa, co poca gravilla. Perm ap baja. 52-67: Inician arenas muy gruesas, con gravillas y poca arcilla; luego se muestra un aluvión muy grueso con cantos rodados, gravas, gravilla y arenas gruesas a medias con poca arcilla. Perm ap alta a muy alta. 67-73: Aluvión de text media, con gravillas, arenas medias a gruesas y limo. Perm ap media a alta. 73- 78: Toba color gris celeste, poco alterada. Perm ap baja a media. 78-85: Roca sana. Ignimbrita color negro.	Acuífero estratificado, constituido por tramos aluvionales de mediana a alta permeabilidad. NE: 6,47 - ND: 10,13	30-33 y 57-66	35	-	Riego
CN-390 (2000)	362950	284250	80	0-4: Capa de suelo. 4-10: arcillas rojizas 10-25: Capa de tobas gris. 25-45: Capa de limos rojizos. 45-60: Capas de tobas de color blanco. 60-68: Capas de arcillas grises. 68-77: Capas de tobas grises. 77-80: Roca lávica.	Se encontró buenas condiciones de permeabilidad. NE: 7 - ND: 11	15-80	6	-	Riego
CN-458 (2007)	371510	288434	80	0-6: Capas de tobas color café. 6-49: Capas de tobas color blanco. 49-76: Capas de tobas color café claro. 76-82: Capas de tobas color rojizo.	Relativamente buenas condiciones hidrogeológicas en las capas inferiores perforadas. NE: 62 - ND:69	65-82	4	3	Doméstico-riego
CN-463 (2003)	370000	287000	72	0- 3: Arcillas, bloques de tobas, englobados en una matriz arcillosa color café. 10-72: Tobas líticas e ignimbritas, con fragmentos andesítico-basálticas color blanco en paquetes tabulares, alteradas y fracturadas, con episodios sanos y muy densos.	El acuífero se comporta como semiconfinado surgente y está asociado a zonas de fracturas en las tobas blancas. NE: 62 - ND: 62 Prof (m) Nivel (m) 40 → 40 72 → 62	66-72	2	-	Riego
CN-493 (2002)	370650	287450	73,8	0-4: Arcilla 4-46: Toba café. 46-61: Ignimbrita. 61-73,8: ?	NE: 58,46 - ND: 58,48	-	1,18	-	Doméstico
CN-498 (2003)	371750	288450	92	1-2: Arcillas. 2-30: Arcillas con fragmentos de roca ignimbritica, con permeabilidad baja. 30-60: Fm. Bagaces (seca). 60-70: Brechas volcánicas. 70-75: Lavas 75-76: Paleosuelo. 76-88: Lavas, frakturadas. 88-92: Lavas, muy dura con cristales de sílice, con algunas fracturas.	NE: 59,85 - ND: 60,05 Prof (m) Nivel (m) 70,60 → 59,85 * Descripción litológica igual que pozo CN-499	62-92	2,5	-	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-499 (2004)	371900	288425	92	1-2: Arcillas. 2-30: Arcillas con fragmentos de roca ignimbrítica, con permeabilidad baja. 30-60: Fm. Bagaces (seca). 60-70: Brechas volcánicas 70-75: Lavas volcánicas. 75-76: Paleosuelo. 76-88: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice, con algunas fracturas.	NE: 19,95 - ND: 61,5 Prof (m) Nivel (m) 20 19,95 * Descripción litológica igual que CN-498.	62-92	2,5	-	Abast. Público
CN-502 (2004)	362630	283790	60	0- 3: Suelo limoso. 3-18: Materiales ignimbríticos 18-32: Tobas, color beige. 32-39: Tobas gris. 39-40: Tobas beige. 40-45: Tobas gris. 45-60: Ignimbritas grises, gris claro y beige	NE: 11,7 - ND: 30	Aprox 28-60	1,5	-	Doméstico
CN-514 (2004)	369150	286700	100	0-6: Toba arcillosa, café grisáceo, dura, clastos de pómez de 1/2 cm. Perm ap mala. 6-12: Ignimbrita de matriz cenicienta, gris rosáceo, cristales de Qz, con clastos de pómez. Perm ap mala. 12-16: Ignimbrita negra (material rojizo, duro, no alcalino) Perm ap mala. 16-22: Ignimbrita, matriz cenicienta, dura, color café, Qz, clastos de pómez, dura. Perm. ap mala. 22-28: Ignimbrita de color café grisáceo rosado, Qz, clastos de pómez, dura. Perm ap mala. 28-32: Ignimbrita dura, andesítica, gris, matriz, cenicienta, Qz, Arcilla quemada. Perm ap mala. 32-34: Ignimbrita café, arenosa, cristales de Qz. Perm ap mala. 36-44: Ignimbrita gris, vidriosa, dura. Perm ap mala. 44-50: Lava de color gris oscuro, dura, cristales de feldespatos, Qz. Perm ap mala. 50-54: Ignimbrita gris oscuro, dura, fracturada. 54-58: Toba de color café, soldada, dura, fracturada. 58-60: Toba de color café rojizo, Qz con secciones brechosas. Perm ap mala. 60-66: Lava café grisáceo, dura, con secciones brechosas, Qz. Perm ap mala. 66-68: Ignimbrita café, dura. Perm ap mala. 68-72: Ignimbrita negra, vidriosa, dura. Perm ap moderada. 72-80: Ignimbrita rosada, matriz cenicienta con mucha pómez. Perm ap buena. 80-90: Lava de color gris oscuro, dura, vesicular, fracturada. Perm ap buena. 90-100: Ignimbrita de matriz cenicienta, color café amarillento, muy suelta.	Se localizó una zona acuífera ubicada entre 70 y 100 m de prof, con un espesor parcialmente saturado de 30 m. El agua apareció a 15 m de prof, origen un nivel de 12 m el que fue descendiendo gradualmente hasta llegar a los 70 m donde el nivel estático se ubicó en 54 m y se mantuvo estable hasta el final de la perforación. Este nivel se encuentra a 46 m sobre la cota 0 del nivel del mar y es el nivel regional para el acuífero. NE: 54 - ND: 55,97	70 - 100	2	2	Industrial
CN-519 (2006)	365540	285330	100	0-2: Arcillas, conocidas zozocuite. 2-20: Lavas de alta dureza. 20-35: Capas de tobas ignimbríticas. 35-71: Capas de tobas ignimbríticas duras. 71-92: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 92-100: Tobas ignimbríticas suaves.	Acuífero constituido básicamente por lavas que van de 70 m en adelante, Resultando un excelente pozo. NE: 36,1 - ND: 58,83 Prof (m) Nivel (m) 37 36,1	≈60-88 y 97-100 (sector ciego para bomba)	3,7	3,7	Doméstico-riego
CN-534 (2005)	371042	287560	84	0-31: Materiales tobaceos, color gris claro. 31-33: Paleosuelo rojizo. 33-84: Materiales tobaceos, gris oscuro.	Es un acuífero libre. Posiblemente a los 75 m cayó sedimento que impidió bajar la bomba hasta el fondo del pozo NE: 57,34 - ND: 58,3	54-84 abierto	1,35	-	Doméstico-riego
CN-536 (2005)	371182	287491	90	0-32: Toba. De granulometría fina y color gris claro, relativamente sana y con baja perme aparente. Sin agua. 32-34: Paleosuelo de color rojo y text arcillosa, con muy baja perm ap. 34-90: Toba. De granulometría fina a media y color gris oscuro. Relativamente sana, algo dura y con alta porosidad y perm ap.	Agua apareció a 69 m de prof, subió hasta 55 m y ahí se mantiene. A los 55 m prof interceptó una fuga total de agua, por tanto, el nivel del pozo no supera esa prof. NE: 55 - ND: 55	55-67 y 70-87	1,35	-	Doméstico-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-541 (2005)	365850	284920	90	0-0,3: Suelo. 0,30-43: Roca piroclástica, matriz pumítica, coloración clara rojizo a gris y crema. De alta dureza. De 40 a 43 roca calcinada, rojiza, vacuolar, de alta permeabilidad ap. 43-90: Ignimbrita, de alta dureza, estable al perforarse, de coloración gris. Con alto contenido de Qz. Perm. ap. media, de tipo secundario por fracturas.	El acuífero productor se encuentra a los 43 m hasta los 90 m. NE: 43 - ND: 54,7 Prof (m) Nivel (m) 10 → - 20 → - 40 → - 43 → 43 43 → 43	-	3	-	Doméstico-riego
CN-542 (2005)	371622	292034	70	0-8: Arcillas y bloques englobados, en una matriz cenicienta color gris a blanco. 8-39: Toba blanca cenicienta, fracturada, mucho lítico. 39-45: Toba lítica con mucho pómez blanco. 45-52: Cenizas compactas gris pardas. 52-70: Ignimbritas soldadas y compacta blanca. * Descripción litológica casi igual a pozo CN-543	No se ha desarrollado un buen acuífero, el existente es un acuífero semi confinado a libre, asociado a fracturas en los basaltos. NE: 30 - ND: 56,8 Prof (m) Nivel (m) 45 → 30 70 → 30,05	45-70	2	-	Doméstico-riego
CN-543 (2005)	371989	289857	72	0-8 m Arcillas y bloques englobados, en una matriz cenicienta color gris a blanco. 8-39 m Toba blanca cenicienta, fracturada, mucho lítico. 39-45 Toba lítica mucho pómez blanco. 45-72 Ignimbritas soldadas y compacta blanca. * Descripción litológica casi igual a pozo CN-542	No se ha desarrollado un buen acuífero, el existente es un acuífero semi confinado a libre, asociado a fracturas en los basaltos. El caudal encontrado deberá considerarse como el aforo inicial del pozo, en el no se consideran efectos por extracción continua, ni variaciones estacionales del ciclo hidrológico de la zona. Prof (m) Nivel (m) 45 17 72 17	45-72	1	-	Doméstico-riego
CN-544 (2005)	362410	286850	35	0-1,5: Suelo orgánico oscuro. 1,5-6: Arena fina negra. 6-25: arena gruesa, gris, con granos de Qz, ausencia total de arcillas. Perm altísima. 25-35: Arcilla color café, muy plástica, densa.	Acuífero de alto rendimiento. NE: 4 - ND: 6 Prof (m) Nivel (m) 3 - 4 4 15 4 35 4	16-25	4	-	Riego
CN-545 (2005)	368869	285912	100	0-0,20: Suelo. 0,2-2,5: Roca ígnea fracturada y diaclasada. 2,5-30: Roca piroclástica, de coloración clara, rosada a gris claro, con pómez de alta dureza y densa. De permeabilidad ap. baja. No tiene perm secundaria. 30-98: Roca piroclástica, matriz pumítica, coloración clara rojizo a gris y crema. De alta dureza. En algunos tramos fracturados, como a 40-44 m donde hay problemas de perforación. La roca denomina ignimbrita, pues se identificó vidrio volcánico negro. La perm ap es alta y secundaria. Hay pequeños tramos rojizos, típicos de calcinación. Estas rocas pertenecen a la Fm Bagaces. 98-100: Se encontró arcilla café claro, plástica, es posible que corresponda a la roca basamento sedimentaria, pero muy alterada. * Descripción similar a pozo CN-558	Acuífero tipo libre, se encuentra a 43,10 m hasta los 98 m. NE: 43,1 - ND: 80,0 Prof (m) Nivel (m) 10 → 8 20 → 12 40 → 18 50 → 22 a los 58 se fugó nivel y quedó a 41 m de prof. 90 → 41 100 → 41	61- 67 / 73- 79 y 85 -97.	15,45	15,45	Industrial
CN-548 (2005)	365353	285108	90	1-2: Arcillas. 2-32: Tobas de la Fm. Liberia (secas). 32-50: Formación Bagaces, se presenta muy densa, compacta y perm media. 50-81: Lavas volcánicas, fracturadas. 81-90: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice, con algunas fracturas.	Acuífero de mediana capacidad en lavas fracturadas. NE: 36,7 - ND: 37,2 Prof (m) Nivel (m) 41 36,7	≈ 50-68 y 72-90	2,5	2,5	Industrial

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-558 (2006)	368600	285750	100	0-0,2 m Suelo. 0,2-5 m Roca ígnea fracturada y diaclasada. 5-38 m Roca piroclástica de coloración clara, rosada a gris claro, con pómez de alta dureza y densa. De permeabilidad ap. baja. No tiene perm secundaria. 38-96 m Roca piroclástica, matriz pumítica, coloración clara rojizo a gris y crema. De alta dureza. La roca se denomina ignimbrita, pues se identificó vidrio volcánico negro. La perm. aparente es alta y secundaria. Hay peq tramos rojizos, típicos de calcinación. Estas rocas pertenecen a la Fm Bagaces. 96-100 m se encontró arcilla café claro, plástica, es posible que corresponda a la roca basamento sedimentaria, pero muy alterada. * Descripción similar a pozo CN-545	Acuífero productor tipo libre, se encuentra de los 18,48 m hasta los 100 m. NE: 18,48 - ND: 90,99 Prof (m) Nivel (m) 10 → 8 20 → 12 40 → 18,48 - 100 → 18,48?	38-74 y 80-96	8,6	-	Agroindustrial
CN-566 (2006)	369120	286080	100	0-0,7: Suelo. 0,7-9,5: Roca ígnea fracturada y con muchos bloques de difícil perforación. 9,5-42: Roca piroclástica, matriz pumíticas, coloración clara rojizo a gris y crema. De alta dureza. En algunos tramos fracturados, como a 90 a 98 donde hay problemas de perforación. La roca es ignimbrita, se identificó vidrio volcánico negro. La perm aparente es alta, y secundaria. Hay peq tramos rojizo, típicos de calcinación. Estas rocas pertenecen a la Fm Bagaces. 98-100: Se encontró roca café claro, posible basamento sedimentario.	Acuífero productor tipo libre, se encuentra a 44,70 m hasta los 100 m. NE: 44,70 - ND: 85,15 Prof (m) Nivel (m) 10 8 20 12 30 18 48 - a los 48 se fugó nivel y quedó a 44,7 m de prof. 90 44,7 100 44,7	65-70, 76-79 y 82-97	16,3	-	Industrial
CN-569 (2005)	362915	283100	50	0-9: Suelo muy arcilloso. 9-14: Finos, limos. 14-26: Arena fina. 26-28: Arcilla. 28-30: Arenas medias. 30-32: Arcilla. 32-35: arenas finas, medias. 35-40: Limos arena fina, arcilla. 40-43: Arena fina. 43-46: Arena fina, media. 46-50: Arcilla	Pozo AyA: Guardia 05-06. NE: 11,48 - ND: 15,34	19-25/ 31-34	8	7,47	Abast Público
CN-575 (2006)	363150	282950	50	0-3: Arcillas. 3-9: Arcillas y arenas. 9-12: Arenas gruesas, perm ap alta. 12-15: Arcillas y arenas. 15-18: Arcillas. 18-24: Capas de tobas ignimbriticas duras. 24-30: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 30-39: Brechas volcánicas. 39-42: Arcillas. 42-45: Capas de tobas ignimbriticas suaves. 45-50: Arcillas.	Pozo presenta dos secciones acuíferas entre 9 y 12 m, constituida por arenas gruesas muy limpias, de depositación de río, perm ap buena. La segunda entre 24 y 45 m, constituida por el acuífero Bagaces, formado en este caso básicamente por tobas volcánicas. Resultando un excelente pozo. NE: 6,9 - ND: 8,5 Prof (m) Nivel (m) 7 → 6,97	≈9-12 y 18-45	7,5	-	Varios
CN-582 (2006)	365650	285200	80	0-2 m Arcillas y piedras sueltas. 2-20 m Tobas de la Fm Bagaces. 20-48 m Capas de tobas ignimbriticas. 48-50 Paleosuelo. 50-72 Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 72-80 Tobas ignimbriticas suaves.	Excelente pozo asociado a la Fm. Bagaces. Prof (m) Nivel (m) 45 45	50-80	2,4	-	Industrial

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-594 (2006)	367417	285900	100	0-5: Ignimbrita gris oscuro, ligeramente alterada y con moderada perm ap. 5-10: Toba de granulometría fina, coloración rojiza, alfo arcillosa y con moderada perm ap. 10-35: Ignimbrita gris oscuro cafesuzco, relativamente sana y con alta perm ap. 35-40: Ignimbrita negra, sana, dura y con baja perm ap. 40-45: Toba de granulometría fina y color café amarillento, algo arcillosa y con baja perm ap. 45-80: Ignimbrita similar a tramo 10-35. 80-85: Toba fina, color café claro amarillento, algo arcillosa y baja perm ap. 85-100: Toba constituida por minerales y pequeños fragmentos líticos, bien cementados en una matriz fina de color café, relativamente sana y con moderada perm y porosidad ap.	Moderada perm y porosidad aparentes, de ahí que la producción de agua del pozo sea relativamente alta. NE: 47 - ND: 52	70-82 y 88-97	3,8	3,8	Doméstico-riego
CN-598 (2006)	370774	287316	70	0-0,20: Suelo. 0,2- 5: Roca ígnea fracturada y diaclasada. 5-22: Roca piroclástica, de coloración gris oscuro, con pómez, de alta dureza y densa. De perm ap baja. No tiene perm secundaria. 22-70: Roca piroclástica, matriz pumítica, coloración gris. De alta dureza. En algunos tramos fracturados. La roca se denomina ignimbrita pues se identificó vidrio volcánico negro. La perm ap es alta y secundaria. Estas rocas perteneces a la Fm Bagaces.	Acuífero productor tipo libre, se encuentra de los 59,5 m hasta los 70 m. El potencial del pozo es alto, mayor a 3 l/s. NE: 59,5 - ND: 59,6 Prof (m) Nivel (m) 10 → 0 20 → 0 40 → 0 50 → 0 60 → 59,5 70 → 59,5	60-68	1	1	Doméstico
CN-608 (2006)	371075	287860	75	0-2: Tobas rojizas. 2-27: Tobas de color gris. 27-49: Tobas color café. 49-59: Tobas color gris 59-75: Tobas color café	Pobres condiciones generadas por una litología de tobas poco permeables. NE: 66 - ND: 74	15-75	4	4	Doméstico
CN-628 (2007)	363594	283800	36	0-2: Suelo arcilloarenoso. 2-6: Capas de arcillas. 6-17: Arenas gris oscuro perm ap buena. 17-24: Capas de limos café oscuro. 24-26: Arcilla negra 26-36: Capas de arenas gruesas y limpias de perm ap alta	NE: 7 - ND: 21 Abatimiento de 14 m, desde 3 horas hasta el final de la prueba de 36 h. * Descripción litológica similar a CN-629	10-36	35	25	Riego
CN-629 (2007)	363120	283440	39	0-2: Suelo arcilloarenoso. 2-7: Capa de arcillas 7-19: Arenas gris oscuro, perm ap buena. 19-24: Capas de limos café oscuro. 24-26: Arcilla negra. 26-36: Capas de arenas gruesas y limpias de perm ap alta 37-39: capa de arcillas	NE: 7 - ND: 19 Abatimiento de 12 m, desde 3 horas hasta el final de la prueba de 36 h. * Descripción litológica similar a CN-628	10 - 39	30	22	Riego
CN-635 (2007)	363200	282660	50	0-2: Suelo arcilloarenoso. 7-19: Capas de arenas. 19-24: Capas de limo café oscuro. 24-26: Arcilla negra. 26-38: Capas de arenas gruesas y limpias de perm ap alta. 38-40: Arenas finas. 40-43: Capa de arcillas	NE: 8 - ND: 24 Abatimiento de 16 m, desde 3 horas hasta el final de la prueba de 36 h	10-43	30	30	Riego
CN-647 (2007)	365266	284975	90	0-2: Arcilla y piedra sueltas. 2-20: Tobas de la Fm Liberia. 20-48: Capas de tobas ignimbriticas 50-55: Lavas muy sólidas. 55-60: Paleosuelo 60-72: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 72-90: Tobas ignimbriticas suaves.	Excelente pozo asociado con las lavas de la Fm. Bagaces. NE: 34,4 - ND: 36,06 - T: 3,43	50-55 y 60-90	7,5	2,5	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-649 (2007)	370060	288642	88	0-11: Capas de tobas grises. 11-31: Capas de tobas blancas. 31-54: Capas de tobas color café claro. 54-81: Capas de tobas café oscuro. 81-88: Capas de tobas color rojizo.	Regulares condiciones de permeabilidad generada por las tobas inferiores. NE: 46 - ND: 64	55-88	4	3	Doméstico-riego
CN-652 (2007)	370044	286903	65	0-1: Suelo. 1-32: Roca piroclástica, de coloración clara, rosada a gris claro, con pómez de alta dureza y densa. De permeabilidad ap baja. No tiene perm secundaria. 32-65: Roca piroclástica, matriz pumíticas, coloración clara rojizo a gris y crema. De alta dureza. En algunos tramos fracturados. La roca se denomina ignimbrita, pues se identificó vidrio volcánico negro. La perm ap es alta y secundaria. Hay peq tramos rojizos, típicos de calcinación. Las rocas acuíferas pertenecen a la Fm Bagaces.	El acuífero productor, de tipo libre, se encuentra a los 51 m hasta los 65 m. NE: 51 - ND: 56 Prof (m) Nivel (m) 10 8 20 12 40 18 50 22 A los 51 m se fugó el nivel, y quedó en 51 de prof. 60 51 65 51	61-67, 73-79 y 85-97	2	2	Turístico
CN-655 (2007)	362924	283994	83	0-3: Suelo- Tobs de muy alteradas a alteradas color café. 11-29: Arcillas y arenas arcillosas color café. 29-39: Arenas de grano medio a grueso con matriz arcillosa color café. 39-52: Tobs líticas de grano medio a grueso subredondeados con clastos de pómez. 52-56: Toba lítica de grano medio con matriz arenosa color crema. 56-71: Toba lítica de grano medio color gris claro con matriz arcillosa. 71-83: Toba lítica de grano medio a grueso con matriz arenosa color gris claro.	NE: 5	29-83 m	2,21	2	Comercial
CN-662 (2007)	370265	287393	90	0-48: Materiales tobáceos, color gris claro. 48-52: Paleosuelo rojizo. 52-83: Materiales tobáceos, color gris oscuro.	Es un acuífero libre. NE: 58,5 - ND: 72,9	50-83	2,1	1,5	Domes-riego
CN-681 (2008)	370058	287185	78	0-8: Arcilla expansiva de coloración negra. Impermeable. 8-30: Material tobáceo de coloración negra, presenta fiammes negros y levemente fracturados, pero corresponde con un medio poroso. 30-54: Lava densa de coloración café grisácea, moderadamente fracturada, tipo andesita-basáltica, presenta un leve aporte de agua. 54-78: Lava porosa oscura, tipo andesítica, presenta un importante aporte de agua. * Descripción litológica igual a pozos CN-713 y CN-715	A los 54 m se presentó una fractura en el contacto entre las lavas densas y las porosas, por lo q se fugó el nivel. NE: 54,54 ND: 54,55 Prof (m) Nivel (m) 12 → Apareció 54 → Se fugó 74 → 54,54	42-48 y 54-66	2,35	2	Domes-riego
CN-688 (2009)	370610	284360	147	0-4: Toba arcilloso color café a crema bloques andesíticos y vidrio volcánicos. 4-35: Tobs líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 35-50: Tobs líticas, gris matriz cenicienta, compacta poco líticos y vidrio volcánico. 50-90: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos pómez y vidrio volcánico, acuífero confinado. 90-95: Arcillas grises a negra muy plástica. 95-147: Tobs líticas densa, con matriz cenicienta gris fracturada entre los 100 a los 148 m con alta perm ap. * Descripción similar a pozo CN-710	Acuífero confinado surgente asociado a rocas a tobas e ignimbritas de la Fm. Bagaces. NE: 60 - ND: 80 Prof (m) Nivel (m) 60 → 60 140 → 60	105-140	20	10	Domes-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-691 (2009)	363270	284890	110	0-0,25: Arcilla gris oscura, impermeable. 0,25- 6: Toba café grisáceo, arcillosa, impermeable. 6-9: Ignimbrita gris, vidrio con cristales de cuarzo, PA moderada. 9-24: Ignimbrita gris, lítica, matriz cenicienta, biotita, PA moderada. 24-25: Arcilla roja, con cristales de cuarzo PA mala, sello. 25-31: Ignimbrita gris, dura, vesicular PA moderada. 31-43: Aluvión, grava, mucho cuarzo amorfo matriz arcillosa. PA moderada. 43-49: Ignimbrita gris, núcleo cuarzo amorfo. PA buena. 49-52: Arcilla amarilla, mucho cristal de cuarzo. PA mala. 52-61: Escoria negra con arcilla negra. PA mala. 61-67: Toba arcillosa roja. PA mala. 67-73: Arcilla gris, dura, impermeable. 73-92: Toba blanca, matriz arcillosa. PA baja 92-98: Arcilla gris oscuro, dura. PA mala. 98-110: Toba lítica arenosa, café. PA buena.	NE: 7,46 - ND: 11,86 Prof (m) Nivel (m) 0-12 → 0 12-15 → 4 15-43 → 4 43-49 → 8,75 49-98 → 8,75 98-110 → 7,46 Se localizaron 2 secciones acuíferas importantes, la 1era entre 31 y 40 m constituida por ignimbritas y una sección aluvional, la 2da entre 98 y 110 m	44-50 y 98-104	4	3	Domes-riego
CN-692 (2009)	363339	284663	114,6	0-0,15: Arcilla negra impermeable (zonzocuite). 1-5: Toba de matriz arcillosa, color grisáceo, adhesiva. PA mala. 5-17: Toba lítica de matriz cenicienta arenosa, grano grueso PA baja, moderada. Apareció el agua a 19 m. 17-18: contacto con toba q contiene muchos cristales de cuarzo. PA moderada. 18-24: Ignimbrita de matriz cenicienta gris, pómez, cuarzo amorfo. PA moderada. 24-25: Toba arenosa, muy gruesa. PA buena. 25-31: Toba lítica arenosa, grano fino, matriz cenicienta gris. PA mala. 31-37: Toba lítica, arenosa, matriz cenicienta café. PA moderada. 37-43: Toba, arenosa, matriz cenicienta con clastos de lava vesicular, escoria negra. 43-44: Brecha lávica rojiza, material calcinado. PA mala, sello. 44-49: Sección de grava gruesa clastos de 2 a 4 mm, poca arcilla PA buena. 49-55: Ignimbrita café amarillento incluye clastos de lava porosa, pómez blanca. PA moderada. 55-61: Toba lítica arenosa, negra, con algo de arcilla. PA moderada. 61-68: Toba arenosa, matriz arcillosa rojiza PA mala. 68-74: Arcilla gris muy dura PA mala. 74-80: Toba lítica, arenosa, con mucho cristal de cuarzo. PA mala. 80-86: Ignimbrita gris, dura, mucho vidrio volcánico negro, aparenta mucha fracturación PA mala. 86-92: Toba lítica arenosa, poca arcilla PA buena. 92-93: Arcilla blanca, con mucho cristal de cuarzo PA mala. 93-98: Arcilla blanca, con mucho cristal de cuarzo PA mala. 98-104: Toba lítica arenosa, grano grueso, color gris PA buena. 104-111: Arcilla de color gris, con clastos alterados PA mala. 111-114,6: Toba blanca con matriz arcillosa. PA mala	NE: 7,47 - ND: 12,87 Prof (m) Nivel (m) 0-17 → 0 17-19 → 7 19-114 → 7,47 Se localizaron 4 zonas con probabilidad de aportar agua sub 1) 18-24 m 2) 37-43 m 3) 55-61 m y 4) 98-104. Se decidió captar 55-61 y 98-104	55,5-61,35 y 96,45-102,3	3,6	3	Comercial-industrial
CN-693 (2009)	366181	285506	90	0-2: Arcillas de color gris (zonzocuite). 2-42: Capas de tobas ignimbriticas. 42-48: Lavas volcánicas, muy duras. 48-78: Tobas de la formación Bagaces. 78-90: Tobas ignimbriticas suaves.	NE: 46 - ND: 52,35 Prof (m) Nivel (m) 48 → 46	≈ 48-78 y 85-90	5	2,5	Industrial
CN-695 (2009)	366052	284990	90	0-2: Arcillas color café. 2-36: Capas de tobas ignimbriticas. 36-42: Lavas volcánicas, muy duras. 42-65: Capas de tobas ignimbriticas duras 65-76: Tobas de la formación Bagaces. 76-90: Tobas ignimbriticas suaves.	NE: 40 - ND: 51,4 Prof (m) Nivel (m) 38 → 36,10 * Descripción litológica similar a CN-696	≈ 43-88	2,6	2,5	Doméstico
CN-696 (2009)	365652	284748	90	0-9: Arcillas color café. 9-34: Capas de toba ignimbriticas. 34-62: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 62-68: Capas de tobas ignimbriticas duras. 68-77: Tobas de la Fm. Bagaces. 77-90: Tobas ignimbriticas suaves	NE: 40 - ND: 51,4 Prof (m) Nivel (m) 38 → 36,10 * Descripción litológica similar a CN-695.	≈ 45-90	2,6	2,5	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-697 (2009)	364347	277431	60	0-18: Suelo orgánico. 18-21: Arenas. 21-33: Arcillas con lentes arenas. 33-60: Basaltos Complejo de Nicoya fracturados.	Las condiciones hídricas del pozo son buenas. NE: 11,71 - ND: 33,38	12-33	19,37	2	Agroindustrial
CN-698 (2009)	371203	287120	131	0-1: Suelo arcilloso color café. 1-85: Tobs volcánicas de color gris claro con biotita y piritita y cuarzo, Fm Liberia, estables, partes de mayor dureza no hay saturación, permeabilidad buena. 85-87: Paleosuelo color rojizo, arcilloso de baja permeabilidad. 87-131: Toba volcánica o ignimbritas de color gris a negro, de alta dureza, fracturadas y porosas. Fm. Bagaces, saturada, de buena permeabilidad. * Descripción litológica similar a pozo CN-699.	Acuífero Liberia está ausente en la zona, pues el nivel apareció justo en el contacto con la Fm. Bagaces. Ambas están separadas por un paleosuelo arcilloso que funciona como acuitardo. El acuífero se captó en el pozo a partir de los 106 m donde las condiciones de rocas fracturadas eran más evidentes. NE: 59,9 - ND:98 Prof (m) Nivel (m) 85 → Aparece agua 130 → 60	106-130	13	10	Otros usos
CN-699 (2009)	371156	287208	133	0-1: Suelo arcilloso color café. 1-96: Tobs volcánicas de color gris claro con biotita y piritita y cuarzo, Fm. Liberia, estables, partes de mayor dureza no hay saturación, permeabilidad buena. 96-98: Paleosuelo color rojizo, arcilloso de baja permeabilidad. 98-110: Tobs volcánicas o ignimbritas de color gris a negro, de alta dureza, fracturadas y porosas, Fm. Bagaces, saturada, de buena permeabilidad. 110-133: Brechas volcánicas de color negro, de alta dureza, fracturadas, Formación Bagaces, saturada de buena permeabilidad, con lentes de arcilla. * Descripción litológica similar a pozo CN-698	Al parecer el acuífero Liberia está ausente en la zona, pues el nivel apareció justo en el contacto con la Fm. Bagaces. Ambas están separadas por un paleosuelo arcilloso que funciona como acuitardo. NE: 58 - ND: 96,75 Prof (m) Nivel (m) 96 → Aparece agua 133 → 58	104-128	13	10	Otros usos
CN-700 (2010)	363485	284723	97	0-6: Arcillas, limos y arenas. PA mala. 6-16: Arcilla y limos. 16-20: Limo suelto. 20-28: Lava color gris, dura. PA buena. 28-30: Toba de color amarillento, presencia de pómez. 30-38: Ignimbrita de color gris oscuro, con presencia de escoria rojiza. PA baja. 38-44: Ignimbrita rojiza, dura. PA baja. 44-46: Ignimbrita color gris. 46-50: Toba de matriz arcillosa. PA baja. 50-54: Toba gris, con presencia de cuarzo. PA buena. 54-60: Toba lítica, arenosa, color café. PA buena. 60-66: Toba lítica, arenosa, color rojizo, liviana y caolinizada. PA moderada - baja 66-74: Toba lítica, arenosa, liviana, con presencia de cuarzo y pómez. PA baja. 74-80: Toba lítica, de matriz arcillosa, de color café y con presencia de mucha pómez. PA buena. 80-84: Ignimbrita de matriz cenicienta, rojiza. PA buena. 84-88: Ignimbrita de color gris claro. PA moderada. 88-97: Toba de matriz cenicienta y blanca, con presencia de mucho cuarzo. PA buena.	NE: 9,47 - ND: 14,4	53-59 / 76-82 / 82-90	4	5	Industrial
CN-701 (2010)	365818	284009	90	0-6: Toba de alt dureza. 6-9: Arcilla color café. 30-34: Lavas. 34-54: Capas de tobas ignimbritas duras. 54-60: Lavas volcánicas, muy duras con cristales de sílice y fracturamiento. 60-78: Tobs de la Formación Bagaces. 78-90: Tobs ignimbritas suaves.	NE: 36,9 - ND: 42,3 Prof (m) Nivel (m) 38 → 36,10	≈ 45-77 y 82-90	5	2,5	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CN-710 (2011)	368039	287035	140	0-4: Toba arcilloso color café a crema bloques andesíticos y vidrio volcánicos. 4-35: Tobs líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 35-60: Tobs líticas, gris, matriz cenicienta, compacta poco líticos y vidrio volcánico. 60-80: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos pómez y vidrio volcánico Acuífero confinado. 80-82: Arcilla grises a negras muy plástica. 82-90: Tobs líticas alterada, con matriz cenicienta gris fracturada entre los 83 a los 84 m pérdida de circulación de agua, PA alta. 90-130: Tobs líticas. Matriz cenicienta gris muy fracturada, PA alta. 130-140: Flanglomerado, fragmentos lávicos escoriáceos muy alterados, PA alta. * Descripción similar a pozo CN-688	Acuífero confinado asociado a tobas e ignimbritas de la Fm Bagaces de alto potencial. NE: 43,15 - ND: 67,49 Prof (m) Nivel (m) 60 → 60 83 → 83 140 → 43,15	106-130	15,2	14	Riego-Domés-Turismo
CN-713 (2012)	365388	290519	67	0-8: Arcilla expansiva de coloración negra. Impermeable. 8-30: Material tobáceo de coloración negra, presenta fiammes negros y levemente fracturados. 30-54: Lava densa de coloración café grisácea, moderadamente fracturada, tipo andesita-basáltica. 54-78: Lava porosa oscura, tipo andesítica, presenta un importante aporte de agua. * Descripción litológica igual a pozo CN-681 y CN-715	Agua aparece a los 52 m y ascendió hasta 36,5 NE: 36,5 - ND: 36,6. Prof (m) Nivel (m) 52 → Apareció nivel 67 → 36,5	37-67	2,27	0,05	Doméstico
CN-715 (2013)	367764	288011	65	0-12: Arcilla expansiva de coloración negra, impermeable. 12-25: Material tobáceo de coloración negra, presenta fiammes negros y levemente fracturados. 25-48: Lava densa de coloración café grisácea, moderadamente fracturada, tipo andesita-basáltica. 48-65: Lava porosa oscura, tipo andesítica, presenta un importante aporte de agua. * Descripción litológica igual a pozo CN-681 y CN-713	NE: 20,4 - ND: 20,45 Prof (m) Nivel (m) 36 → Apareció agua 65 → 20,4	30-65	1,5	0,05	Riego-Domés-Turismo
CN-728 (2015)	363302	281188	35	0-3: Arcillas y arenas color café oscuro. 3-6: Arenas y arcillas finas color gris con fragmentos polimícticos bien redondeados. 6-9: Arenas gruesas con fragmentos polimícticos de 5 mm de diámetro, bien redondeados y fenocristales de cuarzo. 9-15: Arcillas consolidadas color café. 15-27: Arenas finas y gravas, con fragmentos de areniscas finas. 27-35: Areniscas grises con fragmentos líticos polimícticos.	El acuífero es libre desarrollado en los depósitos aluviales. NE: 14,15 - ND: 16,68 Prof (m) Nivel (m) 14 → 14,15	24-30 y 33-35	3,1	0,1	Riego-Domés-Turismo
CN-733 (2015)	362838	289467	60	0-12: Suelo orgánico, arcilla y arcilla arenosa. PA baja. 12-39: Poca recuperación; arenas finas a gruesas con limo. PA baja-media. 39-60: Ignimbrita. Roca escoriacea negra, deleznable. Presenta algunos fragmentos líticos y cuarzo y vidrio volcánico. PA alta.	Se identificaron tramos productores de agua en las arenas superiores y en la ignimbrita inferior que podría estar aportando el principal caudal. El pozo es de mediano rendimiento. NE: 10,04 - ND: 50,39 Prof (m) Nivel (m) 25 → 06 60 → 10	18-48	15	30	Agroindustri al
CN-747 (2016)	369746	288318	94	0-1,5: Suelo orgánico limoso. PA: baja. 1,5 - 5: Arcilla rojiza arenosa. PA: baja. 5-13: Toba arenosa semi consolidada, friable. 13-16: Toba arenosa friable color negro rojizo. 16-21: Ignimbrita negra. Escoriácea con tramos friables. 21-23: Paleosuelo calcinado. Arcilla rojiza. 23-55: Toba lítica deleznable. Alternan tramos de texturas finas limi arenosas con otros de arenas más consolidadas con algunos fragmentos líticos. Coloraciones entre gris, pardo y rojizo. 55-94: Ignimbrita negra. Inicia roca muy vidriosa con textura escoriácea hasta 63 m; luego se presenta densa, con mucho menos vesículas y con fracturas.	El aporte de agua se empezó a observar a partir de los 63 m, aumentó un poco más entre los 74 y 78, y cedió el mayor caudal después de los 80 m, en la ignimbrita densa fracturada. Alto potencial. NE: 59,64 - ND: 59,65 Prof (m) Nivel (m) 75 → 85 76 → 132	66-94	8		Comercial, tecnológico, centro educativo

