

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería de Biosistemas**

**EVALUACIÓN DE LAS PRINCIPALES NACIENTES EN LA PARTE ALTA DE  
LA MICROCUENCA DE LOS RÍOS BOSTON Y GONGOLONA DEL CANTÓN  
DE ABANGARES, COSTA RICA.**

**Trabajo Final de Graduación**

Para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas

Presenta:

**Mónica María González Sánchez**

Director del Proyecto de Graduación:

**M.Sc. Edwin Solórzano Campos**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Diciembre, 2019

**El presente proyecto final de graduación fue sometido ante el Tribunal Examinador  
de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad de Costa Rica como requisito para optar por el grado de Licenciatura en  
Ingeniería Agrícola y de Biosistemas**



M.Sc. Edwin Solórzano Campos

Director del Proyecto Final de Graduación



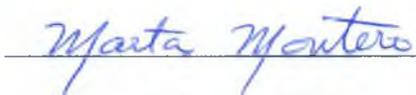
Ing. Paola Vidal Rivera

Miembro del Comité Asesor



Dra. Alejandra Rojas González

Miembro del Comité Asesor



Dra. Marta Montero Calderón

Presidente del Tribunal Examinador



M.Sc. Juan Pablo Rojas Sossa

Lector



Mónica María González Sánchez

Postulante

## DEDICATORIA

*Al Alzheimer de mi abuelito Guido,*

*A las velitas de mi abuelita Anahis,*

*Al amor de mi vida y luz de mis ojos: Toñito,*

*A mi doctora muelitas Bereniza,*

*Al apoyo incondicional de mi mamá,*

*A las palmadas con mis colegas Alex y Randall,*

*A la insistencia del excelentísimo LL.M. Victor Vargas S. por culminar esta etapa,*

*En fin, a toda la serie de eventos desafortunados y exitosos que de una u otra forma me hicieron llegar al día de hoy,*

*Y en especial al ser humano que más me jode la paciencia, quien me ha dado todo en esta vida excepto su habilidad fina, gruesa y automovilística:*

*Al Dr. Niyer González Vega, quien no solamente es el mejor odontólogo de esta Alma Máter y por ende del mundo, hoy, intercedido por mí, es ingeniero.*

*Por y para vos Niyitor, felicidades. Descansa en paz.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director, el M.Sc. Edwin Solórzano por su ayuda incondicional durante el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Paola Vidal por su disponibilidad 24/7, paciencia y confianza para darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A la Dra. Alejandra Rojas, por su constante asesoría y preciado aporte.

A todo el personal de la municipalidad de Abangares por su cooperación, en especial al Ing. Rodrigo Araya, por su atención y facilitarme la información pertinente.

A los funcionarios del MINAE-SINAC por las incontables veces que me acompañaron a las giras de campo; especialmente a don Adán.

A los propietarios de las fincas: Daniel Montero, Eduardo Montero, Eduardo Solano, Ovidio Fernández, Gerardo Vega, Kenneth Rodríguez y Mario Morera y sus familias; por su recibimiento, paciencia, humildad y cariño. Sin ustedes esto no hubiera sido posible.

A Dagoberto Oviedo por su amistad y asistencia en los ensayos de laboratorio.

A Oscar Blandino por todo el amor y apoyo brindado durante este proceso.

A mi familia y amigos por creer en mí e impulsarme a terminar este proyecto.

## RESUMEN

La zona de estudio de este proyecto se ubica en la parte alta de la cuenca del río Abangares, específicamente la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. Las tres actividades predominantes en esta área son: la minería artesanal, ganadería y agricultura. Dada la influencia marcada del Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la provincia de Guanacaste y la vulnerabilidad de la comunidad de la cuenca en función de la disponibilidad del agua; es necesario realizar la identificación y evaluación de nacientes con el fin de brindar una solución alternativa al problema hídrico especialmente durante la época seca.

Se estudiaron 12 fincas para un total de 36 nacientes y 1 pozo. En este documento se encontrará el proceso de identificación de nacientes, trabajo de campo y análisis de laboratorio; dónde se compara la calidad del agua de 16 muestras acorde con lo que dictan los reglamentos: para la Calidad del Agua Potable N°38924-S y el de Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N°33903-MINAE-S; y la normativa técnica para la Clasificación de Potenciales Fuentes de Abastecimiento Subterráneas y Subsuperficiales en Costa Rica. Algunos de los parámetros evaluados son: pH, *E.coli*, alcalinidad, dureza total, conductividad, hierro, turbiedad; entre otros.

Posteriormente, se determinó el cambio en la cobertura vegetal entre la época lluviosa y la época seca mediante el tratamiento de imágenes satelitales de los meses de octubre 2018 y febrero 2019; para lo que se obtuvieron mapas de uso de suelo y la posible relación con los parámetros de calidad evaluados. Por último, se recomendaron mejoras a nivel de captación de las nacientes con el fin de mejorar la calidad del agua.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>XVI</b>
<b>LISTADO DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XX</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación .....	1
1.1.1 Problema específico.....	3
1.1.2 Importancia .....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
1.3 Delimitación del problema.....	6
1.3.1 Alcance .....	6
1.3.2 Limitaciones.....	7
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 Conceptos básicos.....	9
2.1.1 Ciclo hidrológico .....	9
2.1.2 Clasificación de las fuentes de abastecimiento de agua .....	9
2.1.2.1 Aguas superficiales .....	9
2.1.2.2 Aguas subterráneas .....	9
2.1.2.3 Aprovechamiento subsuperficial .....	10
2.1.3 Acuíferos.....	10
2.1.3.1 Acuíferos confinados .....	10
2.1.3.2 Acuíferos granular o no confinado .....	10

2.1.4 Contaminación .....	11
2.1.4.1 Contaminación puntual .....	11
2.1.4.2 Contaminación difusa .....	11
2.2. Caracterización de la calidad del agua.....	11
2.2.1 Parámetros físicos .....	12
2.2.1.1 Color .....	12
2.2.1.2 Temperatura .....	12
2.2.1.3 Turbiedad .....	13
2.2.1.4 Sólidos Totales.....	13
2.2.1.5 Conductividad .....	14
2.2.2 Parámetros químicos.....	14
2.2.2.1 Potencial de hidrógeno (pH) .....	14
2.2.2.2 Fósforo (P).....	15
2.2.2.3 Nitrógeno .....	15
2.2.2.4 Oxígeno Disuelto (OD).....	16
2.2.2.5 Alcalinidad.....	17
2.2.2.6 Dureza.....	18
2.2.2.7 Hierro.....	18
2.2.3 Parámetros microbiológicos .....	19
2.2.3.1 Coliformes totales .....	19
2.2.3.2 Coliformes fecales .....	19
2.2.3.3 <i>Escherichia coli