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CU-3 (1967)	373300	296900	60,96	0-12,3: Toba volcánica, material de origen piroclástico, de color blanco, muy suelto, su principal característica es la del alto contenido de cristales de cuarzo y láminas de mica oxidada. 12,3-15,24: Lacustre, material sedimentado en capas muy delgadas de diatomitas y cenizas volcánicas. 15,24-32: Toba blanca, este material es de las mismas características que el encontrado en la parte superior pero con la condición se ser mucho más sano. Este material es muy poroso u se encuentra muy fracturado, por lo que retiene poco el agua. 32-37: Toba gris, material piroclástico, más básico que el anterior, tiene vidrio volcánico. Es muy poroso y puede dar buena cantidad de agua. La zona productora de este está en esta sección que va de 32 a 51,8m. 37-61: Lava, andesita de color gris oscuro, muy porosa por tener muchas vesículas.	Acuífero principal 32-51,81. Pozo CU-3 o # 213. NE: 32,91	30,48-60,96	3,8	-	-
CU-4 (1968)	373900	296100	-	Pozo excavado	Pozo CU-4 o 368. NE: 8,31	-	0,63	-	-
CU-10 (1968)	374400	294600	54,9	0-13,7: ? 13,7-18,3: Toba ignimbritica de color pardo claro de regular consistencia con cristales de plagioclasas, magnetita y ocasionales cristales de mica encerrados (incluidos) dentro de una matriz vítrea homogénea. 18,3-24,3: Idem anterior. 24,3-32: Toba ignimbritica de color pardo oscuro de regular consistencia con una matriz vítrea homogénea. Aparecen también fragmentos de toba de claro. Están presentes también fragmentos angulares de material riolítico muy similar al que constituye a las tobas blancas. 32-36,6: Toba ignimbritica de color pardo oscuro y fragmentos de material de color blanco poco consistente, deleznable, con abundantes cristales de magnetita, algunos de estos fragmentos aparecen subredondeados dando la impresión de ser un material de redeposición. 36,6-41,1: Material de color blanco poco consistente (riolítico) deleznable con abundantes cristales de magnetita. Algunos de los fragmentos se presentan sub redondeados. Parece ser un material de redeposición (material lagunar). 41,1-44,2: Toba ignimbritica de color pardo rojizo, gris y gris oscuro, con abundantes cristales de magnetita y plagioclasas dentro de una matriz vítrea homogénea. 44,2-47,2: Idem 47,2-50,3: Toba ignimbritica de color pardo claro y gris menos alterada que las anteriores. 50,3-52,7: Idem 52,7-54,9: Idem	Pozo CU-10 o #304. NE: 9,14	36,6-54,8	-	-	-
CU-23 (1981)	374550	294600	80,25	-	2 acuíferos. NE: 6,65	Abierto 50-80,25	-		Doméstico
CU-30 (1999)	375950	294250	95	0-46: Formación Liberia. 46-80: Toba rosada de la Formación Bagaces. 80-81: Paleosuelo rojizo. 81-86: Ignimbritas color negro. 86-93: Brechas lávicas. 93-95: Ignimbritas color negro.	Acuífero confinado. En general la sección acuífero (82-95m) es medianamente permeable y por ende de transmisividad media. De acuerdo con la prueba de bombeo el pozo es de mediana producción, unos 3,8 l/s. NE: 26,3 - ND: 27,2	82-95	1,25	-	Doméstico
CU-44 (2006)	377227	295966	79	0-3: Suelo vegetal. 3-54: Tobas blancas. 54-57: Paleosuelo oscuro. 57-79: Tobas grises.	Acuífero libre desarrollado en materiales tobáceos. NE: 18,2 - ND: 60,8	55-79	2,4	0,5	Domes-riego
CU-45 (2007)	376310	295219	60	0-5: Suelo vegetal 5-60: Tobas blancas	Esquema: Suelo, tobas blancas, paleosuelo y tobas grises, no se indican espesores. NE: 10,7 - ND: 40,9	36-60	1,2	1	Domes-riego
CU-46 (2007)	374940	294375	95	0-1: Arcillas color gris a negro muy plástico. 1-95: Tobas blancas Formación Liberia, permeabilizada media a baja. Las secciones de 53 a 63 fue más densa con color café y la de 62 a 95 fue semidura a dura con lentes más compactos.	NE: 23	44-50, 56-62, 68-74 y 80-86	2,5	1	Domes-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
CU-49 (2007)	372750	295700	50	0-7m Suelo, de color café y textura limo arenosa. 7-17m Color café claro, poca dureza. 17-22m Lavas color gris oscuras, sanas y de dureza moderada, poco alteradas. 22-50 Color café claro, poca dureza.	Producción de agua moderada. Durante la perforación el agua apareció a 25m y terminó a 22m de profundidad. Dos semanas después, para la prueba de bombeo el nivel estaba en 16,3. NE: 16,3 - ND: 16,57	25-48	2,27	1	Domes-riego
CU-54 (2009)	373310	298700	-	0-10: Suelo arenoso gris. 10-100: Toba blanca Formación Liberia, permeabilizada media a baja. Las secciones de 53 a 63 fue más densa con color café, de los 98 a 100 m suelo quemado compactos. 100-110: Lava densa muy dura color negro. 110-127: Brecha café.	NE: 12,5 - ND: 16,04 Prof (m) Nivel (m) 105 → 102 117 → 102	105-125	18,75	10	Domés-riego
CU-58 (2009)	378027	296740	100	0-2: Suelo vegetal. 2-56: Tobas blancas. 56-59: Paleosuelo oscuro. 59-100: Tobas grises.	Acuífero libre. NE: 18,2 Prof (m) Nivel (m) 0 → 0 50 → 20 80 → 18 100 → 18,20	55-100	-	1	Domes-riego
CU-62 (2013)	376000	295920	62	0-3: Suelo café amarillento limoso. PA baja. 3-10: Toba blanca limo arenosa poco consolidada. PA baja. 10-14: Toba blanca semi consolidada; arenosa. PA baja. 14-34: Toba café, semi consolidada con fragmentos de rocas piroclásticas. Textura limo arenosa. PA baja. 34-41: Toba limosa blanca. PA baja. 41-48: Toba arenosa consolidada marrón con fracturas. PA media. 48-62: Toba marrón. Alternan tramo semi consolidados con otros de arenas blancas deleznales. PA baja a media.	Agua surge después de los 41 m de prof, en un paquete de tobas consolidadas con fracturas. El nivel se elevó hasta 18,8 m por lo que se deduce que existe confinamiento. El acuífero es de producción media. NE: 18,8 - ND: 23,66 Prof (m) Nivel (m) 20 0 48 18,8 62 18,8	40-58	3,5	1,5	Doméstico
CU-63 (2014)	376978	297841	60	0-2: Suelo arcilloso blanco. 2-60: Toba de coloración blanquicina, Fm Río Liberia	Se determina que el pozo es capaz de aportar un caudal de 1 l/s, por no mostrar abatimiento, no se pudo determinar los parámetros hidráulicos del acuífero captado. NE: 33,5 - ND:34 Prof (m) Nivel (m) 32 → Aparece nivel 60 → 32		1	2,5	Domés-riego
ME-7 (1967)	375400	293250	64	-	Pozo ME-7 o # 290. NE verano: 16,15 - NE invierno: 6	18-64	-	-	Domés-riego
ME-11 (1968)	374300	291100	7,6	-	Pozo ME-11 o # 375. NE: 4,1 - ND: 7,22	-	1,9	-	Doméstico
ME-13 (1967)	374500	288300	91,4	0-45,7: Ignimbritas de color gris consistentes, con una matriz vítrea homogénea. 45,7-48,7: idem, con alto contenido de vidrio volcánico. 48,7-51,8: idem, con menor contenido de vidrio volcánico. 51,8-60,96: idem. 60,96-64: ? 64-76,2: Ignimbrita de color gris consistente con una matriz vítrea homogénea y algunos fragmentos de color pardo claro alterados. 76,2-80,7: Ignimbrita de color gris pardo rojizo, consistente en buen estado de conservación. La matriz es vítrea homogénea. 80,7-84,7: Ignimbritas de color gris muy triturada. 84,7-85,3: Ignimbrita de color gris, consistente. No está alterada.	Pozo ME-13 o # 287. NE: 7,62 - ND: 19,8	-	1,4	-	Industrial
ME-28 (1967)	377150	291800	13,96	Excavado	Pozo ME-28 o # 282. NE: 3,6 - ND:10	-	0,6	-	Doméstico

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-36 (1967)	377600	289550	121,3	0-6: Toba blanca de Fm. Liberia, meteorizada 6-52: Arena blanca cuarzosa fina con cristales fénicos, casi sin matriz, algunos elementos son redondeados. 70-88: Probable suelo arenoso fósil café oscuro pasando a toba suave rosas con elementos líticos y cuarzo subredondeado. 88-94,3: Toba gris, café claro con matriz gris, incluyendo fragmentos líticos negros. 94,3-11: Ignimbrita negra con fragmentos de toba más clara. 112-122: Suelo constituido por arcilla roja compacta y pura incluyendo fragmentos líticos de lava y toba.	Pozo ME-36 o # 270. NE: 16	106-121	0,95	-	Abast. Público
ME-37	377300	289400	37	0-3,04: Arcilla. 3,04-9,14: Arenas. 9,14-27,43: Cascajo blanco (toba). 27,43-30,48: Arcilla roja. 30,48-37: Cascajo blanco (toba)	Abandonado. Pozo ME-37 o # 901. NE: 3,67	8,8-36,26	-	-	-
ME-41 (1967)	378200	292000	60,96	Todo el pozo fue en cascajo blanco (toba de Liberia).	Se probó el pozo a 60 GPM y se agotó en 4 min. Pozo ME-41 o # 293. NE:13,72	-	-	-	-
ME-42 (1969)	378900	291800	167,68	-	NE: 30 - ND: 65	-	25	-	Abast. Público
ME-46 (1967)	379520	291650	109,8	0-85,3: Arena residual. 85,3-88,4: Arcilla café. 88,40-94,5: Arena con arcilla. 94,5-109,8: Arena negra gruesa	NE: 38,1	100-103?	-	-	Abast. Público
ME-47 (1968)	378300	290700	67	-	NE: 15,24. Se abatió de 15,24a 29con una bomba de 35 GPM.	24,4-48,8	-	-	-
ME-51	378300	289900	76,2	-	Pozo ME-51 ó # 937. NE: 14,6	-	1,6	-	Industrial
ME-67 (1967)	360200	286700	30,48	-	Pozo ME-67 o # 294. NE: 2,74	-	0,7	-	Abrevaderos
ME-75 (1967)	382150	284850	70	0-58: Toba blanca, con gran cantidad de cuarzo, pómez y muscovita. Roca liviana, permeabilidad aparente baja, se cataloga dentro de la Formación Liberia. 58-70: Toba café, lítica, con fragmentos de hasta 2 mm de diámetro, casi no presenta cuarzo. PA media, se cataloga dentro de la Fm. Bagaces. Hay indicios de una capa rojiza en la parte superior de esta unidad.	No hubo variaciones de nivel estático durante la perforación. NE: 8,8 - ND: 17,45	46-67	4,3	0,5	Doméstico
ME-107 (1967)	378200	290000	68,58	0-54,9: Toba blanca. 54,9-58: Barro colorado ± gris 58-65,6: Arena blanca con grava. 65,6-68,9: Arena con barro rojizo.	Pozo ME-107 o #279. NE: 55-65 cambia de nivel al salir de toba blanca.	-	5	-	Doméstico
ME-109 (1968)	379300	288400	76,2	Toba de Liberia	Pozo ME-109 o #444. Acuíferos principales 75 y 30m. NE: 9,7 - ND: 8,2	-	0,9	-	-
ME-110 (1969)	379150	291950	87	-	Pozo AyA. NE: 33,76 - ND: 56,76	-	9,5	9,5	Abast. Público
ME-117 (1970)	377100	287600	41,7	-	NE: 1,5	24,4-36,6	0,6	-	Doméstico
ME-118 (1971)	374300	286300	30,5	-	NE: 3	-	0,8	-	-

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-121 (1971)	383000	284600	57,9	0-6,10: Limo café blancuzco de aspecto terroso con poca arcilla y regular cantidad de arena cuarzosa de media a gruesa, incluyendo vidrio volcánico y mica. Perm baja a media. Rendim esp ≈ 6. 6,10-9,15: Arcilla arenosa café grisácea, incluyendo gran cantidad de granos de cuarzo, vidrio volcánico y gran cantidad de mica meteorizada. Perm casi nula. Rend esp ≈ 2. 9,15-21,35: Arena cuarzosa de media gruesa con poca arcilla, incluyendo mucho cuarzo, vidrio volcánico y regular cantidad de mica. Pocos granos de grava media a gruesa, subangulosos. Perm buena. Rend esp ≈ 15. 21,35-24,90: Arena cuarzosa fina, cementada por un material riolítico, duro, vídrioso, contiene regular cantidad de vidrio volcánico y mica meteorizada. Perm de media a buena. Rend esp ≈ 8. 24,90-27,45: igual 9,15-21,35m 27,45 - 30,50: igual 21,35-24,40m 30,50-61: igual de 9,15-21,35 pero los granos de arena son más peq (media) no existen granos de grava y con la prof comienza a existir un cemento riolítico duro y vídrioso. Perm buena. Rend esp ≈ 12.	NE reportado: 9,1 m - NE medido: 5,10 m medido.	-	-	-	-
ME-140 (1973)	382300	288200	92,3	-	Acuíferos principales 85,3 a 92,3m. NE: 19,8	74-92,3	-	-	Domés-abrevaderos
ME-141 (1973)	378800	289200	60,9	-	NE: 10 - ND: 18,3	36,6 - 60,9	-	-	Doméstico
ME-143 (1973)	373700	283000	60,9	0-50,29: Toba color blanco. Muy homogénea con láminas de mica (muscovita) muy abundantes. Contiene pocos segmentos piroclásticos. La permeabilidad es buena, pues la toba es porosa y grano mediano. Formación Liberia. 50,29-51,82: Toba de un color rosado, con grano de cuarzo, en una cantidad apreciable. Contiene además láminas de micas (muscovita) en buena cantidad, lo mismo que algunos fragmentos piroclásticos. La permeabilidad es buena.	NE: 21,3	30,48 - 60,9	-	-	Abrevaderos
ME-144 (1973)	378050	290000	73,15	0-65,53: Tobas color blanco con mucha muscovita (mica), fragmentos cuárcicos en una matriz cenicienta. Buena permeabilidad. Es típica Formación Liberia. 65,53-70,10: Toba de un color algo rosado, pero con una cantidad muy grande de cuarzo (?) y piroclastos. La permeabilidad es buena. 70,10-73,15: Toba color café oscuro, con fragmentos piroclásticos. Grano mediano y poroso. La permeabilidad es alta. Típica Formación Bagaces.	NE: 15,24	39,6 - 73,15	-	-	Doméstico
ME-156 (1975)	378200	289750	85,34	-	NE: 10,85 - ND: 59	60,96 - 85,34	3,63	-	-
ME-166 (2007)	382582	284685	70	0-50: Arenas silíceas con pómez y hojuelas de mica, Formación Liberia. 50-60: Rocas brechosas gris oscuro. 60-70: Tobas color gris.	Regulares condiciones de permeabilidad. NE: 10,2 - ND: 15,3	15-69	2,55	2	Domés-riego
ME-178 (1978)	384000	283300	51,83	0-17,7 Arena blanca con acilla. 17,7-26,8: Arcilla con arena. 26,8-51,83: Arena gruesa gris oscura.	Perforado por el AyA. NE: 13,72 - ND: 32,01	33,55 - 51,83	4,1	-	-
ME-190 (1984)	379700	291100	145	0-130: Tobas de cuarzo. 130-141: Brecha volcánica. 141-145: Horizonte de ceniza micácea.	NE: 28	-	2,5	-	Doméstico
ME-196 (1988)	377150	289265	107	0-30: Arena, producto de la meteorización de la toba blanca de la Fm Liberia. Rica en pómez. Se presenta abundante mica, vidrio, y minerales ferromagnésicos. Perm ap: baja a media. 30-61: Toba, consolidada, color blanco, riolítica. PA baja. 61-80m Toba, color cafezusco claro. Consolidada. Por los 70 m toma una coloración rosada. Se encuentra fracturada. Hacia los 80m es arenosa, con granos negros y rojizos. PA media a alta. 80-96: Ignimbrita. Color café oscuro a negro, consolidada pero se parte fácilmente. Se observa vidrio translúcido y obsidiana. Fracturada. PA alta. 96-97: Arcilla. Representa un paleosuelo arcilloso de color café rojizo. PA muy baja. 97-107: Toba. Color café. Granos de cuarzo, vidrio y micas. Text arenosa. PA alta.	NE: 11,3 - ND: 15,6	79-94,5	-	-	Domés-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-197 (2006)	377610	289560	112	0-69: Toba de color gris claro con granos de cuarzo y mica, Formación Liberia (ignimbrita) 69-71: Arcilla color rosada, algo arenosa. 71-77: Arcilla color rojo quemado, se asocia a un paleosuelo. 77-92: Toba gruesa, color café oscuro. 92-95: Arcilla color rojizo. 95-102: Toba color negro rojizo con piriboles, Formación Bagaces (ignimbrita).	NE: 15,42 - ND: 46,3	88-100	7,5	11,04	Abast. Público
ME-201 (1990)	376500	286800	137	0-41: Toba blanca (Fm. Liberia). 41-46: Paleosuelo marrón a rojizo. 46-137: Lava gris oscuro, lavas rojo oscuro, material poroso fracturado de 60 a 90 y de 90 a 137.	NE: 13,5 - ND:16	96-137	6	6	Riego
ME-202 (1990)	376950	287250	133,4	0-47: Toba blanca micácea Fm Liberia. 47-50: Paleosuelo 50-133: Lavas grises fracturadas de 103-133,4 Fm Bagaces.	NE: 6 - ND: 6,5	-	5	5	Riego
ME-203 (1990)	376500	286800	150,75	0-79: Toba blanca con pómez, vidrio volcánico y mucha mica, Fm Liberia. 79-83: Material volcánico color gris oscuro ignimbrita y lavas en el fondo Fm Bagaces. 83-150,8: Lavas Formación Bagaces.	NE: 17,6	100-150	-	-	Riego
ME-204 (1990)	374900	288830	50	0-0,5: Arcilla gris oscuro, dura (zonzoquite). 0,5-25: Formación Liberia. Tobas blancas d aspecto granular, granos formados por cuarzo, biotita, fragmentos líticos de la formación Bagaces y minerales fémicos, el material cementante es riolítico blanco a gris. Permeabilidad aparente muy mala. 25-26: Arcilla rojiza, con arena fina, impermeable, suave, suelo fósil. 26-50: Formación Bagaces, miembro superior, toba aglutianada, de color gris, semidura, grietas rellenas por materia residual, material heterogéneo, detrítico con fragmentos líticos, escoria vesicular, cuarzo, permeabilidad aparente muy mala.	Permeabilidad muy mala, en la prueba de cuchara realizada el pozo se secó con una extracción de 1272 l (1,27 m3) en 16 min y una recuperación de 24h al nivel de origen. Prof (m) Nivel (m) 7 → 5 10 → 5 30 → 5 40 → 5 50 → 5		1,32	-	Doméstico
ME-205 (1990)	378920	288700	130	0-70: Toba, de la Fm. Liberia. De color blanco, de aspecto granudo, compuesto de cuarzo en una matriz pumítico-arcillosa, con gran cantidad de mica y fragmentos o minerales negros. De alta porosidad pero reducida permeabilidad. Perm ap baja. 70-74: Arcilla rojiza, posiblemente sea el producto de la calcinación de una lava, al depositarse la Fm. Liberia. Estas arcillas son la base de la Fm. Liberia y son una capa sello. 74-102: Lava tipo andesítica, con una gran cantidad de mineralizaciones secundarias, especialmente de hematita y en menor cantidad de clorita. Se observaron en los fragmentos recuperados planos de fractura. La perm ap es alta. 102-118: Toba de la formación Bagaces. El color general es café oscuro. La roca está compuesta por cuarzo, englobados en una matriz arcillosa, con fragmentos de lapillis ígneos. Además, existe mica pero en menor cantidad que en la Formación Liberia. La permeabilidad aparente es de baja a media. La dureza es considerablemente alta. 118-130: Lavas de la formación Bagaces, de tipo basáltico, de matriz afanítica, de color negro oscuro, de gran dureza, con abundantes planos de fractura. La perm ap es alta. Hay ausencia de minerales arcillosos. Aparentemente hubo un cambio litológico a 129,5 m de profundidad, donde fue muestreado un material similar al del tramo 102-118.	Se atravesó dos acuíferos bien definidos. El superior es de bajo rendimiento y no es captado por el pozo para evitar problemas de contaminación de mica. El segundo es compuesto por dos horizontes lávicos (74 a 102m y 118 a 130m) de alta permeabilidad. Debido a esta situación fue necesario hacer un diseño especial este pozo. Durante el proceso se perforación hubo pérdidas de lodo de perforación. De los 102 a los 107 m pérdida total y 118 a 130 constantes pérdidas parciales. Además, aprox a los 108m se notó q el nivel de agua dentro del pozo subió de 15 a 10,5 m. Por lo anterior se deduce que el acuífero Bagaces tiene cierto grado de confinamiento y que el nivel de agua es piezométrico y no estático. NE:10 - ND: 15	74-102 y 118-130	-	-	Industrial
ME-206 (1990)	376300	289600	100	0-12: Suelo. 12-54: Fm Liberia. Tobas Blancas, con pómez y mucha mica paleosuelo color rojizo. 54-128: Fm Bagaces, lavas grises, ignimbritas lavas rojizas fracturada alternadamente de 80-120m.	Pozo AyA	75-78 / 83-86 / 92-95	2,25	2	Abast. Público

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-208 (1991)	377950	292850	67	0-14: Toba, blanca, alto contenido de pómez, sin cuarzo. 14-28: Toba, color crema a gris, contiene pómez y cuarzo. 28-35: Toba, similar a 0-14m, sin cuarzo, con un poco de muscovita. 35-53: Toba, similar a 0-14m, sin cuarzo, con un poco de muscovita. 53-57: Toba, con mucho cuarzo en granos de hasta 4 mm de diámetro, grueso. A los 57m empieza a derrumbar y a notarse un aporte de agua. Se nota algo de muscovita. 57-64: Arena de cuarzo, grano grueso. 64-67: Lava, algo meteorizada, se recuperan fragmentos de hasta 3 cm de diámetro. Dura, aparenta alta perm. 67-67,5: Lava, similar a la anterior pero no parece fracturada.	El horizonte acuífero parece estar entre 60 y 66m. NE: 31,85 - ND: 57,04	59-65	1	-	Abast. Público
ME-209 (1991)	378150	288750	126	0-0,5: Suelo agrícola, arcillo-arenoso, pesado, color crema. 0,5-10: Formación Liberia, toba de color crema claro, alterado, mucho cuarzo en matriz cenicienta, biotita oxidada, permeabilidad aparente mala. 10-20: Toba gris clara, matriz cenicienta, algo dura, biotita oscura y oxidada, permeabilidad aparente mala. 20-48: Formación Liberia, toba de color gris claro, semidura, estable, matriz cenicienta, con contenido de cuarzo semi amorfo, lechoso, en un 80%, vidrio volcánico negro en 3%, biotita oxidada 1%, permeabilidad aparente mala. 48-51: Cambio litológico dentro de Liberia, parecen lacustre discordante, formado por arena fina a media, arcilla, granos de matriz cenicienta de la toba, cuarzo, biotita en un 10%. Material problema derrumba, perm ap muy mala, material retrabajado. 51-59: Toba blanca, formación Liberia, formada por lacustre fino con arcilla, interestratificado, con paleosuelo rojizo, impermeable. Nota de 58 a 59 toba blanca. 60-62: Cambio por una toba rosada, matriz rosada, menos cuarzo, cenicienta, pómez, clastos de escoria, rojiza, permeabilidad aparente baja, material suave. 62-76: Toba rosada, suave, matriz cenicienta, con mucho cuarzo lechoso, vidrio volcánico negro, perm ap mala. 76-78: Toba, matriz cenicienta, gris claro, suave, mucho cuarzo, escoria rojiza, vidrio negro. 78-82: Toba, matriz cenicienta, gris oscuro, dura, escoria rojiza, cuarzo lechoso, fragmentos líticos de lava. Arcilla rosada caída de 53m. 82-84m Ignimbrita con matriz cenicienta vidriosa, dura, vidrio negro, cuarzo, escoria rojiza, perm moderada. 84-88: Matriz cenicienta, vidrio volcánico, arcilloso. 88-90: Arcilla café rojizo crema, suave, liviana. 90-92: Idem (86-88) menos cuarzo amorfo. 92-94: Idem (88-90) paleosuelo. 94-96: Ignimbrita, dura, matriz cenicienta, rojiza, vidrio negro, cuarzo amorfo, permeabilidad baja. 96-98: Ignimbrita, matriz cenicienta, calcinada, dura, densa, mucho cuarzo. 98-99: Piroclásticos finos (crema) livianos, café oscuro, mucha biotita oxidada. 99-100: Ignimbrita gris oscuro con escoria rojiza, cuarzo, vidrio volcánico, matriz tipo cenicienta, dura, perm mala. 100-101: Ignimbrita. 101-106: Arcilla café dura, paleosuelo. 106-108: Ignimbrita café grisáceo, óxidos de hierro. 108-110: Idem, mucha arcilla. 110-114: Arcilla café rosado, plástica, ligera. 114-118: Arcilla café rojizo, suave, plástica. 118-126: Lava basáltica, fracturada.	Fm. Bagaces penetró parcialmente. NE: 17. Prof (m) Nivel (m) 0-13 → 0 13-14 → 12 14-20 → 7 20-50 → 7 50-60 → 7 60-70 → 22 70-82 → 17 82-100 → 17 100-126 → 17	60-84 / 94-101	3	5	Doméstico
ME-212 (1991)	380240	286000	127	0-76: Toba silíceo de la Fm. Liberia. 76-86: Ignimbrita gris de la Fm. Bagaces. 86-94: Ignimbrita rojiza de la Fm. Bagaces. 94-127: Lava compacta andesítica con fragmentos líticos alterados, miembro de la Formación Bagaces.	Se captó el acuífero de 94 a 120m, por presentar excelentes condiciones de permeabilidad, ya que se trata de lavas fracturadas. NE: 8	94-120	-	-	Domés-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso																
ME-215 (1991)	383140	287500	100	<p>0-0,50: Suelo arcilloso arenoso, café claro, duro.</p> <p>0,5-22: Toba blanca Formación Liberia, matriz cenicienta fina, crema, cristales de cuarzo de hasta 3mm, algo lechoso, mucha mica, vidrio volcánico negro, fragmentos líticos, perm ap baja.</p> <p>22-54: Toba, matriz cenicienta fina, color gris claro, sana, dura, mucha cantidad de cristales de cuarzo 2-3mm, mica, vidrio volcánico negro, fragmentos líticos, perm ap baja.</p> <p>54-88: Idem, pero no hay mica a partir de los 54m.</p> <p>88-92: Arcilla blanca con arena fina, liviana, suelta, (lacustre) algo adhesiva.</p> <p>92-98: Brecha rojiza suelta, heterogénea, arcilla, escoria, lava, perm ap buena.</p> <p>98-99,5: Ignimbrita dura, café oscuro, fracturada, perm ap baja.</p> <p>99,5-100: Arcilla gris, suave, muy plástica, adhesiva.</p>	<p>El agua apareció a los 21 m y subió a 19m, manteniéndose constante hasta los 92m donde subió a 17,5 manifestando un artesianismo. La Fm Liberia presenta dos secciones, de 21-54 de perm ap muy baja y 54-88m donde mejora la permeabilidad. Aparentemente la brecha 92-98 (Bagaces) aumentó el nivel en un 1,5m demostrando artesianismo.</p> <p>NE: 17,5 - ND: 54</p> <table> <thead> <tr> <th>Prof (m)</th> <th>Nivel (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-20</td><td>0</td></tr> <tr><td>20-21</td><td>19</td></tr> <tr><td>21-30</td><td>19</td></tr> <tr><td>30-50</td><td>19</td></tr> <tr><td>50-70</td><td>19</td></tr> <tr><td>70-92</td><td>19</td></tr> <tr><td>92-100</td><td>17,5</td></tr> </tbody> </table>	Prof (m)	Nivel (m)	0-20	0	20-21	19	21-30	19	30-50	19	50-70	19	70-92	19	92-100	17,5	24-88 / 97-100	-	3,5	Riego
Prof (m)	Nivel (m)																								
0-20	0																								
20-21	19																								
21-30	19																								
30-50	19																								
50-70	19																								
70-92	19																								
92-100	17,5																								
ME-216 (1991)	373600	288550	140	<p>0-2: Arcilla crema, adhesiva, con arena, toba blanca alterada.</p> <p>2-18: Ignimbrita gris oscuro, semidura, cenicienta, clastos pequeños incrustados, fracturada, suelta, arenosa, cuarzo, vidrio negro.</p> <p>18-20: Paleosuelo rojizo, arena, pómez, arcilla, acuícludo, cuarzo.</p> <p>20-22: Ignimbrita café rojizo, semidura, abrasiva, cristales de cuarzo, escoria, matriz cenicienta.</p> <p>26-28: Idem pero el color es gris.</p> <p>28-30: Ignimbrita gris oscuro, vidriosa, cuarzo, abrasiva, suelta, semidura.</p> <p>30-34: Idem, tipo Puente Mulás, cristales incluidos, grano grueso, cuarzo, escoria rojiza.</p> <p>34-36: Arcilla café rojizo, adhesiva, suave, café rosácea con cuarzo y escoria rojiza.</p> <p>36-38: Arcilla café rosado.</p> <p>38-42: Toba café rosácea con cuarzo y escoria rojiza.</p> <p>42-43: Arcilla café rosado, suelta, arenosa.</p> <p>43-44: Ignimbrita café rojizo, grano grueso, dura con cuarzo.</p> <p>44-50: Idem pero con fragmentos de lava.</p> <p>50-52: Paleosuelo café, arcilloso.</p> <p>52-54: Contacto.</p> <p>54-60: Ignimbrita negra con vidrio volcánico, fracturada, permeabilidad ap buena.</p> <p>58-60: (Paleosuelo rojizo arcilloso), idem a la muestra anterior.</p> <p>60-64: Paleosuelo rojizo.</p> <p>64-68: Arcillas café, impermeables.</p> <p>68-70: Contacto arcilla-ignimbrita.</p> <p>70-74: Ignimbrita negra, vidriosa, fracturada con cuarzo incrustado.</p> <p>74-76: Ignimbrita y lava escoriácea, rojiza, la ignimbrita color negro, vidriosa.</p> <p>76-78: Lava escoriácea, brechosa, negra y rojiza respectivamente, porosidad excelente, perm ap muy buena, fracturada, dura.</p> <p>78-80: Idem.</p> <p>80-82: Lava negra, vidriosa, escoria rojiza y brecha, dura, fracturada, porosidad fisural, perm ap. buena.</p> <p>82-84: Idem pero con granos de cuarzo.</p> <p>84-86: Idem pero con más brecha rojiza.</p> <p>86-88: Idem.</p> <p>88-90: Lava negra muy vidriosa.</p> <p>90-94: Lava negra vidriosa, cuarzo incluido, dura, algo liviana. Estos materiales parecen ser una ignimbrita.</p> <p>94-100: Lava negra con mucho vidrio volcánico, fracturada, fisurada (parece ignimbrita).</p> <p>100-116: Ignimbrita negra, vidriosa, fracturada, dura, permeabilidad ap baja.</p> <p>116-124: Ignimbrita, matriz cenicienta, café, clastos angulares de piroclásticos, algo de cuarzo.</p> <p>124-130: Ignimbrita con vidrio negro (obsidiana) muy fracturada.</p> <p>130-134: Ignimbrita negra, con mucho vidrio volcánico (obsidiana), cuarzo amorfo, algo de escoria rojiza, muy fracturada y afectada por presión de formación. Aparentemente perm buena.</p>	<p>El nivel de agua apareció a los 11m y se mantuvo en 9m de prof hasta llegar a los 54-55m, donde se bajó a 46m, manteniéndose ahí durante todo el proceso de perforación.</p> <p>NE: 46,96 - ND: 118</p> <table> <thead> <tr> <th>Prof (m)</th> <th>Nivel(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0-10</td><td>→ 0</td></tr> <tr><td>11-15</td><td>→ 11,5</td></tr> <tr><td>15-50</td><td>→ 9,5</td></tr> <tr><td>50-56</td><td>→ 45</td></tr> <tr><td>56-60</td><td>→ 45</td></tr> <tr><td>60-100</td><td>→ 45</td></tr> <tr><td>100-140</td><td>→ 45</td></tr> </tbody> </table>	Prof (m)	Nivel(m)	0-10	→ 0	11-15	→ 11,5	15-50	→ 9,5	50-56	→ 45	56-60	→ 45	60-100	→ 45	100-140	→ 45	107-132	1,88	1,75	Irrigación
Prof (m)	Nivel(m)																								
0-10	→ 0																								
11-15	→ 11,5																								
15-50	→ 9,5																								
50-56	→ 45																								
56-60	→ 45																								
60-100	→ 45																								
100-140	→ 45																								

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso																
				134-140: Arcilla café claro, liviana, suave, poco adhesiva, sedimentada en agua (lacustre) se comporta como acuífero.																					
ME-217 (1991)	374330	291040	80	<p>0-0,5: Suelo agrícola, arcilloso, pesado, suelto.</p> <p>0,5-4: Regolita, algo arcilloso con arena (toba alterada).</p> <p>4-24: Formación Liberia. Toba café claro, matriz cenicienta, arcillosa, con alto contenido de cuarzo lechoso y biotita, suave, perm ap baja, en algunos tramos presenta fragmentos líticos de lava y piezas alteradas.</p> <p>24-26: Arcilla rojiza plástica.</p> <p>26-28: Arcilla café claro, con mucho cuarzo.</p> <p>28-34: Arcilla rojiza, muy plástica.</p> <p>34-36: Toba arcillosa café con clastos angulares, cuarzo, vidrio negro.</p> <p>36-38: Arcilla café claro.</p> <p>38-40: Idem pero con clastos alterados.</p> <p>40-46: Arcilla café claro, adhesiva, plástica con algo de cuarzo.</p> <p>46-50: Arcilla café claro, muy liviana, suave, plástica y adhesiva.</p> <p>50-80: Toba blanca, constituida por matriz cenicienta fina, suelta con gran cantidad de cuarzo, cristales lechosos, mica (biotita) oxidada, con secciones de arcilla y en algunos casos clastos de pómez, lava, lapilli, perm ap moderada.</p>	<p>Nivel apareció a 6m y se mantuvo estable durante la perforación. Se localizaron 2 secciones acuíferas, de 12-24 y de 50-80. El 2do es confinado pero no se notó ninguna variación en el nivel por no haberse aislado de la primera sección.</p> <p>NE: 5,3 - ND: 8,52</p> <table> <thead> <tr> <th>Prof (m)</th> <th>Nivel (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-5</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>6-10</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>10-30</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>30-60</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>60-80</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	Prof (m)	Nivel (m)	0-5	0	5-6	6	6-10	6	10-30	6	30-60	6	60-80	6	12-24/54-80	3	3	Irrigación		
Prof (m)	Nivel (m)																								
0-5	0																								
5-6	6																								
6-10	6																								
10-30	6																								
30-60	6																								
60-80	6																								
ME-218 (1991)	383500	284000	100	<p>0-0,5: Suelo gris oscuro arcilloso, pesado, con algo de arena.</p> <p>0,5-12: Formación Liberia, toba blanca, matriz cenicienta fina, dacítica, con alto contenido de cuarzo lechoso en cristales grandes hasta 3mm, biotita en gran cantidad, fragmentos líticos de escoria, ignimbrita, lava, perm ap baja.</p> <p>12-56: Toba de matriz cenicienta fina, de color gris claro, dura, cristales de cuarzo en gran cantidad de 2 a 3mm, mica, vidrio volcánico negro, fragmentos líticos, perm ap moderada, algo de pómez.</p> <p>56-60: Idem, pero la matriz cenicienta dura, de color café claro (rosáceo) perm ap moderada por porosidad secundaria originada por fracturas, no hay mica, Bagaces.</p> <p>60-74: Toba café claro (crema) muy arcillosa, suave, poco cristales de cuarzo, no hay mica, algo de pómez, fragmentos líticos en 40% aprox., perm ap moderada.</p> <p>74-76: Contacto ignimbrita negra.</p> <p>76-83: Ignimbrita gris oscuro, matriz cenicienta arenosa, dura, vidrio volcánico negro, fracturada, perm ap buena.</p> <p>83-84: Arcilla café rojizo (paleosuelo).</p> <p>84-88: Arcilla 10% grava, arena gruesa de componentes de origen piroclástico, perm ap buena.</p> <p>88-100: Ignimbrita negra, matriz cenicienta arenosa, vidrio volcánico negro, liviana, fragmentos líticos, perm ap buena por fracturación.</p>	<p>Aparente contacto Liberia-Bagaces a 84m, por lo q penetración en Bagaces es poca. Mejores condiciones entre 60 y 82m.</p> <p>NE: 7,71 - ND: 20,75</p> <table> <thead> <tr> <th>Prof (m)</th> <th>Nivel (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-7</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7-10</td> <td>→ 7,71</td> </tr> <tr> <td>10-50</td> <td>→ 7,71</td> </tr> <tr> <td>50-100</td> <td>→ 7,71</td> </tr> </tbody> </table>	Prof (m)	Nivel (m)	0-7	0	7-10	→ 7,71	10-50	→ 7,71	50-100	→ 7,71	24-82/84-100	5,16	5	Irrigación						
Prof (m)	Nivel (m)																								
0-7	0																								
7-10	→ 7,71																								
10-50	→ 7,71																								
50-100	→ 7,71																								
ME-219 (1991)	376800	291850	90	<p>0-0,5: Suelo agrícola, arcillo arenoso suelto, freable, con MO.</p> <p>0,5-2: Regolita de color café claro a crema, suave.</p> <p>2-18: Toba blanca de la Fm Liberia, con alto contenido de cuarzo amorfo lechoso, biotita, vidrio negro, algunos fragmentos líticos, lava y escoria negra, todo en una matriz cenicienta arcillosa dacítica, perm ap moderada a baja.</p> <p>18-42: Toba gris claro, dura, matriz cenicienta, cuarzo, mica, vidrio volcánico, poco fracturada, permeabilidad ap baja.</p> <p>42-54: Idem pero de color café claro a rosado, no hay mica hacia los 54m, zona de transición con Bagaces.</p> <p>54-76: Toba rosada, liviana, pómez, cuarzo lechoso, cristales grandes, fragmentos líticos de lava y escoria, suave, permeabilidad ap baja.</p> <p>76-78: Paleosuelo rojizo, suave, impermeable.</p> <p>78-80: Ignimbrita de color café rojizo, muy dura, poco fracturada, textura fina, vidriosa con algunos cristales de cuarzo incluidos y piezas líticas. No hay fracturas, perm ap baja.</p> <p>80-90: Ignimbrita de color café rojizo, fina, dura con clastos líticos de lava y escoria.</p>	<p>NE:13</p> <table> <thead> <tr> <th>Prof (m)</th> <th>Nivel (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-12</td> <td>→ 0</td> </tr> <tr> <td>13-14</td> <td>→ 13</td> </tr> <tr> <td>14-15</td> <td>→ 13</td> </tr> <tr> <td>15-30</td> <td>→ 13</td> </tr> <tr> <td>15-50</td> <td>→ 13</td> </tr> <tr> <td>50-70</td> <td>→ 13</td> </tr> <tr> <td>70-90</td> <td>→ 13</td> </tr> </tbody> </table>	Prof (m)	Nivel (m)	0-12	→ 0	13-14	→ 13	14-15	→ 13	15-30	→ 13	15-50	→ 13	50-70	→ 13	70-90	→ 13	18-90	3	3	Irrigación
Prof (m)	Nivel (m)																								
0-12	→ 0																								
13-14	→ 13																								
14-15	→ 13																								
15-30	→ 13																								
15-50	→ 13																								
50-70	→ 13																								
70-90	→ 13																								

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-220 (1991)	374945	290000	100	0-0,50: Suelo agrícola, arcillo-arenoso, con MO, café grisáceo. 0,50-4: Arcilla gris claro, ligera, liviana, adhesiva, moldeable. 4-6: Arcilla gris claro 10%, 90% toba blanca alterada de color amarillo 90 de cristales de cuarzo lechoso suelta, mica (biotita) clastos líticos. 8-10: Idem 4-6 pero con más cantidad de biotita y algunos cristales de vidrio volcánico negro. 10-22: Toba blanca, Fm Liberia, 90% de cuarzo, matriz cenicienta, suelta, clastos de pómez, escoria, lava, etc. 10%, perm ap buena. 22-30: Toba blanca, semidura, con mucho cuarzo, biotita, caolín, matriz cenicienta. 30-60: Toba blanca, dura, fracturada, cuarzo, mica, fragmentos líticos, matriz cenicienta. 60-70: Idem pero matriz cenicienta café claro. 70-74: Idem. 74-86: Idem pero la matriz se nota más arcillosa, afecta la permeabilidad. 86-100: Toba, formación Liberia, de color café claro, con más mica, cuarzo, menos fragmentos líticos, sin embargo de 88 a 100m se nota un color gris claro, perm ap moderada.	El nivel apareció a 8 m y se mantuvo hasta llegar a 48-50 donde subió a 5,2. NE: 5,2 Prof (m) Nivel (m) 0-5 0 5-8 8 8-10 7,5 10-48 5,2 50-100 5,2	10-100	-	3	Irrigación
ME-225 (1992)	381450	287500	90	0-70: Toba color gris claro, presenta gran cantidad de cuarzo, vidrio volcánico y micas. En el tramo entre 50 y 70m el contenido de micas es menor (aprox. Inferior al 3%) Perm ap regular. Fm Liberia. 70-72: Material color gris, no se observan micas, presenta gran cantidad de cuarzo y poco vidrio volcánico. Además incluye fragmentos de lava redondeados de color café, algunos presentan pátinas de oxidación. Perm. ap. buena. 72-76: Material similar al descrito anteriormente pero con una matriz de grano más fino, perm. ap. regular. 76-90: Material tobáceo, color café, presenta aprox. un 50% de cuarzo. Además incluye algunos fragmentos de color rojizo. Perm ap buena.	NE: 12 Prof (m) Nivel (m) 90 → 15	60-90	-	-	Riego
ME-228 (1992)	380750	286450	100	0-4: Toba fina color café perm. Ap. Baja. 4-15: Toba fina color blancuzco con alto contenido de mica perm. Ap. Baja. 15-40: Toba color blancuzco de grano medio, en algunas partes presenta fragmentos de lava, contiene menos cantidad de micas que la toba descrita anteriormente. Perm ap regular. 40-52: Toba similar a la descrita entre 4 y 15m. 52-80: Toba similar a la descrita entre 15 y 40m. 80-88: Toba similar a la descrita entre 4 y 15. 88-94: Toba similar a la descrita entre 15 y 40m. 94-100: Toba similar a la descrita entre 4 y 15m.	NE: 7 - ND: 70 Prof (m) Nivel (m) 100 → 7	≈ 15-30/51-73/ 82-100	-	-	Riego
ME-230 (1992)	376900	292000	82	0-18: Toba color blancuzco, contiene mica y gran cantidad de cuarzo. Perm ap regular. 18-39: Toba color gris claro, contiene cuarzo y gran cantidad de micas. Perm ap regular. 39-72: Toba color gris, similar a la descrita entre 18 y 39m, pero con menor contenido de micas. Perm ap regular. 72-82: Material color gris, no contiene micas, aparentemente se trata de una ignimbrita. Perm ap. buena.	Este pozo capta varios acuíferos constituidos por tobas con permeabilidad ap regular y buena, la parte entre 18 y 39 contiene gran cantidad de micas por lo que no se capta directamente. Prof (m) Nivel (m) 82 → 8	≈ 40-82	5	5	Riego
ME-236 (1995)	375425	293900	70	0-62: Toba, de color gris claro a blanco amarillento, con alto contenido de sílice y elevada porosidad. Contiene gran cantidad de micas, se trata posiblemente de la Fm Liberia. La perm ap es alta. 62-70: Toba, color café oscuro a rojizo. Rica en sílice, pero con menor cantidad de micas que la unidad anterior. Con alta porosidad y perm ap. Se trata probablemente de la Fm Bagaces.	Aceptable producción con un relativo bajo abatimiento. Durante la perforación no se dieron variaciones significativas del nivel de agua, éste siempre se mantuvo entre 10 y 11m. NE: 11 - ND:39,6 T: 4	28-70	2,2	-	Doméstico
ME-237 (1995)	378800	290800	177	0-5 Suelo. 5-64 Ignimbritas de la Fm. Liberia. 64-111 Ignimbritas de la Fm. Bagaces. 111-119m Lava negra, txt fina. 119-140m Lava alterada. 140-150 Lava rojiza fracturada. 150-163m Lava negra txt fina. 163-168 Brecha lávica alterada. 168-172m Brecha lávica alterada. 172-177m Brecha lávica	NE: 28 - ND: 108 Prof (m) Nivel (m) 50 → 11 100 → 11 177 → 11 177* → 28 * Después de desarrollo	102-107/112-117/122-127/ 132-137/ 142-146/151-171	20	-	Abast. Público

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-239 (1995)	380500	286775	86	0-0,5 Suelo. 0,5-17 Arcilla rojiza liviana. 17-86 Formación Liberia, toba blanca amarillenta con presencia de biotita. Buena densidad. 86-91 Toba rojiza, blanda. 91-100 Arcilla rojiza.	Buenas condiciones de permeabilidad. NE: 11 - ND: 24	30-91	-	-	Doméstico
ME-240 (1995)	379750	286475	51	0-5: Toba fina color café. Perm ap baja. 5-15: Toba color blancuzco con alto contenido de mica. Perm ap. Baja. 15-51: Toba blancuzca de grano medio con cierto contenido de mica. Perm ap regular.	NE:18	24-51	-	-	Doméstico
ME-241 (1996)	378750	287200	100	0-5: Arcilla y limo, plástico, material de baja perm. Presenta un color marrón. 5-35: Toba sana, de txt arenosa fina. Aparenta tener una perm baja. 35-55: Toba de tex arenosa gruesa, con notable contenido de cuarzo. Sana, color gris a crema. Aparenta una perm media a alta. 55-75: Toba sana, de color gris, similar a la encontrada en el tramo 5-35. 75-90: Toba sana, de color marrón a gris, con alto contenido de cuarzo. Presenta cierta proporción de muscovita y aparenta una perm media a alta. 90-97: Toba de color marrón, con alto contenido de muscovita. Aparenta estar un poco meteorizada y parece tener una perm alta. No se recomienda captarla. 97-100: Toba sana, similar al tramo entre 75 y 90m. El contenido de muscovita es un poco menor pero no se considera conveniente captar este tramo.	NE: 6,52	35-59/76-88	1,2 y 3,5	-	Abast. Público
ME-243 (1996)	379200	287600	80	0-0,7: Suelo. 0,7-80: Formación Liberia.	NE: 7 - ND: 7	26-38 /41-74	4	4	Doméstico
ME-244 (1996)	379340	288075	100	0-0,6: Suelo. 0,6-100: Formación Liberia	Se han encontrado buenas condiciones hidrogeológicas. El sector más permeable de 85 a 100m. NE: 6 - ND: 60	46-100	10	10	Industrial
ME-249 (1996)	378250	286100	65	0-0,6: Suelo. 0,6-40: Toba blanca con mucha mica. 40-46: Toba color café. 46-55: Toba color rojizo. 55-65: Lava muy fracturada.	Buenas condiciones hidrogeológicas, en especial a partir de los 40m. NE: 25 - ND: 40	25-65	3	3	Agroindustri al
ME-250 (1997)	379600	291135	145	0-86: Fm. Liberia, capas arenosas de cuarzo, arenas finas de pómez y muscovita, tobas blancas. 86-145: Fm Bagaces, tobas e ignimbritas gris fracturadas.	NE: 38 - ND: 67	120-144	7,5	-	Doméstico
ME-251 (1997)	378950	290075	90	0-49: Fm Liberia, toba blanca. 49-53: Toba muy micácea y arenosa. 53-60: Toba blanca con cuarzo. 60-70: Toba soldada color café, txt fina. 70-75: Capa arenosa fina y negra. 75-80: Capa de arcilla roja. 80-90: Capa de aluvión fino, fragmentos de hasta 1 cm. A 90m se llega a lava.	Buenas condiciones hidrogeológicas y de potabilidad a partir de los 53m, habiéndose sellado la capa de mica que aparece de los 49 a los 53m. NE: 27 - ND: 40	54-90	2	2	Doméstico
ME-252 (1997)	381100	284700	100	0-0,6: Suelo. 0,6-60: Formación Liberia, tobas blancas. 60-100: Formación Bagaces.	Buenas condiciones hidrogeológicas se encontraron, especialmente en la Formación Bagaces. NE: 16 - ND: 60	60-100	5	-	
ME-255 (1997)	377250	291400	75	0-0,8: Suelo. 0,8-62: Formación Liberia. 62-70: Toba roja. 70-75: Toba café muy dura.	Dadas las condiciones litológicas compuestas de tobas, se encontró buena permeabilidad y producción de agua. NE: 8 - ND:38	33-75	5	5	Doméstico
ME-274 (2000)	379190	290250	90	0-53: Capas de tobas de color blanco (Fm Liberia). 53-67: Capas de tobas color amarillento, con abundante mica. 67-73: Capas de toba café. 73-80: Capas de toba rojiza. 80-90: Capas de toba color café.	Regulares condiciones hidrogeológicas. NE: 14- ND: 20	20-51 / 68-90	2,5	-	Doméstico
ME-275 (2001)	382875	284550	60	0-10: Suelo vegetal. Perm ap baja. 10-20: Tobas color blanco. Perm ap baja. 20-50: Tobas de Fm Liberia. Perm ap buena. 50-60: Fm de lavas escoriáceas. Perm ap regular.	NE: 15	30-60	1	-	Doméstico

ME-276 (2001)	379425	290650	80	0-70m Capas de tobas blancas de la Fm Liberia. 70-80m Capas de toba color rojizo.	NE: 18 - ND: 30	25-80	3	-	Doméstico
N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-277 (2001)	375600	293200	50	0-3: Arcilla más fragmentos de roca ignimbrítica, con perm muy baja. 2-33: Fm Bagaces, ignimbríticas. 33-45: Lava volcánica con bastante magnetita. 45-50: Toba de fragmentos líticos de origen ignimbríticos.	NE: 7,6	27-50	3,15	-	Doméstico
ME-289 (2002)	374440	288650	30	0-30m Fm Liberia. Series de tobas blancas.	Condiciones hidrogeológicas regulares, que mejoraron después de los 12m. NE: 3 - ND: 20	7-30	2	-	Doméstico
ME-290 (2002)	373730	288600	80	0-3: Arcilla, prácticamente impermeable. 3-20: Toba-ignimbríticas, son de color gris, semiduras, poco permeables. 20-22: Paleosuelo, color rojizo. 22-61: Tobas color gris claro a blancuzco. Típicas de la zona de Liberia. Son relativamente duras. Perm ap baja. 61-80: Lavas, no son muy duras, se observan parte escoriáceas. Sin arcilla. Perm ap media.	Agua se encontró a los 12m, luego de los 60m las lavas encontradas aportan mayor cantidad de agua, ya q el nivel ascendió al final del pozo a los 10m. NE:10 - ND: 15	56-80	3	-	Riego jardines Camposanto
ME-291 (2003)	382000	281750	130	0-15: Toba arcilloso color café a crema. Bloques andesíticos y vidrio volcánico. 15-40: Tobas líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 40-55: Tobas líticas, gris matriz cenicienta, compacta, poco líticos y vidrio volcánico. 55-65: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos, pómez y vidrio volcánico, acuífero confinado. 65-110: Tobas fracturadas, color gris, matriz cenicienta, poco vidrio volcánico, entre los 85 a 97 presenta alta perm. 110-130: Tobas líticas, con matriz cenicienta gris, fracturada entre los 111 a los 124 metros con alta perm.	NE: 15 - ND: 17,05 Prof (m) Nivel (m) 55 → 55 97 → 15 130 → 15	60-72/ 85-97/ 111-124	18	18	Riego
ME-292 (2003)	382650	284300	80	0-20: Arcillas y bloques de tobas englobados en una matriz arcillosa color café a blanco. 20-70: Tobas líticas color blanco, con fragmentos de pómez y líticos volcánicos, K alta. 70-80: Toba líticas color moraceo, con poco pómez y líticos, matriz cenicienta, K alta.	NE:12 - ND:17,45 Prof (m) Nivel (m) 48 12 80 12	32-80	2	2	Doméstico
ME-295 (2006)	377610	289650	102	0-69: Toba gris claro con granos de cuarzo y mica. Fm Liberia. 69-71: Arcilla color rosada, algo arenosa. 71-77: Arcilla color rojo quemandose asocia a un paleosuelo. 77-92: Toba gruesa color café oscuro. 92-95: Arcilla color rojo. 95-102: Toba color negro rojizo con piriboles. Fm Bagaces.	Pozo AyA. NE: 15,42 - ND: 46,3	-	-	7,5	Abast. Público
ME-302 (2004)	382835	284455	90	0-5: Capas de suelo orgánico. 5-11: Capas de toba gris. 11-31: Capas de toba blanca. 31-52: Capas de toba color café claro. 52-81: Capas de toba color café oscuro. 81-89: Capas de toba color rojizo. 89-93: Capas de toba negra. 93-100: Capas de toba color rojizo.	Condiciones hidrogeológicas encontradas son buenas. NE: 8 - ND: 12	56-100	-	3	Domés-riego
ME-303 (2004)	379735	284680	50	0-2: Suelo arcilloso. 2-50: Tobas beige	Acuífero libre. NE: 12	92-110	-	3	Riego
ME-304 (2004)	380020	286730	60	0-60: Tobas blancas Fm Liberia.	Acuífero libre. NE: 14 Prof (m) Nivel (m) 0-12 0 12-32 21 32-45 14 45-60 14	30-60	-	-	Domés-riego
ME-305 (2003)	379750	288875	50	0-1: Suelo. 1-50: Materiales tobáceos blanco-amarillento.	Acuífero libre. NE: 9	≈ 25-50	2	2	Doméstico
ME-307 (2003)	379810	287600	50	0-50: Capas de tobas de color blanco.	Condiciones hidrogeológicas regulares a bajas. NE:14 - ND:16	20-50	1,5	1,5	Riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-309 (2003)	381050	287500	100	1-2: Arcillas. 2-30: Arenas volcánicas finas con matriz cenicienta, perm mala. 30-61: Fm Liberia, constituido por tobas, cuarzos y piedra pómez. 61-80: División entre la fm Liberia-Bagaces. 80-96: Fm Bagaces, se presenta muy densa, compacta, sana, con mucha fragmentación y perm alta. 94-100: Fm de lavas volcánicas, perm alta.	NE: 5,6 - ND: 8 Prof (m) Nivel (m) 6 5,8	≈ 40-85/95-100	2,5	2,5	Doméstico
ME-310 (2003)	379910	290740	80	0-1,5: Suelo. 1,5-50: Tobas blancas	NE:4	-	-	-	Doméstico
ME-311 (2004)	379960	288350	65	0-1: Suelo limoso. 1-65: Tobas blancas Fm. Liberia	Acuífero libre. NE: 19	-	2	2	Doméstico
ME-315 (1996)	383600	286500	70	0-70 Tobas blancas (Fm Liberia)	Pozo AyA. NE: 20,22 - ND:54,04	25-70	0,4	-	Abast. Público
ME-316 (2004)	372420	288280	77	0-13: Tobas líticas alteradas color gris. 13-49: Tobas blancas Fm Liberia, intercalaciones pardas a café. 49-77: Toba lítica matriz cenicienta color gris a negro.	Buen acuífero. No hubo problemas de estabilidad. NE: 54 - ND:65	54-76	1	1	Doméstico
ME-317 (2005)	379102	291614	80	-	Condiciones regulares de permeabilidad a lo largo de la columna, mejorando hacia el fondo. NE: 30- ND:42	32-80	2	2	Doméstico
ME-319 (2005)	376650	291000	90	0-1: Suelo orgánico, color blanquecino. 1-69: Rocas tobáceas de la Fm Liberia, color blanco. 69-81: Tobas rojizas (Bagaces). 81-90: Capas de arenas color negro fuerte.	Regulares condiciones de permeabilidad. NE: 7	20-90	-	2	Doméstico
ME-320 (2005)	374033	288486	70	0-55: Tobas blancas. 55-57: Paleosuelo rojizo 57-70: Tobas grises	NE: 3,78 - ND: 40,63 Prof (m) Nivel (m) 0-10 → 0 10-25 → 5 25-45 → 4 45-65 → 4 65-70 → 3	46-64	1,9	1,9	Doméstico
ME-321 (2005)	373600	288749	60	0-4: Suelo arcilloso. 4-28: Tobas café, meteorizadas. 28-60: Tobas, gris claro.	Acuífero libre. NE: 6	36-60	-	0,4	Doméstico
ME-322 (2005)	378230	285942	50	0-47: Serie de capas de tobas de variedad de colores grises rojas, café, amarillentas, intercaladas. 47-50: Tobas grisáceo azuladas.	Se presenta condiciones regulares hidrogeológicas. NE:10	14-50	-	2	Doméstico
ME-328 (2005)	372370	288190	54	0-15: Tobas arcilloso color café a crema. Bloques andesíticos y vidrio volcánicos. 15-54: Tobas líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesíticos, vidrio volcánico.	Acuífero confinado. NE: 40 - ND: 44,05	39-54	2	2	Doméstico
ME-331 (2005)	372800	288250	55	0-12: Arcillas y bloques englobados, en una matriz cenicienta color café a blanco grisáceo. 12-55: Material heterogéneo- Tobas blancas Fm Liberia.	Buen acuífero semi confinado a libre, asociado a zona de fracturas en tobas. NE: 4 - ND: 25,4	18-49	1,68	1,68	Doméstico
ME-334 (2005)	379910	291620	100	0-12: Suelo arenoso. 12-74: Toba cuarzosa blanca, con muscovita. 74-100: Toba gris consolidada, Fm Bagaces	Pozo AyA. NE: 3	-	9,5	9,5	Abast. Público
ME-337 (2002)	375500	289400	124	0-3: Suelo tobáceo. 3-10: Toba semiconsolidada. 10-69: Ignimbrita consolidada. 69-70: Toba (lente) 70-94: Ignimbrita consolidada. 94-102: Toba inconsolidada, base ignimbrita. 102-104: Arcilla rojiza muy fina. 104-118: Ignimbrita negra con clastos de cuarzo, escoria (fiammez), líticos. Roca consolidada, de 111m en adelante la fm. aparece más fracturada.	Pozo AyA: La América I 06-14. Sustituido por el pozo La América III 16-04, debido a que el agua presenta elevadas concentraciones de elementos no deseados. NE: 1,48 - ND: 37,35	105-120	36	55,1	Abast. Público

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-338 (2006)	377450	294170	93	0-25: Ignimbrita blanca con cuarzo y plagioclasa. Fm Liberia. 25-51: Ignimbrita rosada con cuarzo y plagioclasa. Fm. Liberia. 51-59: Lava afanítica porfírica con matriz rosada y cristales de plagioclasa y piroxeno. 59-61: Lapilli anaranjado. 61-69: Ignimbrita gris cafezusa constituida por líticos en su mayoría. 69-70: Paleosuelo quemado. 70-80: Lava andesítica afríca negra. 80-82: Suelo quemado. 82-89: Ignimbrita café grisácea constituida por líticos en su mayoría. 89-91: Ceniza negra.	Pozo AyA. NE: 54,78 - ND: 63,44	51-60/ 72-81	1,5	1,5	Abast. Público
ME-339 (2007)	381348	294085	139	0-84: Tobas blancas 84-100: Paleosuelo rojizo 100-139: Tobas grises	Acuifero libre. NE: 72,8	83-91/97- 103/109- 115/121- 127/133- 139	-	-	Doméstico
ME-340 (2006)	373800	291110	90	0-8: Ignimbrita rosada constituida por escombros andesíticos-dacíticos, con plagioclasa dentro de matriz rosada. 8-24: Ignimbrita gris constituida por matriz arenosa y líticos volcánicos. 24-29: Paleosuelo marrón. 29-34: Ignimbrita café. 34-47: Ignimbrita escoreácea negra, constituida por vidrio y máficos con cristales de cuarzo aislados. 47-51: Toba lapillítica color marrón con cristales y fragmentos de líticos aislados. 51-56: Toba lapillítica café amarillento con mucho lítico. 56-59: Ignimbrita gris con mucho vidrio. 59-65: Ignimbrita café con fiammez mm y anfíboles alargados. 65-74: Ignimbrita gris con mucho vidrio. 74-88: Ignimbrita gris con fiammez mm y anfíboles alargados negros mm. 88-90: Ceniza gris negra muy arenosa.	Pozo AyA: Rodeito N° 16-32. En la prueba de bombeo con Q= 2l/s en 25 min el nivel descendió hasta 73,6 llegando casi hasta la colocación de la bomba. NE: 23,43 - ND: 73,6	39-45/ 57-63/ 75-84	2	2	Abast. Público
ME-342 (2007)	380214	285880	115	0-1: Suelo vegetal. 1-3: Suelo arenoso. 3-74: Tobas blancas. 74-83: Paleosuelo rojizo, arcilloso. 83-115: Tobas negras y grises.	Es un acuifero libre. NE: 5,8	95-115	-	2	Riego
ME-367 (2006)	378300	289620	60	0-6: Arcillas. 6-60: Roca piroclástica matriz pumítica, coloración claro rojiza a gris y crema. De alta dureza. En algunos tramos fracturados se identificó vidrio volcánico negro. La perm ap es alta y secundaria. Hay pequeños tramos rojizos, típicos de calcinación. Pertenecen a la Fm. Bagaces.	El acuifero productor es libre, se encuentra de 10 a 60m. NE: 10 - ND: 13 Prof (m) Nivel (m) 10 10 20 10 40 10 60 10	30-42/ 50-57	2	2	Turismo
ME-371 (2006)	376325	290880	80	0-5: Tobas color gris. 5-43: Tobas arenosas color blanco. 43-59: Tobas color café. 59-68: Tobas color blanco. 68-80: Tobas color rojizo.	Condiciones hidrogeológicas pobres a regulares. NE: 7 - ND: 32	18-80	5	5	Domést-riego
ME-372 (2006)	373690	291445	80	0-15: Tobas volcánicas de colores intercalados, gris, rojizo y café. 15-29: Capas de tobas volcánicas de color rojizo. 29-62: Capas de tobas color café. 62-34: Capas de tobas volcánicas color negro.	Buenas condiciones de permeabilidad generadas por las tobas, en especial a partir de los 30m. NE: 35 - ND: 40	36-84	6	6	Domést-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-375 (2007)	373906	288437	120	0-61: Toba blanca de la formación Liberia, matriz cenicienta, riolítica con alto contenido de cristales de cuarzo, biotita (mica). Perm ap moderada. 61-64: Contacto con la formación Bagaces y Liberia. Formación Bagaces. 64-80: Ignimbrita de color gris oscuro, fracturada, contiene clastos de lava, escoria, matriz cenicienta dura. Perm ap buena. 80-81: Paleosuelo rojizo arcillo arenoso. Sello. 81-95: Ignimbrita de color gris, dura y secciones de lava vesicular, mucha fracturación. Perm ap buena. 95-97: Paleosuelo arcilloso, rojizo, sello. 97-99: Lava gris oscuro, vesicular, fracturada. 99-104: Ignimbrita de color café, dura, fracturada. 104-120: Lava de color café o ignimbrita (dacita) muy fracturada, dura, cuarzo. Perm ap muy buena.	NE: 4,74 - ND: 11,57		16,6	16,6	Varios
ME-376 (2007)	381261	287187	60	0-18: Suelo arcilloso. 18-69: Materiales tobaceos 69-85: Brechas rojizas.	Acuífero libre. NE: 7,2 - ND: 55	49-85	1,8	1	Domés-riego
ME-377 (2007)	374350	288760	130	0-66: Toba blanca, fm Liberia, matriz cenicienta crema, arcillosa en algunos casos biotita, muchos cristales de cuarzo, pómez blanca. Perm ap moderada. 66-69: Ignimbrita gris oscuro, dura, matriz cenicienta gris, fracturada. 69-70: Toba rosada con mucha pómez. 70-88: Ignimbrita gris oscuro, dura, matriz cenicienta, escoria negra, vidrio volcánico, fracturada. Perm ap moderada. 88-89: Brecha lávica rojiza, arcillosa. Perm ap mala. Sello. 89-100: Lava gris oscuro, vesicular, dura. 100-108: Ignimbrita negra, dura, fracturada. 108-110: Brecha lávica, suelta, rojiza. 110-115: Lava gris a café, fracturada, dura. Perm ap buena. 115-120: Lava gris, dura, fracturada. Perm ap buena. 120-123: Ignimbrita rosada con mucha pómez. Perm ap buena. 123-130: Pómez rosada, liviana. Perm ap buena.	Prof (m) Nivel (m) 0-64m → 0 64-130 → 0,5	82-85/ 106-109/ 118-124	4,16	5	Comercial
ME-384 (2008)	381947	288420	120	0-40: Tobas cristalinas color gris claro, con minerales idiomórficos de cuarzo, cristal de roca, plagioclasas, biotitas y muscovitas; txt arenosa, con baja perm y porosidad ap. 40-60: Toba cristalina idem anterior pero con un poco de más finos en la matriz, tiene baja perm y porosidad ap. 60-70: Toba cristalina idem anterior pero hay acumulaciones de micas oxidadas, tiene moderada perm y porosidad ap. 70-72,5: Toba idem anterior, con fragmenos de lavas andesíticas que tienen txt afanítica porfírica, se observan cristales de plagioclasas y algunos máficos oxidados, perm ap media a baja. 72,5-83: Ignimbrita color blanco-rosado, con mucho contenido de cuarzo, pómez color rosado, cuarzo crital de roca, micas, txt de arena gruesa, es una roca liviana, mediana perm ap. 83-100: Toba lítica color café-marrón, txt de arena fina a limo, no se observan minerales, perm ap baja. 100-104: Toba lítica color café oscuro, perm ab baja. 104-110: Toba color café anaranjado, muy liviana, posible paleosuelo calcinado. 104-120: Lavas basálticas color negro, txt afanítica, es una roca muy dura y densa.	En general de regular a buena perm ap y mediana porosidad secundaria, a partir de los 50m la producción de agua en el pozo es buena para el uso requerido. El nivel apareció a los 12 m y se mantuvo pequeñas variaciones en el inicio de la prueba de bombeo. NE: 15 - ND: 60	66-72/ 78-84/ 90-96/ 102-108 /114-117	6,31	-	Doméstico-centro penal
ME-386 (2009)	373513	287077	148	0-9: Toba arcilloso color café a crema. Bloques andesíticos y vidrio volcánicos. 9-40: Tobas líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 40-55: Tobas líticas, gris matriz cenicienta, compacta poco líticos y vidrio volcánico. 55-98: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos pómez y vidrio volcánico, acuífero confinado. 98-100: Arcillas grises a negras muy plástica. 105-148: Tobas líticas densa, con matriz cenicienta gris fracturada entre los 100 a 148 m con alta perm ap.	Acuífero confinado surgente. NE: 60 - ND: 80,6 Prof (m) Nivel (m) 40 → 35 98 → 70 100 → 60 148 → 60,1	105-147,42	20	10	Domést-riego

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
ME-388 (2009)	381499	293722	165	0-1: Suelo orgánico. 1-48: Capas de tobas color gris. 48-75: Capas de tobas color blanco. 75-115: Capas de tobas color café oscuro. 115-135: Capas de tobas color vetado café y rojo. 135-152: Capas de tobas color negro. 152-165: Capas de tobas color vetado café y rojo.	Buenas condiciones hidrogeológicas, sobre todo a partir de encontrar las tobas color café a café rojizo. NE: 78 - ND: 118	80-165	8	15	Poblacional
ME-393 (2009)	375758	289215	125	0-1,5: Suelo limo arcilloso gris. 1,5-9: Toba arcilloso color café a crema. Bloques andesíticos y vidrio volcánico. 9-40: Tobas líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 40-55: Tobas líticas, gris cenicienta, compacta poco líticos y vidrio volcánico. 55-90: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos, pómez y vidrio volcánico, Acuífero confinado. 90-92: Arcillas grises a negra muy plásticas, paleosuelo. 92-130: Tobas líticas densa, con matriz cenicienta gris fracturada entre 100 a los 125 m, con alta perm ap.	Acuífero confinado. NE: 1,2 - ND:2 Prof (m) Nivel (m) 40 10 90 10 125 10 * Descripción litológica similar a ME-400	100-122	40	40	Abast Público
ME-398 (2010)	380510	287896	140	0-5: Arenas volcánicas finas con matriz cenicienta, perm mala. 5-65: Formación Liberia, constituido por tobas, cuarzos y piedra pómez. 65-80: División en las formaciones Liberia y Bagaces. 80-110: Fm Bagaces, se presenta muy densa, compacta, sana, con mucha fracturación y perm alta. 110-125: Lavas volcánicas, dureza media con cristales de sílice y fracturamiento. Perm alta. 125-140: Tobas ignimbríticas suaves. Perm alta.	NE: 5,1 - ND: 66 Prof (m) Nivel (m) 6,30 → 5,10	80-104/110-122/ 128-140	20	15	Abast Público
ME-400 (2011)	372980	286215	140	0-4: Toba arcilloso color café a crema, bloques andesíticos y vidrio volcánico. 4-35: Tobas líticas, blancas con matriz cenicienta, cantos líticos andesítico, vidrio volcánico. 35-50: Tobas líticas, gris, matriz cenicienta, compacta poco líticos y vidrio volcánico. 50-90: Toba gris fracturada a compacta con cantos líticos pómez y vidrio volcánico, Acuífero confinado. 90-95: Arcillas grises a negras muy plásticas. 95-140: Tobas líticas densa, con matriz cenicienta gris fracturada entre los 100 a los 148m con alta perm ap.	NE: 73,08 - ND: 100,7 Prof (m) Nivel (m) 60 → 60 150 → 73,05	105-140	30	10	Doméstico
ME-404 (2012)	373708	290765	67	0-2: Suelo franco-arcillosos. 2-37: Toba lítica gris blancuzca con minerales de baja permeabilidad. 37-58: Toba café claro con fragmentos líticos bien cementados. 58-67: Toba gris con mediana permeabilidad	NE: 43,9 - ND:60,25	55-67	1	1	Doméstico
ME-406 (2012)	379440	284800	85	-	NE: 13 - ND: 15,8	67-85	2	2	Agroindustrial
ME-407 (2012)	382346	284461	85	-	NE: 6,95 - ND: 19,1	65-85	2	-	Otros usos
ME-408 (2012)	380146	287147	85	-	NE: 6,06 - ND: 31,27 - 7,4	-	1,08	1	Doméstico
ME-409 (2013)	375336	294249	42	0-0,5: Suelo franco-arc-limoso. 0,5-30: Toba gris blanca. 30-42: Toba gris amarillenta.	NE: 8 - ND: 10,63	30-42	1,8	5	Riego, potrero y doméstico
ME-415 (2013)	380035	288906	118	0-2: Suelo orgánico color café. 2-30: Flujo tobáceo color café claro, presencia de cuarzo, pómez biotitas alteradas. 30-67: Tobas blancas con biotitas, cuarzo, consolidadas. 67-82: Toba blanca meteorizada con contenido arcilla. 82-86: Areniscas vulcanoclásticas color gris oscuro, biotitas meteorizadas. 86-92: Idem anterior con menos cantidad biotitas alteradas. 92-94: Tobas color café claro consolidados, cuarzo, sílice y biotitas sanas. 94-95: Idem anterior con menor cantidad de sílice. 95-100: Idem anterior, mucha presencia de biotitas alteradas, clastos rojos. 100-110: Tobas color café claro con clastos y presencia de sílice. 110-113: Tobas color café con clastos líticos, presencia cuarzo. 113-117: Material vulcanoclástico color negro con clastos subredondeados color rojos y	NE:12	94-115	-	20	Abast. Público

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
				color café oscuro. 118m: a esta profundidad parece una arcilla de plasticidad alta color café oscuro.					
ME-416 (2013)	377992	289713	70	-	Dada la prof del pozo y ubicación de la rejilla, es posible que capte parte del acuífero Bagaces. NE:12 - T:7,29	52-70	3	3	Otros usos
ME-418 (2015)	381261	288005	78	0-1: Suelo orgánico. PA baja. 1-68: Fm Liberia. Alternan tobas blancas y otras pardo, con texturas arenosas finas a limo arenosas en algunos tramos, con biotitas, cuarzo y fragmentos líticos. PA baja. 68-70: Paleosuelo limoso rojizo. PA muy baja. 70-78: Ignimbrita gris con fragmentos heterogéneos, como escorias y lavas. PA alta.	Aporte de agua aparece debajo de los 70. El acuífero muestra confinamiento. NE: 12,04 - ND: 66,6 Prof (m) Nivel (m) 78 12	60-78	6	1	Doméstico
ME-420 (2015)	380483	290196	140	0-95: Toba blanca: de color blanco grisáceo y alto contenido de sílice, pómez, cuarzo y biotita. Muy porosa, relativamente suave a la perforación y con alta permeabilidad ap. Se trata de la Fm Liberia. 95-103: Similar a tramo anterior, sólo que con mucho mayor contenido de cuarzo redondeado. 103-111: Constituida por peq fragmentos líticos, pómez, sílice, hornblenda y biotita, bien soldados en una matriz fina de color café claro. Sana, con moderada dureza y baja perm. 111-140: Color gris cafesusco, con menos pómez, cuarzo y biotita. Muy porosa y con alta perm. Puede corresponder con la Fm Bagaces.	Nivel apareció a 23,81 y así se mantuvo hasta el final. NE:23,81 - ND: 76,18 T: 48	52-110/122-134	17,8	10	Riego
ME-422 (2016)	380944	289711	120	0-89: Toba blanca grisáceo con alto contenido de sílice, pómez, cuarzo y biotita. Muy porosa, relativamente suave a la perforación y con alta permeabilidad aparente. Se trata de la Formación Liberia. 89-97: Similar a tramo anterior, sólo que con mucho mayor contenido de cuarzo redondeado. Con alta porosidad y permeabilidad aparente. 97-120: Toba café, constituida por pequeños fragmentos líticos, pómez, sílice, hornblenda y biotita, bien soldados en una matriz fina de color café claro. Sana, con moderada dureza y permeabilidad aparente. Se trata muy posiblemente de la parte superior de la Formación Bagaces.	Nivel apareció a 29,34m y ahí se mantuvo hasta el final.	30-90 y 102-114	25	10	Riego
ILG-127	366150	285325	45	0-1: Suelo 1-18: Tobas blancas 18-45: Toba gris	NE: 28,1 - ND: 23,55	≈ 23-45	0,4	-	Doméstico
ILG-128	363670	279630	45	0-18: Arenas medias 18-20: Lente arcilloso 20-30: Arenas gruesas 30-45: Arcillas	Amnistía 2002. NE: 13,43 - ND: 23,55	≈ 22-45	1	-	Doméstico
ILG-129	363670	278750	30	0-18: Arenas medias 18-20: Lente arcilloso 20-30: Arenas gruesas	Amnistía 2002. NE: 13,65 - ND: 23,15	18-30	0,8 l/s	-	Doméstico
ILG-130	364620	280225	36	0-24,5: Arenas medias a finas 24,5-25,5: Lente arcilloso 25,5-36: Arenas gruesas	Amnistía 2002. NE: 13,05 - ND: 21,9	≈ 17-36	0,5	-	Doméstico
ILG-973	373165	288210	45	0-1: Suelo 1-18: Tobas blancas 18-45: Toba gris	Amnistía 2002. NE: 28,6 - ND: 35,2	≈ 23-45	0,54	-	Doméstico
INV-19 (2011)	380300	287200	114	0-84: Formación Liberia. 84-95: Arcilla rojiza (paleosuelo) 95-97: Arcilla negra 97-114: Formación Bagaces	Pozo AyA.	69-78 / 96-108	-	-	-
INV-128 (2008)	373750	291025	138	0-90: Formación Liberia. 90-138: Formación Bagaces.	Pozo AyA: Rodeito N°2 08-11.	-	-	-	Abast. Público
INV-168 (2012)	362914	283114	48	0-48: Arcillas plásticas	Pozo AyA: Guardia 12-16. NE: 9,89 - ND: 11,82	21-33	9	9	Abast. Público
INV-176 (2013)	375192	293941	105	0-60: Formación Liberia 60-105: Formación Bagaces	Pozo AyA. NE: 20,48 - ND: 59,05	69-78 / 90-99	6	-	-
INV-359	369797	288076	90	Descripción litológica es geología superficial del mapa geológico de CR	NE: 48,8 - ND: 51,25.		5	-	-

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
16-19 (2016)	375277	288673	163	0-84: Formación Liberia. 84-87: Zona de transición, zona meteorizada. 87-163: Formación Bagaces	Pozo AyA: Hermanas Viales 16-19.	110,5-116/ 121,5-127/ 132,5-143,5/14 9-154,5	-	-	Abast. Público
98-23 (1998)	375277	288673	160	0-10: Material arcilloso de coloración café, con poca estabilidad. 12-125: Tobas asociadas a la Formación Liberia. Material de coloración blancuzca, consolidado. 125-128: Zona de transición entre la Formación Liberia y Formación Bagaces. 128-160: Materiales asociados a la Formación Bagaces.	Pozo AyA: Hermanas Viales 98-23. El sustituido por el pozo 16-19 por problemas de sedimentación y pérdida del caudal de explotación.	136-154	-	-	Abast. Público
13-23 (2013)	375428	289344	130	0-82: Formación Liberia. 82-120: Formación Bagaces.	Pozo AyA: La América II 13-23.	97-115/121-127	-	-	Abast. Público
16-04 (2016)	375432	289352	130	0-84: Formación Liberia. 84-137: Formación Bagaces	Pozo AyA: La América III 16-04. Sustituye al pozo La América I 06-14 (ME-337). NE: 3,26 - ND: 33,89	99,5-116/ 121,5-127	91	107	Abast. Público
06-13 (2006)	377610	289560	112	0-69: Toba color gris claro con granos de cuarzo y mica, Formación Liberia (ignimbrita). 69-71: Arcilla color rosada, algo arenosa. 71-77: Arcilla color rojo quemado, se asocia a un paleosuelo. 77-92: Toba gruesa, color café oscuro. 92-95: Arcilla color rojizo. 95-102: Toba color negro rojizo con piriboles, Formación Bagaces (ignimbrita).	Pozo AyA: Liberia Capulín 06-13. NE: 15,24 - ND: 46,3	88-100	7,5	11,04	Abast. Público
07-17 (2007)	361131	280615	42	0-4: Suelo arenoso café claro. 4-9: Arcilla arenosa altamente plástica. 9-14: Arcilla plástica con fragmentos. 14-16: Arena media negra (mucho magnetita). 16-18: Arena gruesa negra (mucho magnetita). 18-19: Arena arcillosa café claro. 19-21: Arena gruesa café grisáceo. 21-22: Arcilla plástica café claro. 22-27: Arena gruesa café-gris verdoso. 27-32: Arcilla plástica café rojizo con fragmentos. 32-33: Arcilla plástica café claro grisacea. 35-41: Arcilla con fragmentos y arena. 41-42: Arcilla plástica café.	Pozo AyA: Guardia 07-17. NE: 2,9 - ND: 14,88	21-27/ 33-36	15	19,03	Abast. Público
13-31 (2013)	362578	281777	31	0-6: Arcilla. 6-28: Aluvión medio. 28-36: Arcilla negra de plasticidad alta.	Pozo AyA: Guardia 13-31. Sustitución del pozo guardia n°2. NE: 15 -ND: 16,49	16-25	7	8,45	Abast. Público
16-09 (2016)	377258	290935	147	0-69: Tobas blancuzcas asociadas a la Fm. Liberia, fácilmente se evidencia a un alto % de vidrio volcánico y micas. 69-81: Toba café. 81-108: Lava brechosa negras, presencia de pátinas de óxidos de Fe. Porosidad primaria destacable. 108-116: Lava densa negra. 116-118: Lava brechosa negra. 118-124: Lava densa. 124-142: Lava fracturada (porosidad secundaria destacable).	Pozo AyA: Rodeito I-2016. Acuífero captado es confinado en materiales asociados a la Fm. Bagaces.	-	-	-	Abast. Público

N° Pozo (año)	X (Este)	Y (Norte)	Prof.(m)	Litología (m)	1. Detalles de expediente 2. NE (m) - ND (m)	Rejilla(m)	Q prueba bombeo (L/s)	Q solicitado (L/s)	Uso
01-20 (2001)	374800	288600	118	0-20: Tobs grisáceas, con alto contenido de micas. 20-30: Tobs grisáceas deleznales, con alto contenido de micas. 30-40: Tobs grisáceas con alto contenido de micas. 40-60: Tobs con alto contenido de micas. 60-63: Arena volcánica, con alto contenido de cuarzo y micas. 63-66: Tobs color café, no se notan micas. 66-69: Brecha volcánica (paleosuelo). 69-72: Toba café. 72-75: Lavas negras, se observan cristales. 75-78: Tobs negras. 78-81: Tobs calcinado paleosuelo. 81-84: Lavas con contenido de cuarzo. 84-87: Tobs negras. 87-90: Lavas negras 90-93: Lavas con alto contenido de cuarzo. 93-99: Lavas. 99-102: Lavas grisáceas. 105-108: Tobs cafés. 108-111: Tobs. 111-114: Lava negras vesiculares. 114-117: Fragmentos de lava, cuarzo. 117-120: Fragmentos de lava, vesicular con plagioclasas alteradas.	Pozo AyA. Surgente. ND: 25	96-114	50	-	Abast. Público

Piezómetros

N° Piez.	Litología (m)	NE (m)		Rejilla (m)
CN-716 o 6-CN (2014)	0-36,6: Intercalaciones de arenas de grano medio y finas de color café poco consolidados, que se vuelven cada vez más finas (gradación negativa) hasta limos arcillosos de color café oscuro, además presentan algunos lentes muy escasos de caolinita. 36,60-42,6: Aluvión compuesto principalmente por arenas limosas con gravas y bloques andesíticos y basálticos de diversos tamaños que van desde 1 cm hasta 20 cm, algunos bloques se observan muy porosos. 42,6-47,1: Arenas y limos color café, con algunas gravas las cuales están compuestas por andesitas y basaltos principalmente. 47,1-62,6: Aluvión con clastos subangulares y subredondeados de composición andesítica y basáltica, se observa además presencia de olivinos en algunos de los bloques basálticos. 62,6 – 66,6: Tobsas color café. 66,6 – 87,6: Aluvión formado por bloques, cantos rodados y guijarros de composición andesítica y basáltica subangulares a redondeados de tamaños variados que pueden ir desde 1 cm hasta los 60 cm. 87,6 – 98,1: Toba color café brechosa con clastos líticos andesíticos, vidrio, pómez, lapilli y algunos cristales de plagioclasa. Los líticos presentes son principalmente de 5 cm. 98,1-102,1: Ignimbrita con pómez de hasta 10 cm, clastos angulares, pómez y ceniza con color gris-morado.	Prof (m) 5,6 → 16,6 → 30,6 → 54,25 → 58,25 → 69,60 → 77,10 → 92,10 → 102 → 102 →	Nivel (m) - - 18,75 18,70 18,65 18,60 18,35 - 16,55 16,30	22,70-25,75 / 34,90-41 /53,20-62,35 / 68,45 - 83,70 / 92,85-98,95
CN-720 o 1-CN (2014)	0-32,3: Tobsas desde arcillosas hasta lapillíticas y densas bien soldadas conformadas por fragmentos de pómez y/o clastos líticos flotantes en una matriz de color café rojiza. 32,3-45,7: Ignimbrita compuesta por fiamenz y líticos aplastados flotantes en matriz gris vidriosa. 45,7-62,2: Toba lapillítica compuesta por litoclastos en una matriz color rojiza. 62,2-67,45: Ignimbritas con color gris moraduzco - rosaduzco con fiamenz negros y critales de plagioclasa. 67,45-68,7: Toba lapillítica color café rojizo. 68,7-103,75: Lavas andesíticas compuestas por una matriz color gris con alta vesicularidad y cristales de plagioclasa. 103,75-109,15: Ignimbritas color gris moderadamente soldadas. 109,15-120: Tobsas brechosas. 120-123: Brechas volcánicas. 123-134,2: Arenas silíceas de grano medio moderadamente compactadas. 134,2-147,55: Toba lapillítica color gris. 147,55-150: Tobsas lapillíticas color rosado.	Prof (m) 26,20 → 39,70 → 65,20 → 95,90 → 120,00 → 144,60 → 150,00 →	Nivel (m) 20,90 21,95 21,90 21,00 21,00 21,00 21,00	24,95-28/ 52,4-58,5 / 67,65-101,62/ 107,3- 110,35/ 122,55- 131,7/137,8- 140,85/143,9-146,95
CU-66 o 18-CU (2014)	0-8,10: Aluvión grueso compuesto por bloques decimétricos de composición andesítica envueltos en matriz arcillo arenosa café a marrón rojizo y anaranjaduzca. 8,10-30,6: Ignimbritas color café a gris moraduzco con líticos subredondeados desde centimétricos hasta milimétricos, escoréáceos, pumiceos y no diferenciados, con vesículas. 30,6-33,6: Toba lapillítica pumítica con pocos líticos, matriz fina, muchas fracturas horizontales y transicionando a ignimbritas. 33,6- 62,1: Ignimbritas gris a gris moraduzcas, con líticos subredondeados desde centimétricos hasta milimétricos, escoréáceos, pumiceos y no diferenciados, con vesículas. 62,1 – 109: Ignimbrita gris claro desde arenitizada hasta muy soldada.	Prof (m) 6,60 → 15,6 → 33,10 → 50,10 → 65,10 → 80,00 → 98,10 → 108,40 → 109,00 → 109,00 → 109,00 →	Nivel (m) 5,50 5,56 3,20 2,95 2,95 3,02 2,95 9,60 5,36 5,65 5,58	5,30 – 8,35 / 20,55- 26,65 / 38,85-41,90 / 44,95-51,05 / 63,25 – 66,30/ 72,40 -75,45 / 84,60 – 93,75/ 96,80- 105,95
ME-412 o 4-ME (2014)	0-44,34: Toba lapillítica fina, color gris blancuzco, bien soldada, con biotitas, feldespatos y cuarzo; además se observa pómez aisladas de tamaño milimétrico y centimétrico. 44,3-56,34: Toba lapillítica color gris rosaduzco con pómez, presencia de cuarzo, biotitas poco observables, muy vesiculares y se observan zonas de minerales oxidados y líticos aislados. 56,34-61,34: Toba gris hasta café. 61,34-69,84: Ignimbritas color gris con fiamenz alargados color naranja y muchos líticos. 69,34-72,09: Toba arenitizada por meteorización. 72,09-77,34: Toba café hasta moraduzco con lapilli acrecional. 77,34-90,84: Toba lapillítica con matriz gris a moraduzco, con clastos y fiamenz escoréáceo. 90,84 – 140,34: Lavas andesíticas gris oscuro muy vesiculares con plagioclasas milimétricas, de extremadamente fracturadas hasta muy sanas. 140,34-152,34: Ignimbritas color gris a moraduzco con líticos principalmente andesíticos vesiculares centimétricos y líticos anaranjados indiferenciados y negros de obsidiana.	Prof (m) 15,84 → 35,34 → 53,84 → 71,34 → 84,84 → 89,34 → 89,34 → 102,00 → 113,34 → 116,34 → 122,34 → 122,34 → 122,34 → 131,84 → 141,84 → 152,34 →	Nivel (m) 6,20 6,00 8,00 7,00 15,40 13,10 13,00 18,80 18,80 15,10 18,75 18,70 18,40 19,21 19,00 19,00	17,80-23,90 /26,95- 33,05/ 36,10-42,20 / 45,25-48,30 / 57,45- 60,50 / 75,75 – 78,80 / 81,85 – 84,90 / 87,95 – 94,05 / 103,20 – 109,30 / 115,40 – 121,50 / 124,55- 130,65 / 133,70 – 136,75 / 139,80- 142,85
ME-413 o 5-ME (2014)	0-12,84: Toba lapillíticas con cuarzo y biotita muy blandas color gris a beige. 12,84-29,34: Tobsas lapillíticas con líticos color café anaranjado escoréáceos y líticos negros y fiamenz de obsidiana. 29,34-45,34: Lavas andesíticas gris oscuro muy vesiculares, moderadamente fracturadas. 45,34-62,84: Lavas andesíticas gris claro con laminación y bandeamiento, muy densas y con alta cantidad de plagioclasas, levemente fracturadas. 62,34-78,84: Lavas andesíticas gris oscuro extremadamente vesiculares, y fuertemente fracturadas. 78,84-95,34: Ignimbritas gris moraduzco muy soldadas con líticos centimétricos y con fragmentos escoréáceos muy oxidados. 95,34-98,34: Tobsas lapillíticas muy deleznable con líticos aislados y colores que varían de grises a rosados y blancuzcos. 98,34-111,84: Ignimbritas con muchos fragmentos escoréáceos. 111,84-126,84: Tobsas medias y gruesas con intercalaciones de tobas finas. 126,84-140,34: Ignimbritas con líticos escoréáceos. 140,34-149,34: Tobsas finas hasta gruesas. 149,34-151,34: Aluvión (arenas medias no consolidadas con grava).	Prof (m) 12,34 → 23,34 → 29,30 → 41,34 → 44,34 → 56,34 → 63,00 → 83,34 → 89,34 → 89,34 → 89,34 → 101,34 → 117,34 → 132,84 → 140,34 → 152,34 →	Nivel (m) - 15,83 15,83 15,77 15,80 15,67 14,02 15,73 15,75 15,80 15,81 15,88 21,10 19,67 18,73 17,80	17,65 -26,80 / 35,95- 45,10 / 51,55 - 57,60 / 66,45 – 78,65 / 90,85 – 96,95 / 112,20 – 118,30 / 121,35- 127,45 / 130,5 – 133,55 / 139,65 – 142,70 / 145,75 – 148,8

N° Piez.	Litología (m)	NE (m)		Rejilla (m)
		Prof (m)	Nivel (m)	
ME-417 o 19-ME (2014)	0-87,6: Tobs lapilíticas color gris blancuzco con alto contenido de cuarzo y biotitas, desde muy soldadas hasta meteorizadas. 87,6-96,6: Tobs finas grises a café claro rodasuzcas. 96,6-104,1: Tobs lapilíticas a cenizas negras. 104,1- 117,6: Tobs finas hasta lapilíticas gris oscuro a negras. 117,60 – 126,6: Ignimbritas muy fracturadas, con fracturas horizontales, fiamez blancuzcos, líticos de colores negros, blancuzcos y café rojizos. 126,6 – 129,6: Tobs lapilíticas muy fracturadas. 129,6- 132,6: Lavas andesíticas. 132,6 – 139,6: Tobs lapilíticas. 139,6 – 150: Ignimbritas color café con fiamez negros de obsidiana muy frecuentes.	6,60	→ -	
		23,10	→ 7,53	11,50 – 14,55 / 17,60 –
		41,10	→ 7,48	20,65 / 23,70 – 26,75
		69,60	→ 7,60	/29,80 – 32,85 / 35,90 –
		75,60	→ 7,54	38,95 / 42,00 – 45,05 /
		75,60	→ 7,53	48,10 – 51,15 / 54,20 –
		81,60	→ 7,57	57,25 / 60,30 – 63,35 /
		99,60	→ 7,61	66,40 – 69,45 / 72,50 –
		108,60	→ 7,63	75,55 / 78,60 – 81,65 /
		117,60	→ 7,65	84,70 – 87,75 / 96,90 –
		129,60	→ 7,63	99,95 / 118,25 – 121,30
		150,00	→ 8,80	/ 127,40 – 130,45 /
		150,00	→ 8,16	145,70 – 148,75.
		150,00	→ 8,08	

Anexo B: Datos meteorológicos

Estación meteorológica Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quirós (7451)

Latitud: 10°35'20" N

Longitud: 85°33' 07" O

Altitud: 80 msnm

Elemento	Períodos		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom	Total
Lluvia	1999	2015	1,5	1,7	2,6	36,1	179,5	175,9	124	204,8	371,6	333,9	98,7	7,2	128,1	1537,4
Lluvia	2012		0,0	0,0	0,5	140,5	165,1	175,7	21,6	195,0	266,6	176,4	17,8	0,8	96,7	1160,0
Lluvia	2013		6,4	0,0	1,5	0,0	215,6	215,8	101,3	230,1	239,5	275,0	87,6	1,5	114,5	1670,8
Tem. máx	1999	2015	33,4	34,3	35,3	35,9	34	32,1	32,4	32,6	31,4	30,9	31,5	32,6	33	
Tem. mín	1999	2015	21	21,2	21,4	22,6	23,3	23,2	22,9	22,7	22,5	22,4	21,4	21	22,1	
Tem. med	1999	2015	27,2	27,7	28,4	29,2	28,6	27,7	27,7	27,6	26,9	26,6	26,5	26,8	27,6	
Humedad	1999	2015	60,8	56,4	54,5	57,6	72,2	81,2	77,8	80,9	86,8	87,4	79,2	68,6	71,9	
Viento vel.	1999	2015	19,7	21,5	20	16,3	10,9	9,3	10,9	9	7	7,1	9	13,5	12,8	
Radiación	1999	2015	17,6	19,5	20,4	20,6	16,6	15,3	15,7	16,7	16,3	15	15,9	16,4	17,2	
Presión	1998	2016	1001,2	1000,9	1000,6	1000,6	1000,9	1001	1001,3	1001,2	1001,3	1001,1	1000,8	1001,1	1001	
Viento dir. predom			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
Prom. días con lluvia >0,1 mm			1	1	1	3	13	15	14	19	23	23	11	2	Total=	127

Lluvia en mm 1mm= 1 litro de agua por m2. Radiación solar global en Megajulios (MJ/m²). Temperatura en grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad relativa en porcentaje (%). Viento dir. Predom: 1 Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Suroeste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 9 Noreste, 9 Variable. Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

Estación meteorológica Llano Grande (7420)

Latitud: 10°35'54,08" N
 Longitud: 85°32' 23,21" O
 Altitud: 70 msnm

Elemento	Períodos		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom	Total
Lluvia	1975	2014	1,2	1,3	5,2	27	210,4	245,5	154,2	226,3	369,5	316,1	103	11,1	139,2	1670,8
Tem. máx	1976	2012	33,3	34,4	35,4	35,9	34	32	32,1	32,1	31,3	30,9	31,6	32,5	33	
Tem. mín	1976	2012	20,7	21,2	21,6	22,6	23,4	23,1	22,8	22,6	22,4	22,3	21,5	21	22,1	
Tem. med	1976	2012	27	27,8	28,5	29,3	28,7	27,6	27,5	27,4	26,8	26,6	26,5	26,8	27,5	
Humedad	1976	2012	66	63,1	61,1	62,3	73,1	81,9	78,7	80,9	85,5	86,1	80,5	72,3	74,3	
Viento vel.	1976	2004	17,6	19,8	18	15,3	10	7,6	9,9	8,5	6,4	6,2	7,9	13,1	11,7	
Presión	1976	2010	1001,2	1000,8	1000,6	1000,4	1000,5	1001,1	1001,2	1001,2	1001,1	1001	1000,7	1001	1000,9	
Brillo solar	1976	2014	9,6	9,8	9,6	8,7	6,6	5,6	6	5,9	5,4	5,5	6,8	8,3	7,3	
Radiación	1976	2004	16,5	18,6	18,6	18,2	16,6	15,2	15,9	15,6	14,6	13,8	14	14,7	16	
Evaporación tanque	1976	1995	9,2	10,3	9,8	9,6	7,4	5,1	6	5,6	4,9	4,5	5	7	7	
Viento dir. predom			3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
Prom. días con lluvia >0,1 mm			0	0	1	3	13	18	15	17	22	21	10	3	Total=	123,5

Lluvia en mm 1mm= 1 litro de agua por m². Radiación solar global en Megajulios (MJ/m²). Temperatura en grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad relativa en porcentaje (%). Viento dir. Predom: 1 Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Suroeste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 9 Noreste, 9 Variable. Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

Anexo C: Análisis de suelos

Tomado de Vargas et al. (2015)

CÓDIGO	GT-TEM-01	GT-TEM-02	GT-TEM-04	GT-TEM-05	GT-TEM-06	GT-TEM-07	GT-TEM-18	GT-TEM-19	GT-TEM-20	GT-TEM-21	GT-TEM-22
NORTE	289365	291169	285565	279405	290485	278320	289261	290367	288141	290743	285522
ESTE	366582	381556	374727	378815	363906	360634	382407	378628	378054	374017	366239
NOMBRE DEL GRUPO	Arena-Arcillosa	Arena limo-arcillosa	Arcilla limosa	Arcilla-ligera_arenosa	Limo arcilloso	Arena Arcillosa	Arena Limosa	Limo-arenoso	Limo-elástico_arenoso	Arcilla-ligera_arenosa	Arcilla-ligera_arenosa
CLAS. SUCS	SC	CL-ML	CL	CL	ML	SC	SM	ML	MH	CL	CL
GRAVEDAD ESPECÍFICA	2,58	2,5	2,57	2,43	2,72	2,56	2,55	2,43	2,51	2,5	2,33
PESO UNITARIO SECO (G/ML)	1,4	1,3	1	1,7	1,3	1,3	1,7	1,1	1,1	1,6	1,7
PESO UNITARIO HÚMEDO (G/ML)	1,5	1,4	1,2	2,1	1,6	1,7	1,8	1,3	1,2	2	2
HUMEDAD (%)	8,9	4,9	13,2	21,4	23,8	29	10,6	17,1	7,4	25,9	13,4
DENSIDAD APARENTE	1,4	1,3	1	1,7	1,3	1,3	1,7	1,1	1,1	1,6	1,7
POROSIDAD TOTAL (%)	30,8	25,9	37,6	18,5	31,6	34,1	20,6	34,5	41,1	20,8	20,2
RETENCIÓN ESPECÍFICA (%)	28,6	23,3	31,5	15,9	29,9	31,9	18,7	33,3	37,8	19,2	17,2
POROSIDAD EFECTIVA (%)	2,2	2,6	6,1	2,6	1,7	2,2	1,9	1,2	3,3	1,6	3
DENSIDAD REAL (%)	2	1,8	1,7	2,1	1,9	2	2,1	1,7	1,9	2	2,2
SATURACIÓN (%)	41,1	25,8	37,1	201,2	99,9	114,5	86	57	20,7	202,1	117,5
PROFUNDIDAD DE RAÍCES (CM)	20	5	5	10	5	5	30	5	5	20	5
CAPACIDAD DE CAMPO	30,74	24,06	31,78	41,89	37,64	40,32	36,59	39,75	39,41	41,04	40,81
PUNTO DE MARCHITEZ	20,65	17,39	21,87	20,35	19,76	21,53	19,97	21,66	21,64	22,91	22,04
CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA (M/DÍA)	0,301	0,702	3,231	0,25	1,419	0,098	5,294	0,673	0,669	3,795	0,167
COND HIDRAULICA (MM/DIA)	301	702	3231	250	1419	98	5294	673	669	3795	167
CLASIF. CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA	Baja	Moderada	Muy alta	Baja	Alta	Muy baja	Extrema	Baja	Moderada	Muy alta	Muy baja

CÓDIGO	GT-TEM-23	GT-TEM-26	GT-TEM-27	GT-TEM-28	GT-TEM-29	GT-TEM-46	GT-TEM-47	GT-TEM-49	GT-TEM-50
NORTE	287295	282512	282498	280906	278039	279335	283391	292146	292231
ESTE	370692	379325	383919	387456	383035	363672	361249	363231	372577
NOMBRE DEL GRUPO	Arcilla-densa_arenosa	Limo-arcilloso	Arena-Limosa	Limo-elástico_arenoso	Limo-arcilloso	Arena-Arcillosa	Arena-Arcillosa	Limo-elástico_con_arena	Limo-elástico_arenoso
CLAS. SUCS	CH	ML	SM	MH	ML	SC	SC	MH	MH
GRAVEDAD ESPECÍFICA	2,76	2,55	2,48	2,48	2,41	2,7	2,65	2,51	2,45
PESO UNITARIO SECO (G/ML)	1,2	1,38	1,02	0,94	1,19	1,63	1,37	1,34	1,08
PESO UNITARIO HÚMEDO (G/ML)	1,6	1,66	1,2	1,21	1,5	1,93	1,62	1,62	1,43
HUMEDAD (%)	33,8	19,7	17,9	28,4	25,4	18,3	18,1	20,9	33,2
DENSIDAD APARENTE	1,2	1,38	1,02	0,94	1,19	1,63	1,37	1,34	1,08
POROSIDAD TOTAL (%)	34,9	20,83	45,81	49,54	35,64	23,05	35,03	25,87	37,45
RETENCIÓN ESPECÍFICA (%)	33,5	20,1	29,59	34,77	33,68	22,55	28,89	24,93	37
POROSIDAD EFECTIVA (%)	1,5	0,73	16,23	14,77	1,96	0,5	6,14	0,94	0,45
DENSIDAD REAL (%)	1,8	1,75	1,89	1,87	1,86	2,12	2,12	1,81	1,72
SATURACIÓN (%)	117,1	131,9	40,3	54,6	86,1	130	71,69	109,5	96,4
PROFUNDIDAD DE RAÍCES (CM)	5	10	5	15	10	5	20	60	5
CAPACIDAD DE CAMPO	41,04	39,08	32,06	29,62	37,91	30,62	34,67	23,91	22,05
PUNTO DE MARCHITEZ	22,09	20,89	20,36	20,31	20,49	20,34	20,84	16,48	16,02
CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA (M/DÍA)	1,233	1,737	1,977	0,742	1,344	1,118	2,775	0,638	1,363
COND HIDRAULICA (MM/DIA)	1233	1737	1977	742	1344	1118	2775	638	1363
CLASIF. CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA	Alta	Alta	Alta	Moderada	Alta	Media	Muy alta	Moderada	Alta

Anexo D. Red de monitoreo de pozos del SENARA

Tipo	Pozo	Unidad captada	Latitud	Longitud	Elev. (m)	Brocal
E	111	L	291277	376321	118,98	0,3
E	109	L	291159	375357	110,00	0,7
E	107	L	291014	374331	110,00	1,11
P	88	?	288499	376850	125,14	0,45
P	86	?	289682	374624	110,00	0,15
P	82	?	288866	374754	110,20	0,4
E	112	L	287813	371829	104,19	0,4
P	69	B	290750	369275	60,00	0
P	68	B	291251	371212	62,22	0,45
P	57	B	285045	364536	49,60	0,1
E	9	B	281811	362908	23,42	0,65
E	13	L	284075	379418	125,04	0,55
P	17	?	285085	379373	128,13	0,54
E	25	L	284468	381199	130,00	0,54
E	45	L	288369	381469	145,58	0,8
E	22	L	285640	383223	133,13	0,85
P	101	?	284752	381147	130,00	0
Pz	CN-720	B	290337	366975	51,17	0,63
Pz	ME-412	B-L	286170	378100	130,00	0,58
Pz	ME-413	B-L	281556	379311	125,93	0,58
Pz	CN-716	AT	290478	363962	40,00	0,85
Pz	CU-66	B	295120	374279	101,59	0,85
Pz	ME-417	B-L	287277	382570	140,36	0,73

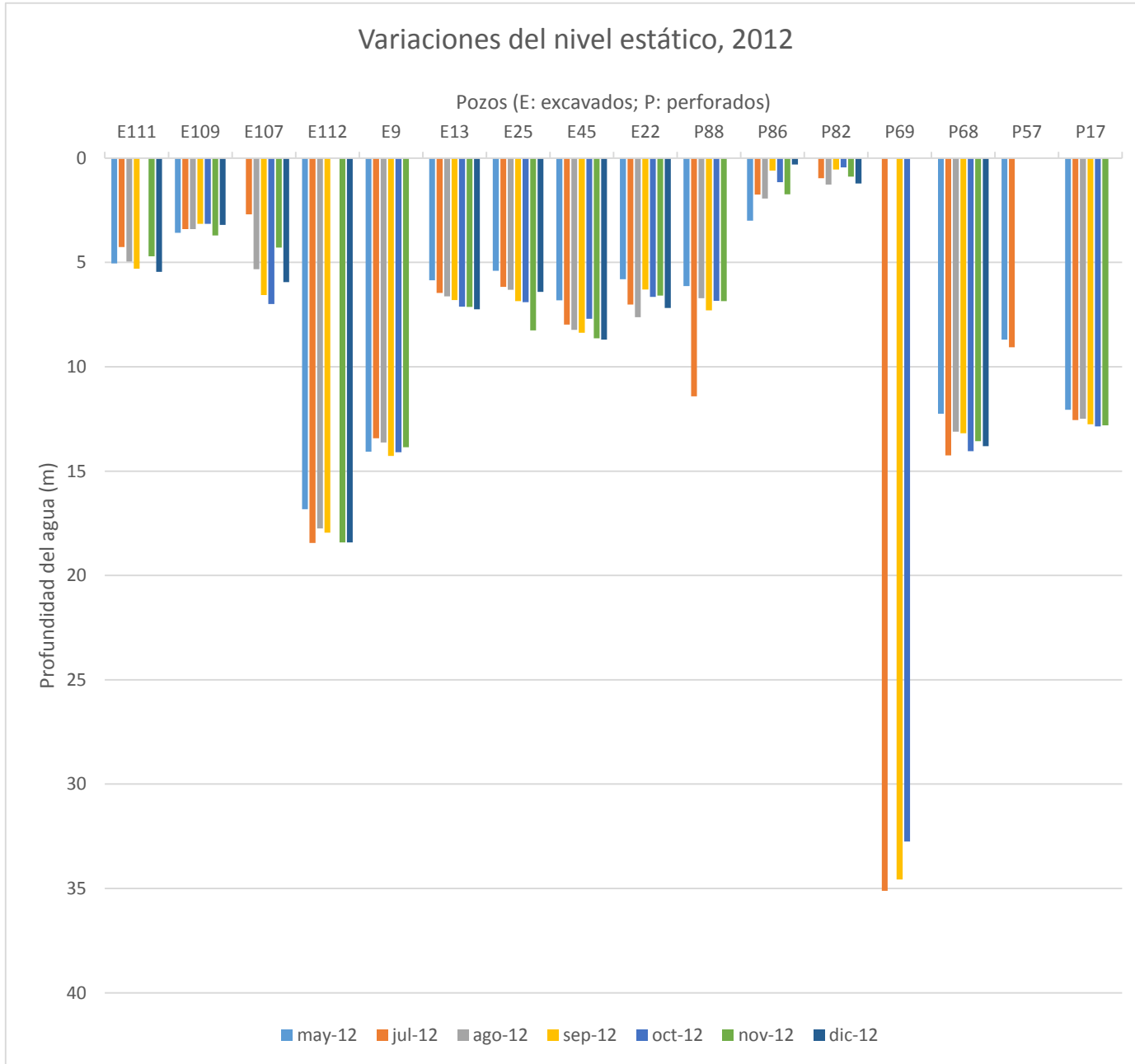
E: excavado; P: perforado; L: Liberia; B: Bagaces; AT: Aluvión Tempisque

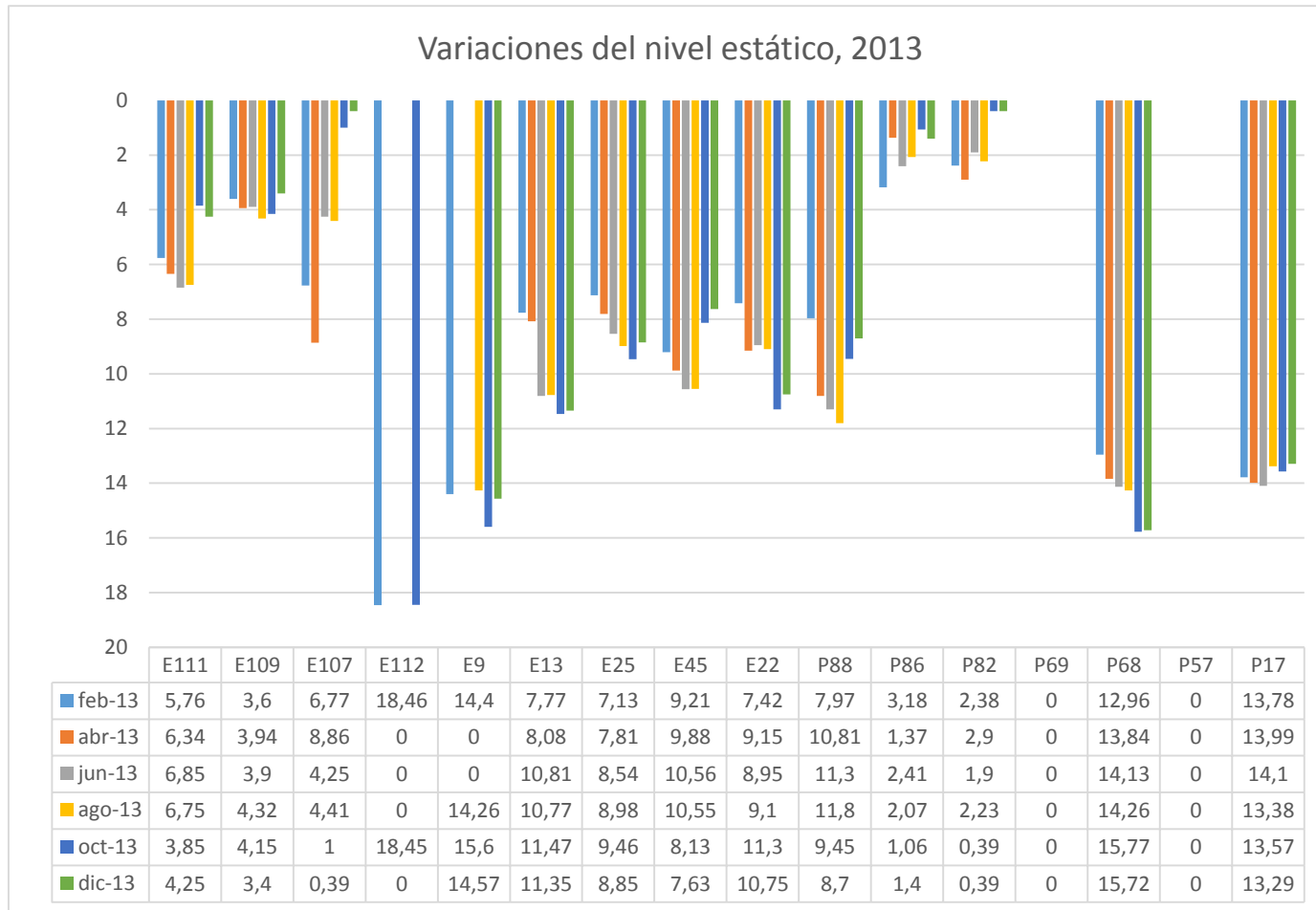
Pozo	may-12			jul-12			ago-12			sep-12			oct-12			nov-12			dic-12		
	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm
111	5,35	5,05	113,93	4,56	4,26	114,72	5,26	4,96	114,02	5,6	5,3	113,68	-	-	-	5	4,7	114,28	5,75	5,45	113,53
109	4,28	3,58	106,42	4,1	3,4	106,60	4,1	3,4	106,60	3,85	3,15	106,85	3,85	3,15	106,85	4,4	3,7	106,30	3,9	3,2	106,80
107	-	-	-	3,8	2,69	107,31	6,43	5,32	104,68	7,67	6,56	103,44	8,1	6,99	103,01	5,4	4,29	105,71	7,05	5,94	104,06
88	6,58	6,13	119,01	11,86	11,41	113,73	7,16	6,71	118,43	7,74	7,29	117,85	7,29	6,84	118,30	7,3	6,85	118,29	-	-	-
86	3,15	3	107,00	1,9	1,75	108,25	2,09	1,94	108,06	0,74	0,59	109,41	1,3	1,15	108,85	1,88	1,73	108,27	0,46	0,31	109,69
82	-	-	-	1,36	0,96	109,24	1,66	1,26	108,94	0,95	0,55	109,65	0,85	0,45	109,75	1,29	0,89	109,31	1,62	1,22	108,98
112	17,23	16,83	87,36	18,84	18,44	85,75	18,15	17,75	86,44	18,35	17,95	86,24	-	-	-	18,82	18,42	85,77	18,82	18,42	85,77
69	sec	seco	seco	35,11	35,11	24,89	ND=36,45	ND=36,45	ND=23,55	34,57	34,57	25,43	32,75	32,75	27,25	-	-	-	-	-	-
68	12,7	12,25	49,97	14,7	14,25	47,97	13,56	13,11	49,11	13,64	13,19	49,03	14,5	14,05	48,17	14,01	13,56	48,66	14,25	13,8	48,42
57	8,8	8,7	40,90	9,17	9,07	40,53	cerrado	cerrado	cerrado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	14,72	14,07	9,35	14,07	13,42	10,00	14,28	13,63	9,79	14,92	14,27	9,15	14,75	14,1	9,32	14,5	13,85	9,57	ND=14,71	ND=14,06	ND=9,36
13	6,4	5,85	119,19	7,01	6,46	118,58	7,18	6,63	118,41	7,35	6,8	118,24	7,67	7,12	117,92	7,68	7,13	117,91	7,8	7,25	117,79
17	12,6	12,06	116,07	13,09	12,55	115,58	13,03	12,49	115,64	13,3	12,76	115,37	13,4	12,86	115,27	13,35	12,81	115,32	-	-	-
25	5,94	5,4	124,60	6,71	6,17	123,83	6,85	6,31	123,69	7,39	6,85	123,15	7,44	6,9	123,10	8,8	8,26	121,74	6,95	6,41	123,59
45	7,62	6,82	138,76	8,78	7,98	137,60	9,03	8,23	137,35	9,17	8,37	137,21	8,5	7,7	137,88	9,44	8,64	136,94	9,5	8,7	136,88
22	6,65	5,8	127,33	7,87	7,02	126,11	8,47	7,62	125,51	7,15	6,3	126,83	7,5	6,65	126,48	7,44	6,59	126,54	8,03	7,18	125,95
101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CN-720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ME-412	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ME-413	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CN-716	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CU-66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ME-417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

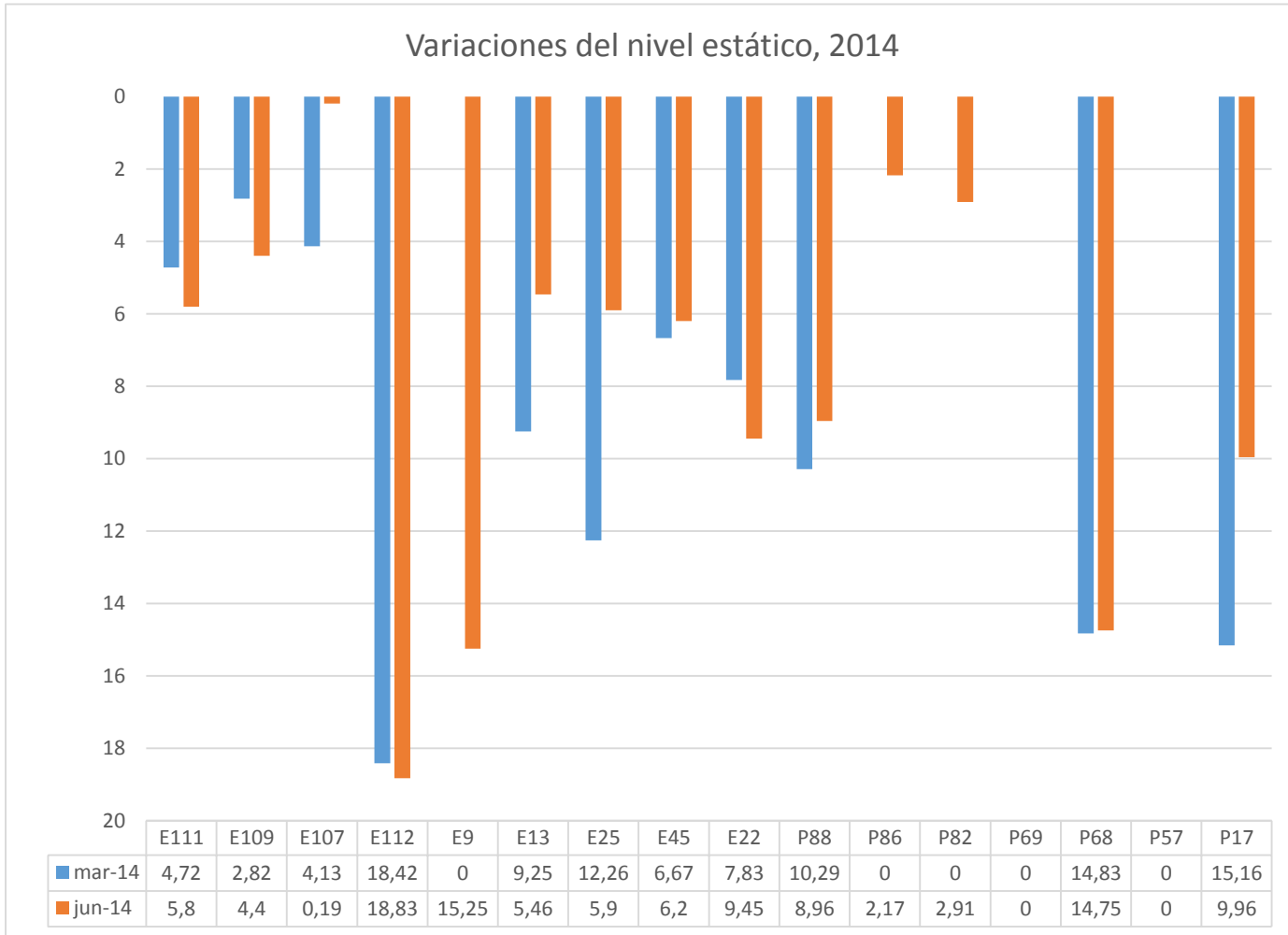
ND: nivel dinámico

Pozo	mar-16			jun-16			jul-16			sep-16			oct-16			dic-16		
	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm
111	-	-	-	-	-	-	9,74	9,44	109,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-
109	-	-	-	-	-	-	4,98	4,28	105,72	4,75	4,05	105,95	-	-	-	4,54	3,84	106,16
107	-	-	-	-	-	-	5,66	4,55	105,45	1,82	0,71	109,29	-	-	-	1,81	0,7	109,30
88	-	-	-	-	-	-	ND=16,95	ND=16,5	ND=108,64	11,78	11,33	113,81	11,16	10,71	114,43	10,23	9,78	115,36
86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,72	1,32	108,88	1,22	0,82	109,38	1,09	0,69	109,51
112	-	-	-	-	-	-	20,17	19,77	84,42	-	-	-	-	-	-	20,61	20,21	83,98
69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,64	17,19	45,03	-	-	-	-	-	-
57	-	-	-	-	-	-	12,04	11,94	37,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	seco	seco	seco	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	0,54	0	128,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	12,35	11,81	118,19	12,12	11,58	118,42	10,19	9,65	120,35	11,46	10,92	119,08
45	-	-	-	-	-	-	ND=13,25	ND=12,45	ND=133,13	17,29	16,49	129,09	16,07	15,27	130,31	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	seco	seco	seco	seco	seco	seco	-	-	-	-	-	-
101	-	-	-	-	-	-	ND=18,24	ND=18,24	ND=111,76	17,41	17,41	112,59	16,95	16,95	113,05	17,05	17,05	112,95
CN-720	23,19	22,56	28,61	24,12	23,49	27,68	-	-	-	22,87	22,24	28,93	22,68	22,05	29,12	22,63	22	29,17
ME-412	12,62	12,04	117,96	12,15	11,57	118,43	-	-	-	14,17	13,59	116,41	12,71	12,13	117,87	8,79	8,21	121,79
ME-413	18,27	17,69	108,24	19,03	18,45	107,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,58	16	109,93
CN-716	19,17	18,32	21,68	19,21	18,36	21,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CU-66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ME-417	10,91	10,18	130,18	6,07	5,34	135,02	-	-	-	12,61	11,88	128,48	-	-	-	11,35	10,62	129,74

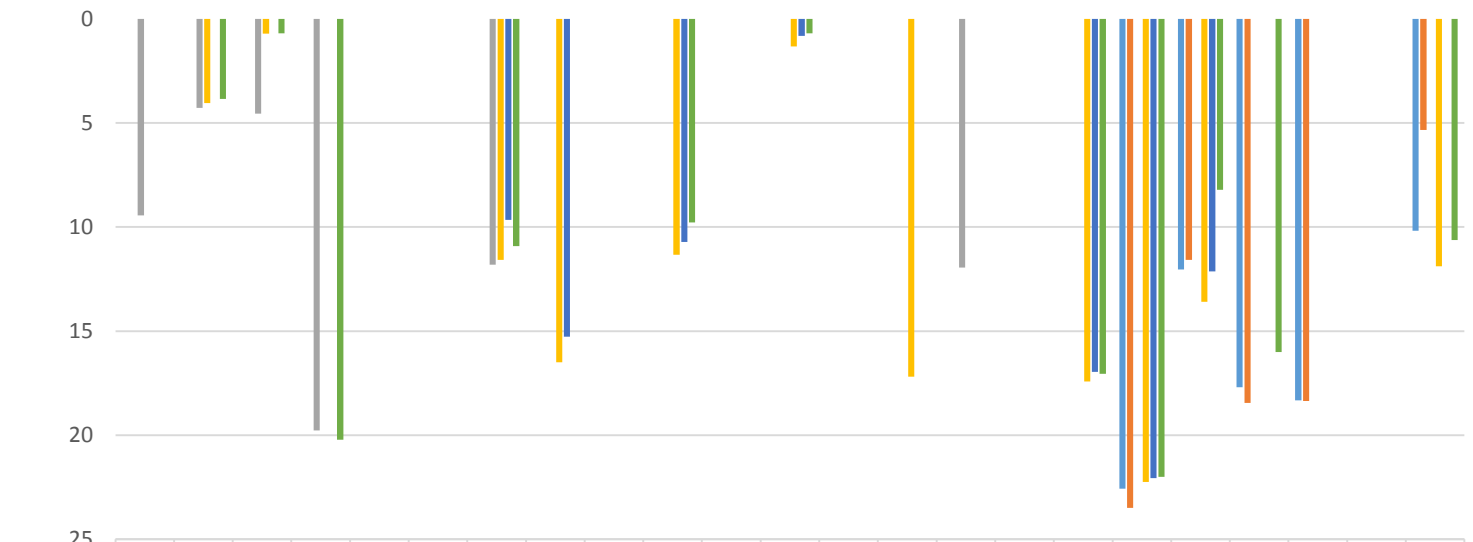
Pozo	may-17			sep-17		
	NE	mbns	msnm	NE	mbns	msnm
111	-	-	-	-	-	-
109	-	-	-	-	-	-
107	1,85	0,74	109,26	1,59	0,48	109,52
88	11,6	11,15	113,99	10,46	10,01	115,13
86	-	-	-	-	-	-
82	2,1	1,7	108,50	1,15	0,75	109,45
112	-	-	-	-	-	-
69	-	-	-	-	-	-
68	17	16,55	45,67	-	-	-
57	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
25	10,49	9,95	120,05	11,22	10,68	119,32
45	18,74	17,94	127,64	-	-	-
22	11,58	10,73	122,40	10,16	9,31	123,82
101	-	-	-	-	-	-
CN-720	-	-	-	22,98	22,35	28,82
ME-412	-	-	-	5,46	4,88	125,12
ME-413	-	-	-	No Abre	No Abre	No Abre
CN-716	-	-	-	-	-	-
CU-66	-	-	-	-	-	-
ME-417	-	-	-	-	-	-





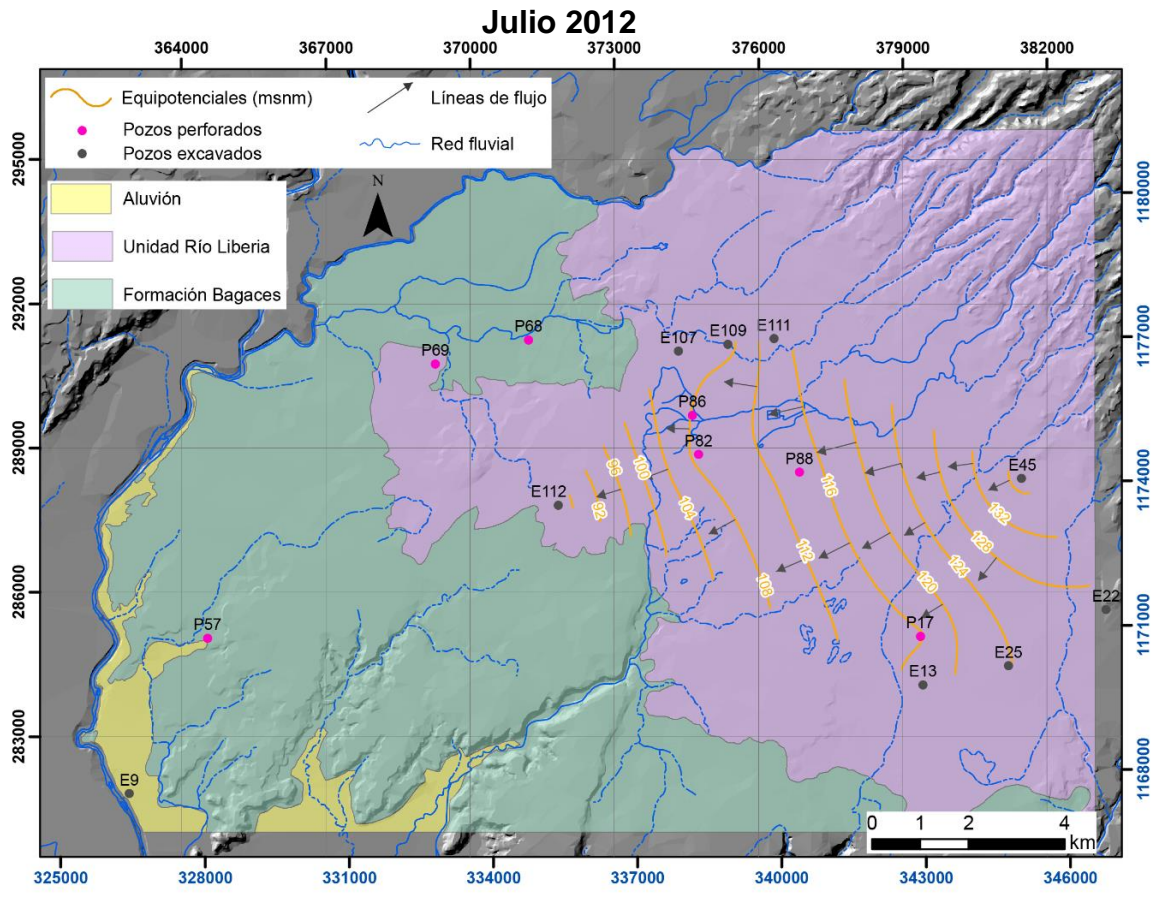
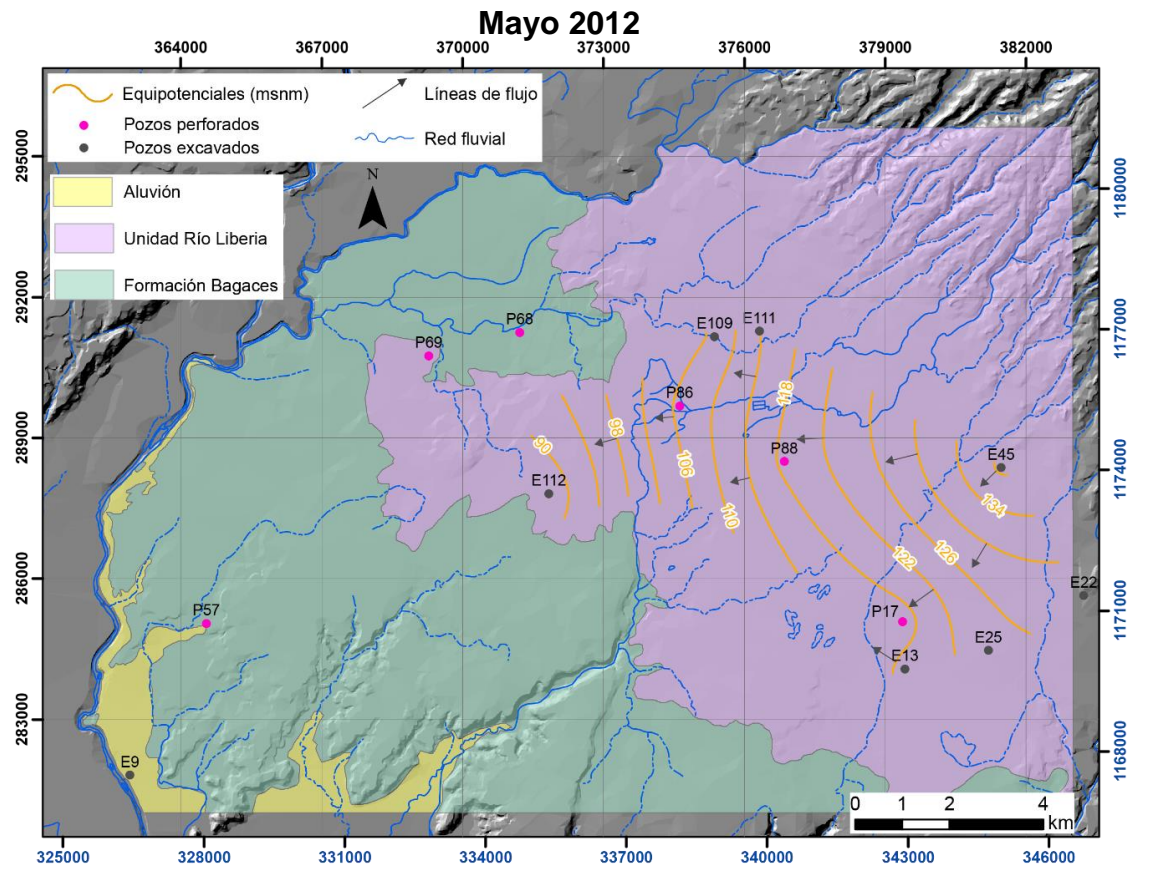


Variaciones del nivel estático, 2016

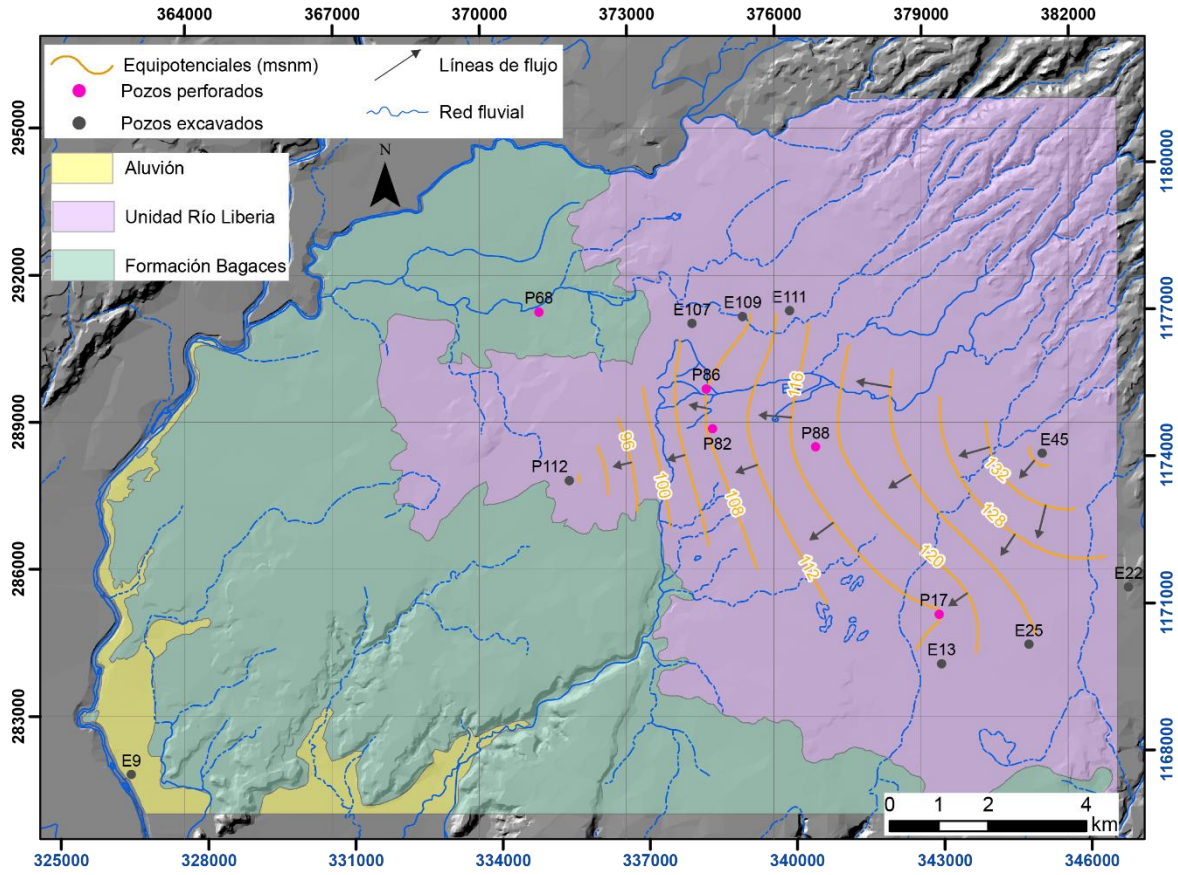


	E111	E109	E107	E112	E9	E13	E25	E45	E22	P88	P86	P82	P69	P68	P57	P17	P101	CN-720	ME-412	ME-413	CN-716	CU-66	ME-417	
mar-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,56	12,04	17,69	18,32	0	10,18	
jun-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,49	11,57	18,45	18,36	0	5,34	
jul-16	9,44	4,28	4,55	19,77	0	0	11,81	0	0	0	0	0	0	0	11,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sep-16	0	4,05	0,71	0	0	0	11,58	16,49	0	11,33	0	1,32	0	17,19	0	0	0	17,41	22,24	13,59	0	0	0	11,88
oct-16	0	0	0	0	0	0	9,65	15,27	0	10,71	0	0,82	0	0	0	0	0	16,95	22,05	12,13	0	0	0	0
dic-16	0	3,84	0,7	20,21	0	0	10,92	0	0	9,78	0	0,69	0	0	0	0	0	17,05	22	8,21	16	0	0	10,62

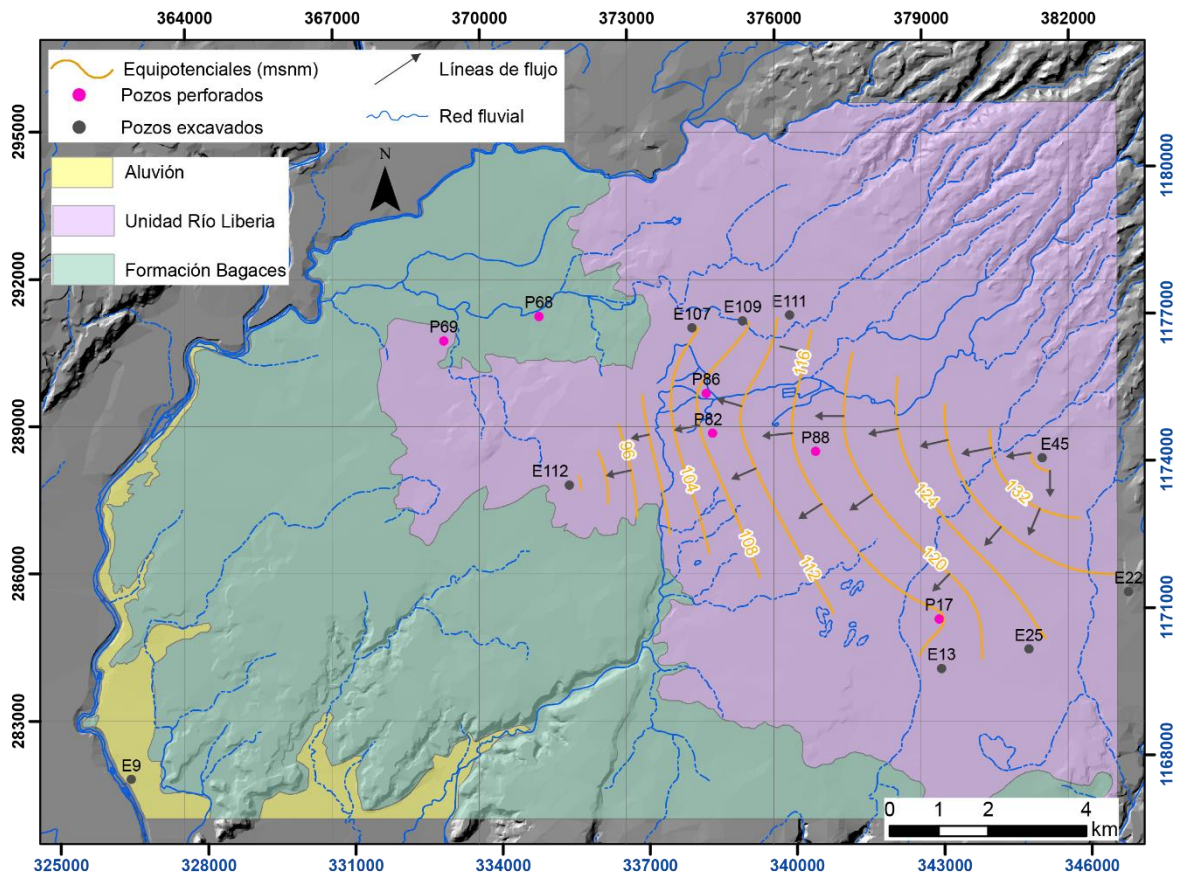
ANEXO E: Redes de flujo acuífero Liberia, 2012-2014



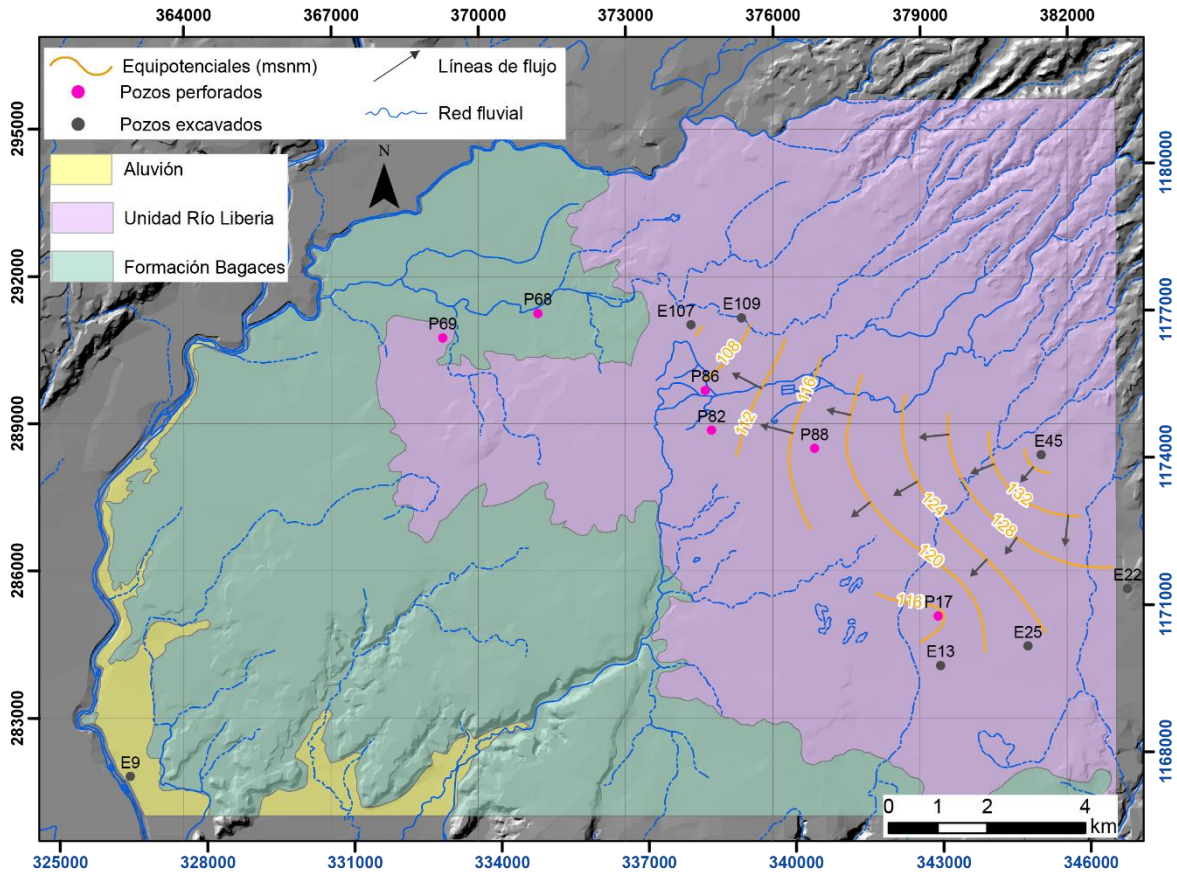
Agosto 2012



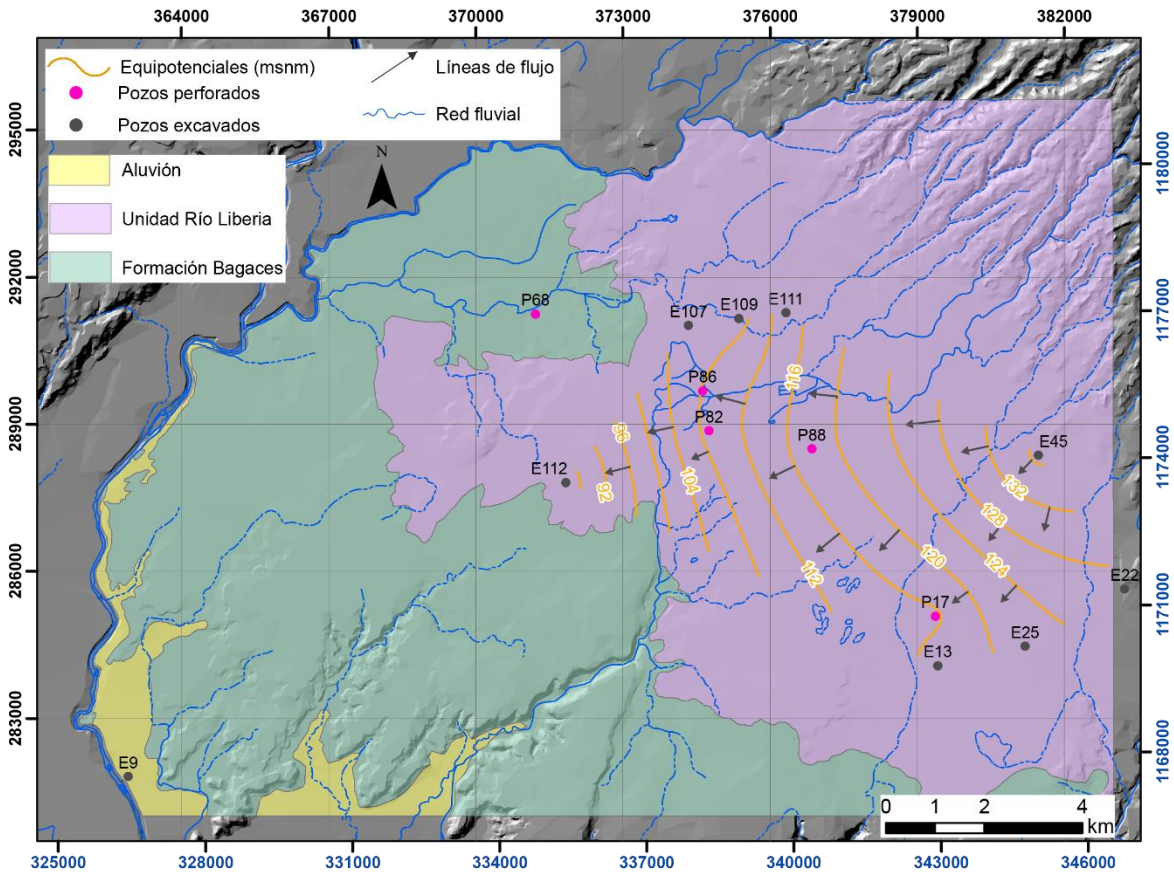
Septiembre 2012



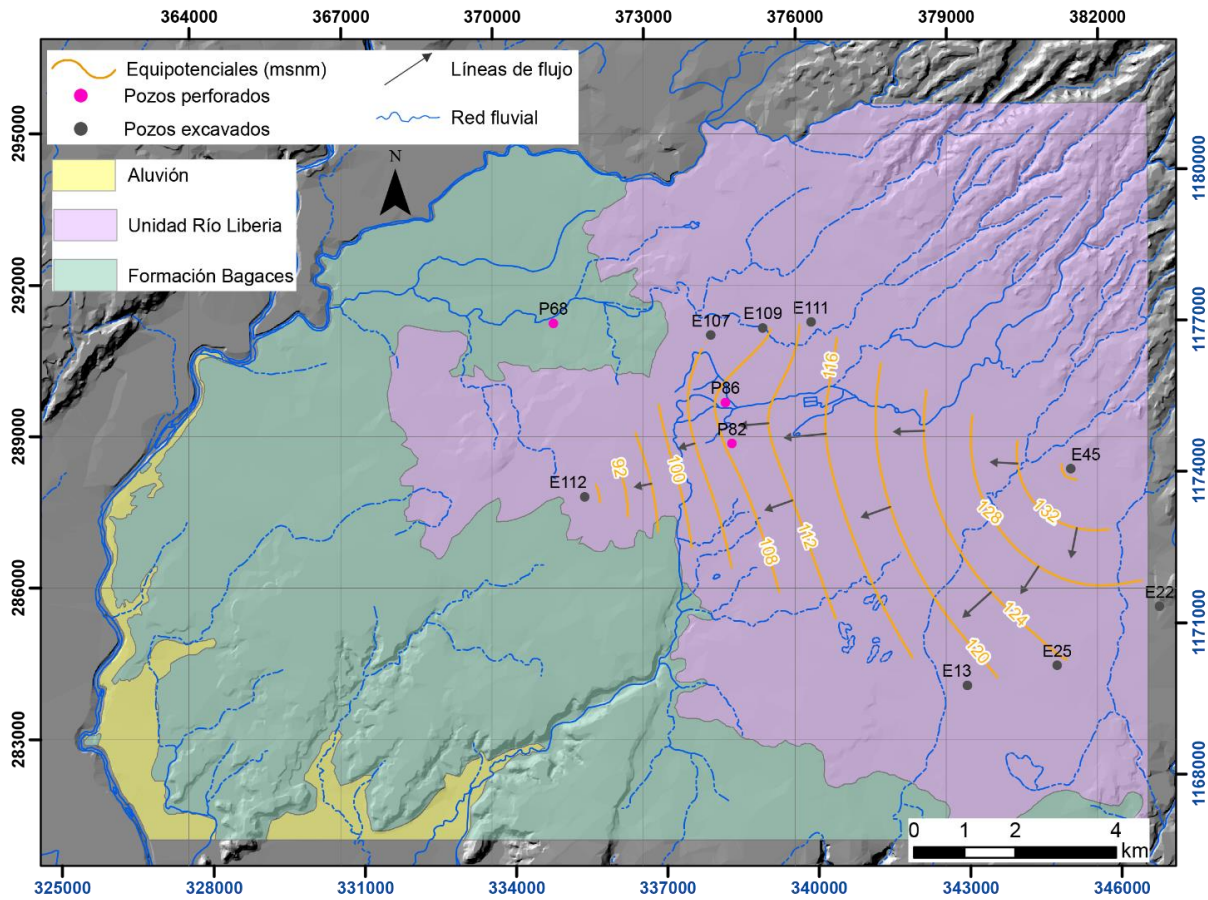
Octubre 2012



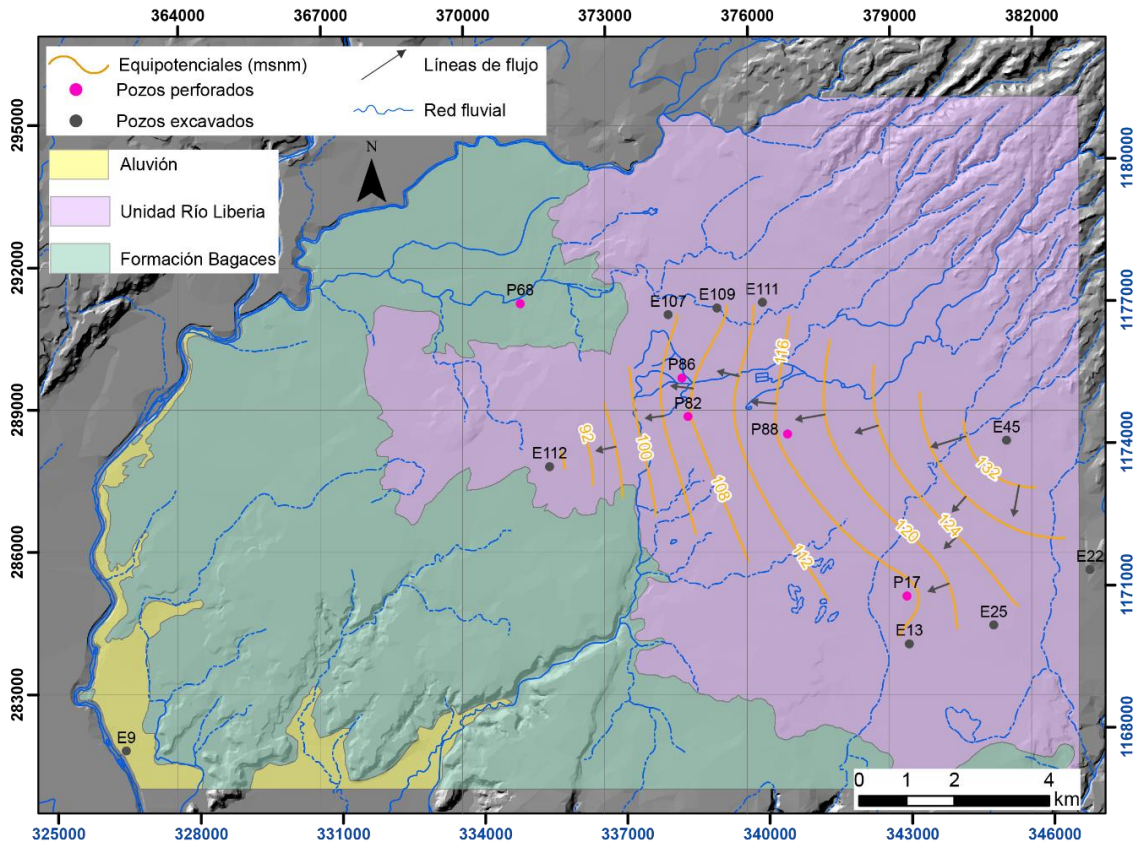
Noviembre 2012



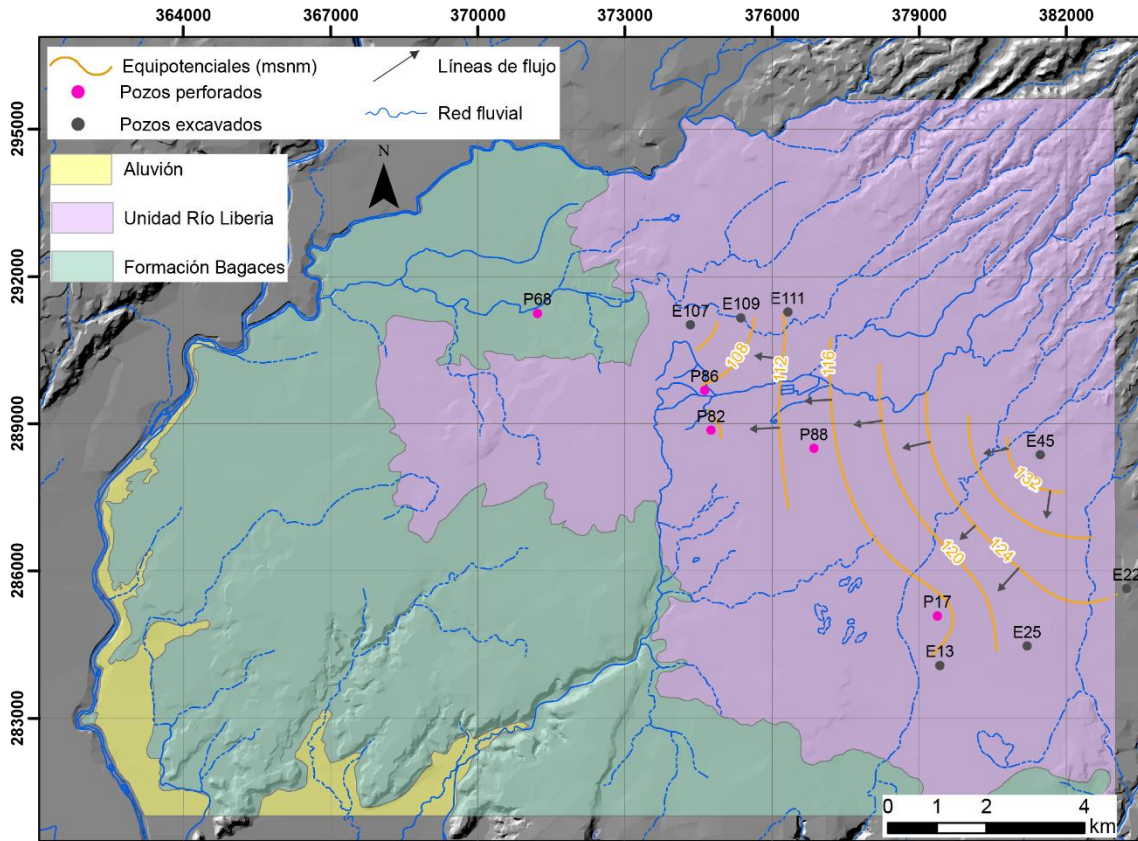
Diciembre 2012



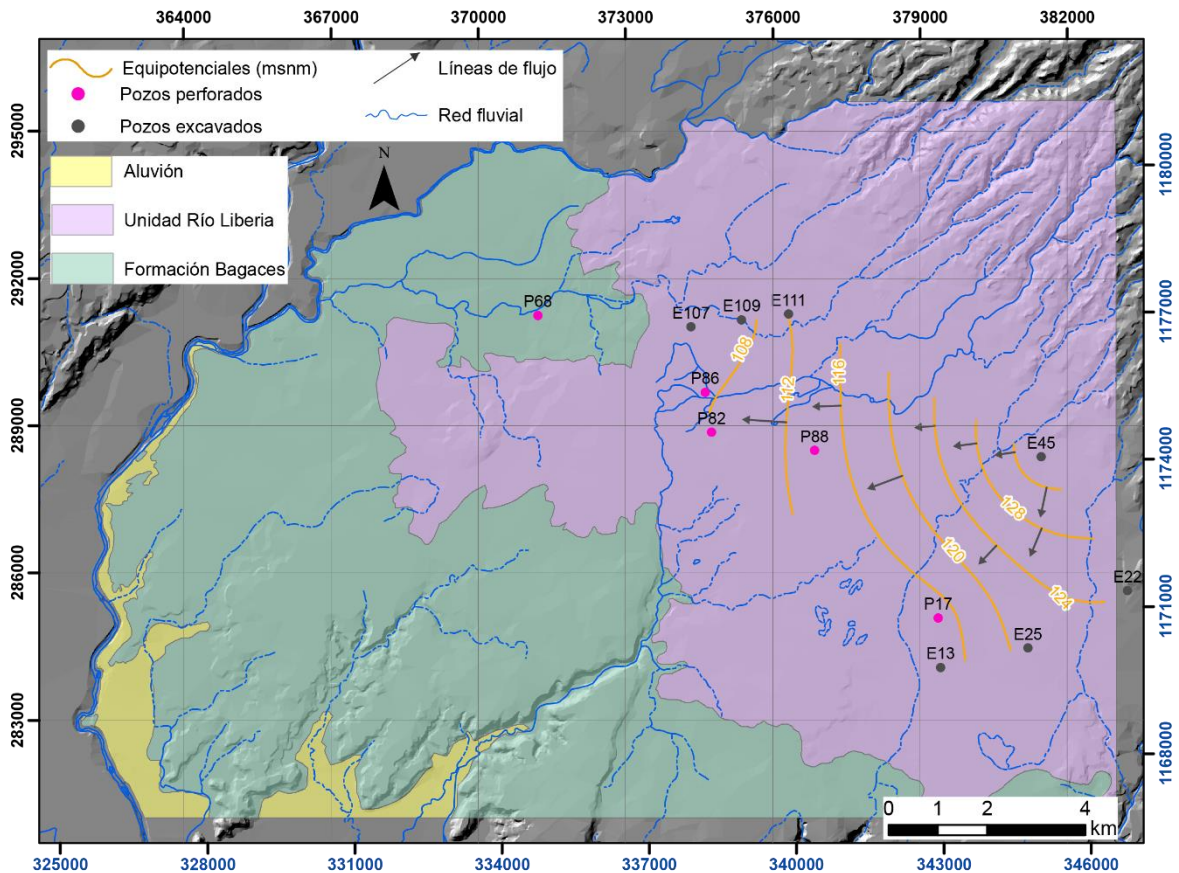
Febrero 2013



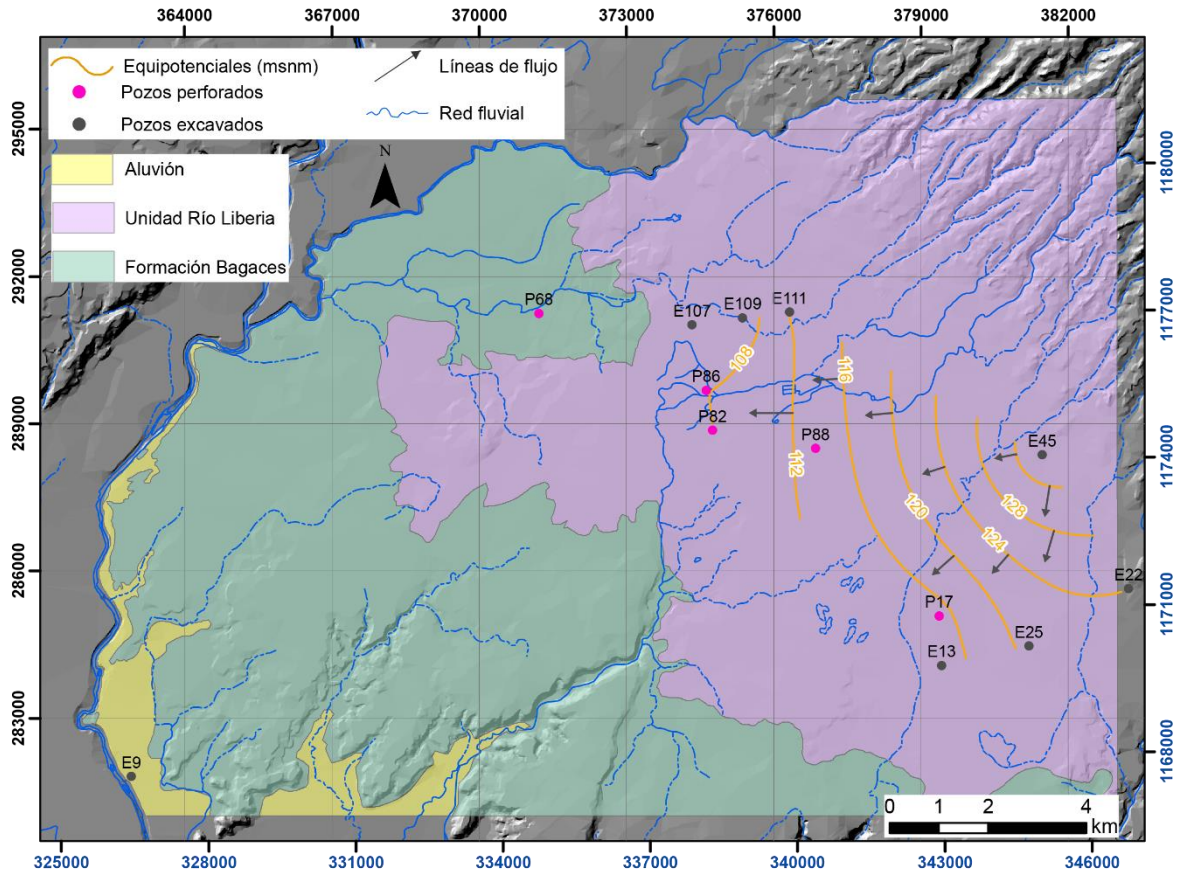
Abril 2013



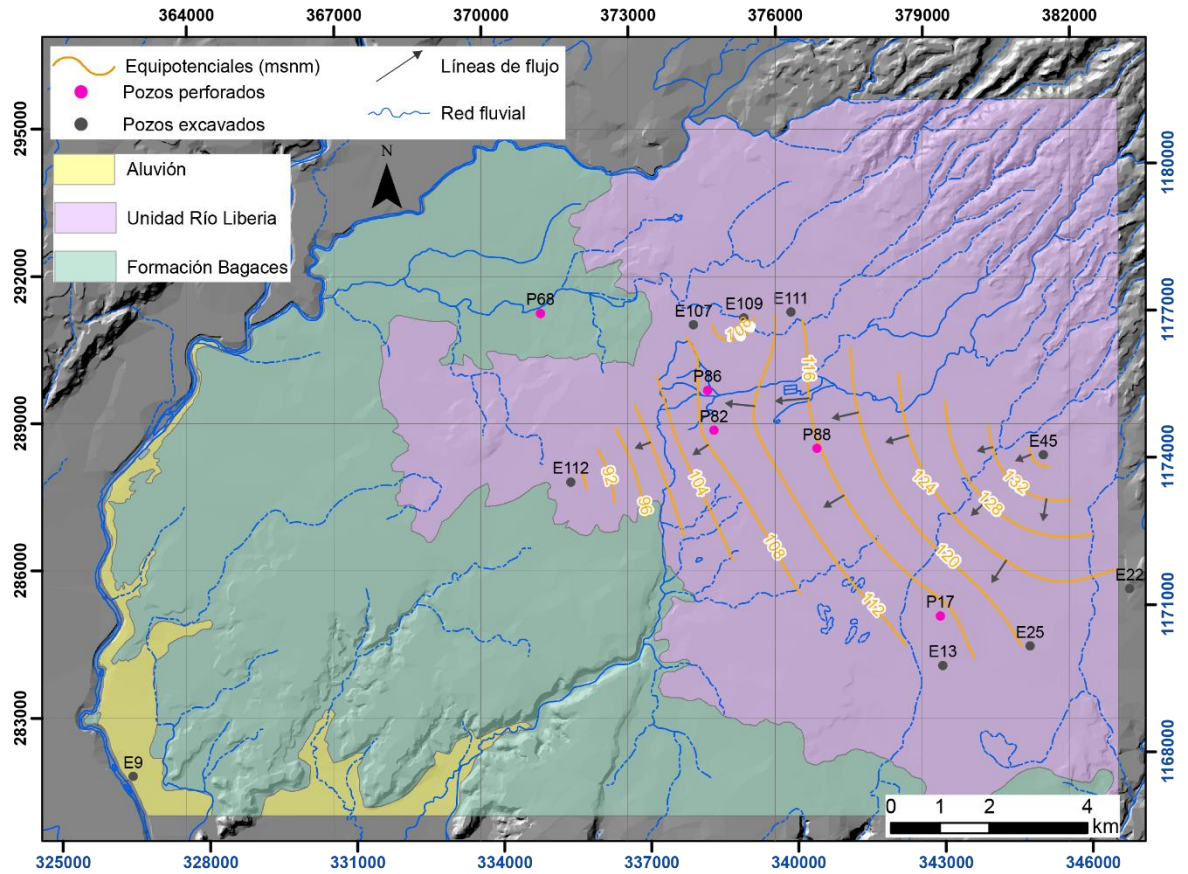
Junio 2013



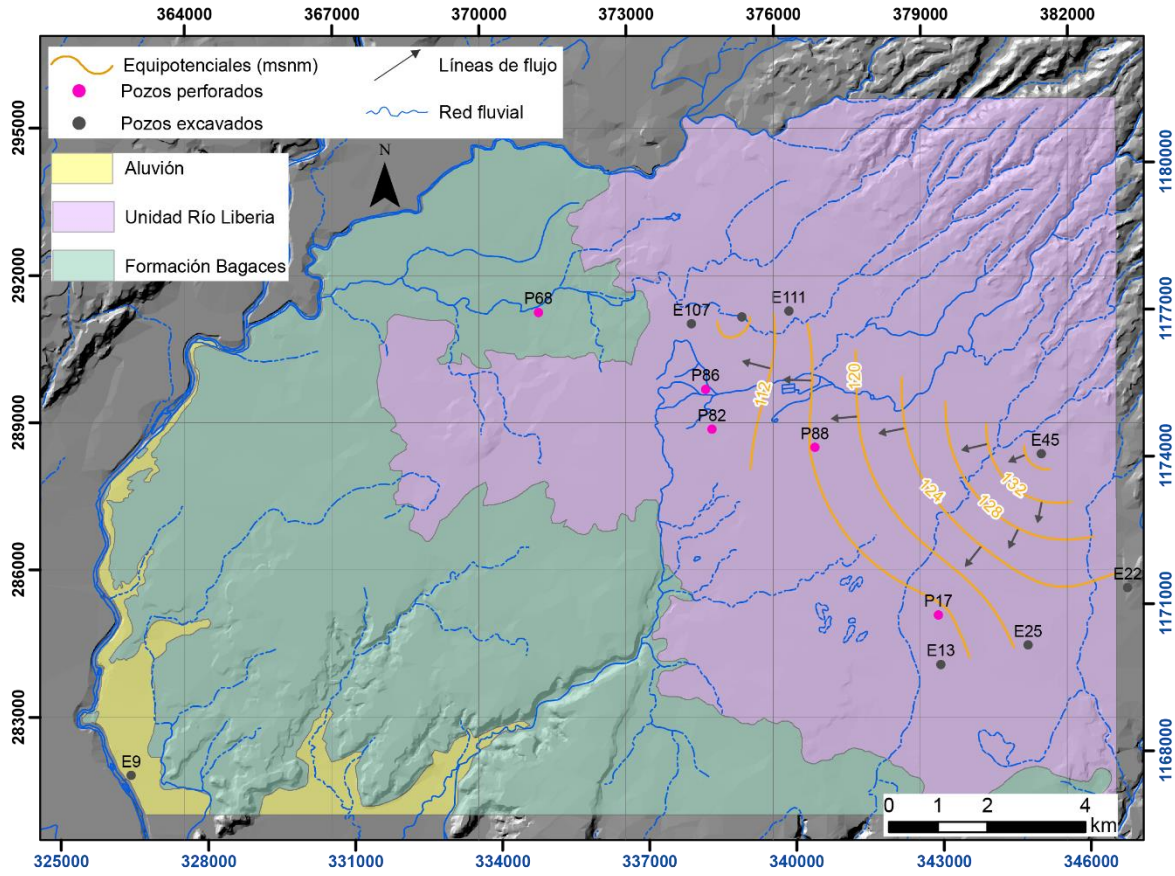
Agosto 2013



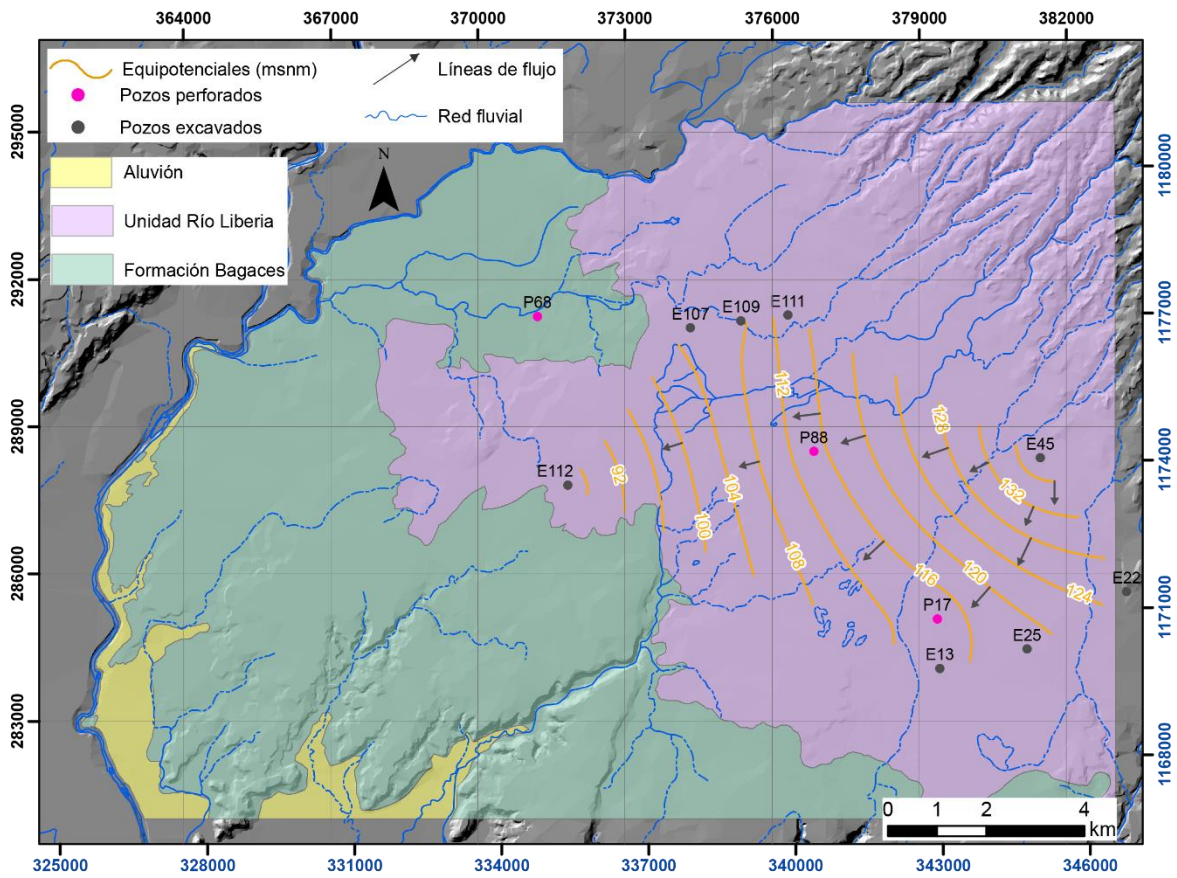
Octubre 2013



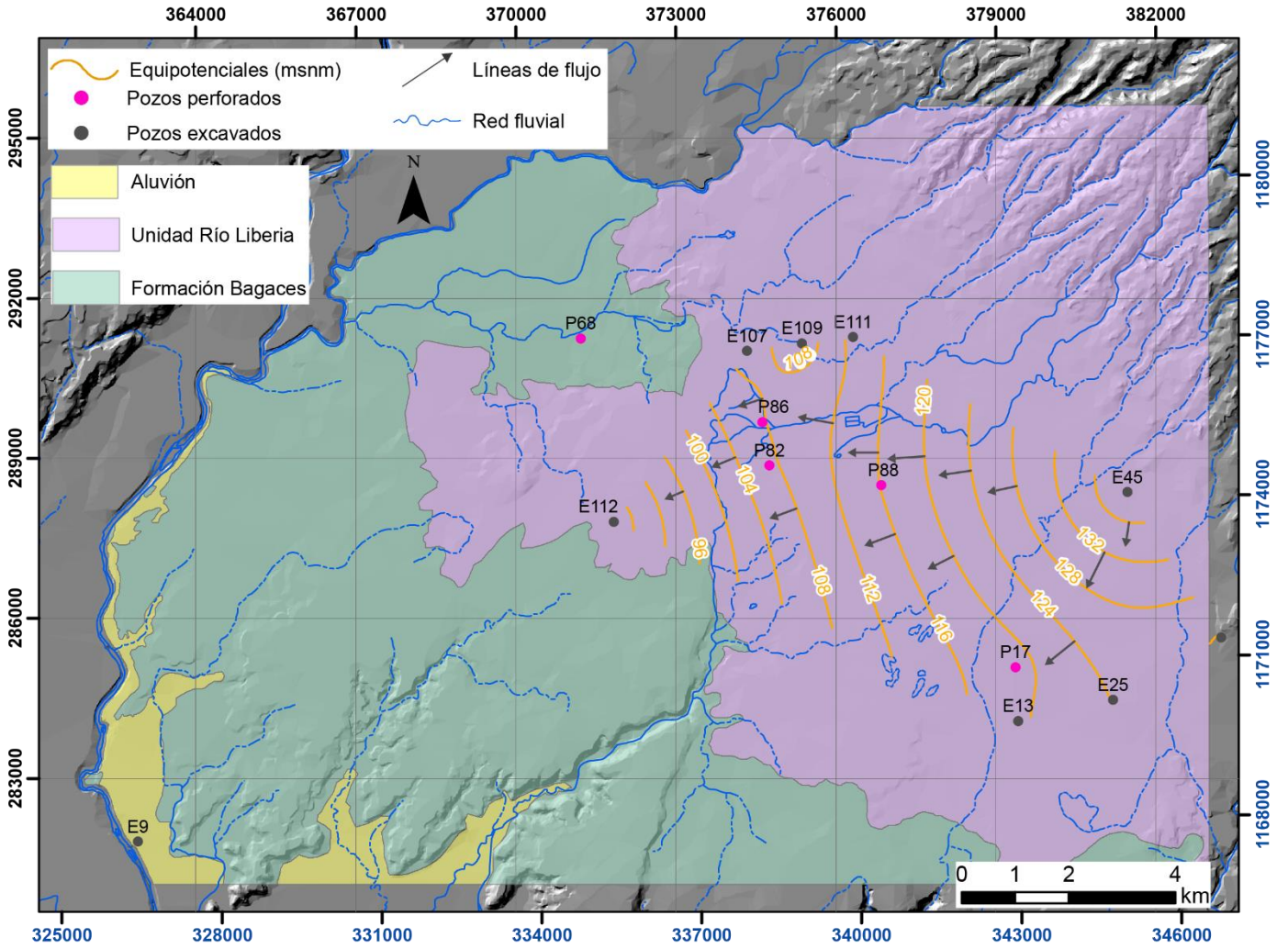
Diciembre 2013



Marzo 2014



Junio 2014



Anexo F. Transmisividades utilizadas en clasificación Krásny (1993)

Acuífero Bagaces:				Acuífero Liberia			
Pozo	Este	Norte	T [m ² /d]	Pozo	Este	Norte	T [m ² /d]
ME-404	373708	290765	2,43	ME-409	375336	294249	3,56
CN-695	366052	284990	2,47	ME-236	375425	293900	4
CN-647	365266	284975	3,43	67 ¹	-	-	7,50
147 ¹	379400	291050	9,3	117 ¹	-	-	7,7
CN-733	362838	289467	10	67 ¹	-	-	8,60
CN-558	368600	285750	12	47 ¹	-	-	9,00
ME-418	381261	288005	18	107 ¹	-	-	9,2
CN-696	365652	284748	19,52	ME-107	378200	290000	9,82
CN-693	366181	285506	23,5	109 ¹	379300	288400	40,9
CN-541	365850	284920	25,64	ME-109	379300	288400	54,6
CN-652	370044	286903	40				
CN-566	369120	286080	40,34				
CN-545	368869	285912	41				
CN-697	364347	277431	42				
CN-158	369875	289489	42,89				
ME-420	380483	290196	48				
CN-37	362200	282400	51,05				
CN-699	371156	287208	53				
CN-698	371203	287120	56				
CN-701	365818	284009	60,8				
CN-691	363270	284890	80				
CU-62	376000	295920	92				
CN-83	368600	281000	99,15				
CN-692	363339	284663	116				
CU-49	372750	295700	119,65				
CN-728	363302	281188	195				
CN-544	362410	286850	200				
CN-700	363485	284723	200				
ME-237	378800	290800	227				
CU-54	373310	298700	388				
110 ¹	379100	291900	413				
123 ¹	377150	289400	413				
CN-598	370774	287316	1000				
203 ¹	377150	287300	1843				
42 ¹	378900	291800	2274				
CN-384	362300	289300	2306				
42 ¹	378900	291800	4248				
16-04	375432	289352	4900				
ME-393	375758	289215	5520				

Tomados de la base de datos de Senara y del AyA.

(¹) Tomados de Collins (1999).

ANEXO G: Análisis químicos

Pozos AyA:

Códigos		
Lab. Nacional de Aguas	AyA	SENARA
La América I	06-14	ME-337
La América II	13-23	-
La América III	16-04	-
Liberia Capulin	06-13	-
Rodeito n°1	06-32	ME-340
Rodeito n°2	08-11	INV-128

Parámetro	América I	América II	América III	Rodeito	Rodeito	Capulín
X	289353	289344	289352	291110	291025	289560
Y	375479	375428	375432	373800	373750	377610
Fecha	01/11/2015	01/11/2015	07/07/2016	08/02/2017	26/10/2017	02/02/2016
Alcalinidad mg/L	71	77	72	65	64	72
Aluminio µg/L	1494,4*	27,2	40,5	56,6	10,2	N.D.
Amonio mg/L	-	-	N.D.	N.D.	-	-
Antimonio µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Arsénico µg/L	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7
Cadmio µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Calcio mg/L	11,3	11,3	12,1	8,7	8,5	12,1
Cloro residual libre mg/L	-	-	-	0,6	0,5	-
Cloruros mg/L	2,73	3,03	3,36	1,69	2,11	2,38
Cobre µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	D.	N.D.
Color aparente UPt-Co	10	N.D.	D.	N.D.	N.D.	D.
Conductividad µs/cm	159	169	181	143	194	158
Cromo µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dureza de Calcio mg/L	28	28	30	22	21	30
Dureza total mg/L	40	44	48	36	35	48
Fluoruros mg/L	0,20	0,19	N.D.	0,20	0,45	D.
Fosfatos mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hierro µg/L	318,2*	29,2	595,5*	33	5	707,8*
Magnesio mg/L	2,9	3,9	4,4	3,4	3,3	4,4
Manganeso µg/L	12,9	N.D.	15,3	N.D.	N.D.	4,5

Parámetro	América I	América II	América III	Rodeito	Rodeito	Capulín
Mercurio µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Niquel µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Nitratos mg/L	5,88	7,75	5,18	N.D.	N.D.	5,28
Nitritos mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Olor	-	-	Negativo	Cloro	Aceptable	-
pH	6,88	6,92	7,12	6,58	7,05	7,10
Plomo µg/L	N.D.	N.D.	N.D.	1,5	D.	N.D.
Potasio mg/L	8,2	8,2	7,5	4,2	4,8	8,2
Sabor	-	-	Negativo	-	-	-
Selenio µg/L	D.	N.D.	D.	D.	N.D.	N.D.
Sodio mg/L	16,8	9,6	15,4	14,4	15,8	19,7
Sulfatos mg/L	2,66	2,69	3,47	3,15	2,94	2,58
Temperatura °C	-	-	-	-	28,2	-
Turbiedad UNT	6,77*	0,19	0,92	0,33	0,47	0,2
Zinc µg/L	4,7	80,9	5,7	6,8	13,0	6,6

N.D.: No detectable bajo el límite de detección.

D.: Detectable pero no cuantificable.

*: Concentración no cumple con el Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.

Pozos base de datos SENARA:

Parámetro	CN-76	CN-79	CN-83	CN-279	CN-548	CN-608	CN-655	CN-681	CN-692
X	363400	278700	368600	371600	365353	371075	362924	370058	363339
Y	284300	363550	281000	288300	285108	287860	283994	287185	284663
Fecha	05/07/1971	12/08/1971	18/09/1972	19/02/2008	21/12/2005	04/05/2007	25/01/2008	22/11/2008	24/09/2009
Alcalinidad mg/L	93,5	138,5	128	66 ± 3 mg/L CaCO3	69 ± 1 mg/L CaCO3	171 ± 8	64 ± 3 mg/L CaCO3	98 mg/L CaCO3	93 ± 1
Carbonato mg/L	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Bicarbonatos mg/L	-	-	-	-	-	208 ± 9	-	-	113 ± 5
Aluminio mg/L	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Amonio mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	-
Calcio mg/L	17,6	27,6	15	16,7 ± 0,7	16,0 ± 0,7	44 ± 8	12,9 ± 0,5	7,5	12,8 ± 0,3
Cloruros mg/l	2,2	3,9	-	1,80 ± 0,03	2,8 ± 0,5	2,1 ± 0,3	4,57 ± 0,07	5,3	7 ± 1
Color aparente UPT-Co	80*	0	-	<2	15 ± 2	0	<2	< 0,1	0,80 ± 0,02
Cond µs/cm	-	-	-	145,6 ± 0,6	126 ± 4	250 ± 19	146,7 ± 0,6	149	218 ± 17
Dureza de Calcio mg/L	44	69	37	42 ± 2 mg/L CaCO3	40 ± 2 mg/L CaCO3	110 ± 16	32 ± 1	-	32 ± 1
Dureza de Mg mg/L	21	47	20	19 ± 1 mg/L CaCO3	14 ± 2 mg/L CaCO3	47 ± 4	26 ± 2	-	21 ± 4
Dureza total mg/L	65	116	57	61 ± 2 mg/L CaCO3	54 ± 2 mg/L CaCO3	157 ± 9	58	27	53 ± 1
Fluoruros mg/L	0,31	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Hierro mg/L	1,3*	0	0,54*	0,110 ± 0,009	0,4 ± 0,1*	<0,02	0,16 ± 0,01	<0,01	0,128 ± 0,005
Magnesio mg/L	5	11,3	5	4,6 ± 0,3	3,5 ± 0,4	11 ± 1	6,3 ± 0,5	2	5 ± 1
Manganeso mg/L	0,76*	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitratos mg/L	-	-	-	< 0,1	0,18 ± 0,2	-	6,9 ± 0,3	-	-
Nitritos mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olor	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	7,05	7,05	7,2	6,73 ± 0,06	6,68 ± 0,05	7,3 ± 0,1	6,57 ± 0,06	6,18	6,5 ± 0,1
Potasio mg/L	-	-	-	8,2 ± 0,7	5,4 ± 0,4	-	6,8 ± 0,5	-	-

Parámetro	CN-76	CN-79	CN-83	CN-279	CN-548	CN-608	CN-655	CN-681	CN-692
Sabor	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sodio mg/L	-	-	-	16 ± 2	24 ± 2	-	7,8 ± 0,8	-	-
Sulfatos mg/L	7,68	21,1	-	-	-	8,3 ± 0,4	-	4,2	21 ± 1
Temperatura	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad UNT	9	1,2	3,8	4,1 ± 0,1	13,4 ± 0,4*	0,05 ± 0,01	1,8 ± 0,1	< 1	0,77 ± 0,01
Zinc mg/L	0	-	0	-	-	-	-	-	-
Sílice mg/L	-	-	-	-	-	-	-	114,6	-
Sólidos totales mg/L	308	287	-	-	-	-	-	184	-
STD mg/L	-	-	-	-	-	-	-	184	-
Sólidos en suspensión mg/L	-	-	0	-	-	-	-	< 6	-
Coliformes totales/ 100 mL	-	-	-	Negativo	Negativo	13*	220*	1,2 x 10 ³ *	-
Coliformes fecales NMP/100 mL	-	-	-	-	-	-	-	<1	-
Coliformes termotolerantes 100 mL	-	-	-	Negativo	Negativo	< 1,8*	220*	-	-
E. Coli 100 mL	-	-	-	Negativo	Negativo	<1,8*	9,5*	-	-

*: Concentración no cumple con el Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.

Parámetro	CN-695	CN-696	CN-697	CN-698	CN-699	CN-700	CN-701	CN-713	CN-715	CN-728	CU-49
X	366052	365652	364347	371203	371156	363485	365818	365388	367764	363302	372750
Y	284990	284748	277431	287120	287208	284723	284009	290519	288011	281188	295700
Fecha	12/01/2010	24/12/2009	17/03/2010	27/04/2010	27/04/2010	27/01/2011	14/09/2010	19/04/2013	02/10/2013	20/07/2015	24/11/2008
Alcalinidad mg/L	227,3 mg/L CaCO ₃	227, 3 ± 3 mg/L CaCO ₃	78 mg/L CaCO ₃	-	-	89 ± 4	44 ± 3	68 mg/L CaCO ₃	45 mg/L CaCO ₃	69 ± 1	58 ± 3 mg/L CaCO ₃
Carbonato mg/L	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-
Bicarbonatos mg/L	-	-	-	-	-	108 ± 5	-	-	-	-	-
Aluminio mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amonio mg/L	-	-	0,05	-	-	-	-	1,47*	< 0,01	-	-
Calcio mg/L	56 ± 2	56 ± 2	18,0	-	-	12,3 ± 0,3	16,2 ± 0,7	55,0	16,4	13,3±0,5	10,6 ± 0,4
Cloruros mg/l	16,5 ± 0,4	16,5 ± 0,4	7,0	-	-	4,0 ± 0,6	1,9 ± 0,1	10,6	7,1	5,7± 0,3	0,524 ± 0,008
Color aparente UPT-Co	3 ± 1	3 ± 1	< 0,1	-	-	9,2 ± 0,2	2 ± 1	3 CU	<3 CU	<2	<2
Cond µs/cm	544 ± 2	544 ± 2	197	-	-	151 ± 11	104,2 ± 0,4	441*	120	203,1±0,9	158,7 ± 0,7
Dureza de Calcio mg/L	140 ± 5 mg/L CaCO ₃	140 ± 5	-	-	-	30,8 ± 0,9	40 ± 2	-	-	33±1 mg/L CaCO ₃	26 ± 1
Dureza de Mg mg/L	99 ± 8 mg/L CaCO ₃	99 ± 8	-	-	-	24 ± 4	20 ± 1	-	-	30±2 mg/L CaCO ₃	14 ± 1
Dureza total mg/L	239 ± 10 mg/L CaCO ₃	239 ± 10	82 mg/L CaCO ₃	-	-	55 ± 1	60 ± 2	193 mg/L CaCO ₃	70 mg/L CaCO ₃	64±2 mg/L CaCO ₃	40 ± 2
Fluoruros mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hierro mg/L	0,072 ± 0,006	0,072 ± 0,006	0,01	-	-	0,030 ± 0,001	<0,04 mg/L	0,15	< 0,01	<0,04	0,063 ± 0,005
Magnesio mg/L	24 ± 2	24 ± 2	9,0	-	-	6 ± 1	4,8 ± 0,3	13,4	7,1	7,4 ± 0,6	3,5 ± 0,3
Manganeso mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitratos mg/L	2,2 ± 0,4	2,2 ± 0,4	-	-	-	-	0,61 ± 0,04	-	-	14,1 ± 0,6	0,37 ± 0,02
Nitritos mg/L	0,016 ± 0,003	0,016 ± 0,003	-	-	-	-	<0,4	-	-	<0,1	<0,001
Olor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aceptable	-
pH	6,75 ± 0,06	6,75 ± 0,06	6,91	-	-	6,7 ± 0,1	7,18 ± 0,06	6,19	7,24	7,15 ± 0,06	7,61 ± 0,06
Potasio mg/L	0,78 ± 0,06	0,78 ± 0,06	-	-	-	-	2,1 ± 0,2	-	-	3,17 ± 0,08	5,8 ± 0,5
Sabor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Aceptable	-
Sodio mg/L	7,6 ± 0,8	7,6 ± 0,8	-	-	-	-	5,5 ± 0,6	-	-	15,4 ± 0,6	14±1

Parámetro	CN-695	CN-696	CN-697	CN-698	CN-699	CN-700	CN-701	CN-713	CN-715	CN-728	CU-49
Sulfatos mg/L	-	-	6,2	-	-	5,2 ± 0,3	-	2,9	6,9	-	-
Temperatura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad UNT	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	< 1	-	-	1,09 ± 0,02	0,5 ± 0,1	25,3	0,61	0,52 ± 0,05	2,1 ± 0,1
Zinc mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sílice mg/L	-	-	53,3	-	-	-	-	27,3	19,9	-	-
Sólidos totales mg/L	-	-	152	-	-	-	-	284	96	-	-
STD mg/L	-	-	152	-	-	-	-	244	96	-	-
Sólidos en suspensión mg/L	-	-	<6	-	-	-	-	40	< 6	-	-
Coliformes totales/ 100 mL	Negativo	-	< 1	Negativo	Negativo	-	-	4,0 x 10 ² *	<1	43*	-
Coliformes fecales NMP/100 mL	-	-	< 1	-	-	-	-	<1	<1	43*	-
Coliformes termotoleranes 100 mL	Negativo	-	-	Negativo	Negativo	-	-	-	-	-	-
E. Coli 100 mL	Negativo	-	-	Negativo	Negativo	-	-	-	-	4*	-

*: Concentración no cumple con el Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.

Parámetro	CU-54	CU-62	CU-63	ME-11	ME-13	ME-75	ME-156	ME-302	ME-384	ME-393
Sodio mg/L	-	-	71 ± 5	-	-	-	-	-	-	18 ± 2
Sulfatos mg/L	-	4,4	-	14,4	11,8	9,5	1,9	94 ± 5	31,2	-
Temperatura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad UNT	-	8	10,19 ± 0,01*	-	-	6,8	5	23,0 ± 0,5*	2,62 ± 0,05	0,1 ± 0,1
Zinc mg/L	-	-	-	0,6	1,45	-	0,1	-	-	-
Sílice mg/L	-	75,1	49,00 ± 0,01	-	-	44,8	44	-	-	-
Sólidos totales mg/L	-	112	-	106	177	238	-	-	-	-
STD mg/L	-	112	94 ± 1	-	-	238	-	-	-	-
Sólidos en suspensión mg/L	-	<6	-	0	-	<6	0,1	-	-	-
Coliformes totales/ 100 mL	Ausente	<1	5,4 x 10 ² *	-	-	2,3x10 ² *	-	Ausentes	1,4 x 10 ² *	46*
Coliformes fecales NMP/100 mL	-	<1	<2	-	-	1	-	-	<1	4,5*
Coliformes termotolerantes 100 mL	Ausente	-	-	-	-	-	-	Ausentes	-	-
E. Coli 100 mL	Ausente	-	<2	-	-	-	-	Ausentes	-	Ausente

*: Concentración no cumple con el Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.

Pozos Collins (1999):

Pozo	UC	Fecha	pH	CE µs/cm	HCO ₃ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Fe total mg/L	F ⁻ mg/L	STD mg/L
SN49	L	28/11/1997	7,68	1057**	383	40	111	77	62	16	150	13*	0	0,2	898
SN61	L	28/11/1997	8,5*	983**	72	160*	179	12	73	11	95	14*	0,1	<0,01	836
22	L	28/11/1997	6,5	189	83	7,5	13	12	11	3	18	6,1	0	0,2	161
65	L	28/11/1997	6,05	388	49	58*	58	29	24	6	40	4	0,2	0,1	330
SN-63	L	28/11/1997	8,56*	239	46	44	29	16	18	4	21	4,8	0	<0,01	203
SN57	L	28/11/1997	7,21	952**	252	63	136	48	48	10	140	12	0,2	<0,01	609
SN-60	L	28/11/1997	6,1	217	107	3,2	15	10	11	5	16,5	1,5	0,7	0,2	184
14	L	28/11/1997	7,34	684**	105	35	102	67	31	9	75	34*	0,5	0,1	581
SN-55	L	28/11/1997	6,93	959**	160	220*	93	12	113	20	45	6,7	0	0,1	815
160	L	28/11/1997	6,35	417**	106	39	54	16	38	12	22	5,1	0	<0,01	354
SN-58	L	28/11/1997	6,35	208	85	1,2	14	28	18	3	19	3,2	1,4	0,1	177
CU-12	L	28/11/1997	6,54	114	41	3	9	14	6	1	10	7,7	0,1	0,1	97
211	B	28/11/1997	6	185	32	63	14	12	13	4	15	2,2	1,9	0,2	204
203	B	28/11/1997	7,78	144	85	3	8	8	12	2	13,5	5	0,1	0,1	158
CU-28	B	28/11/1997	6,64	157	76	5,2	8	9	12	5	14	3,6	1,8	0,3	173
189	B	28/11/1997	8,75*	144	68	5,4	11	7	9,6	2	12,4	7,3	0	0,1	158

UC: Unidad captada. B: Bagaces, L: Liberia

*: Concentración no cumple con el Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.

** : Concentración sobre valor alerta según Reglamento para la calidad de agua potable 38924-S, 2015.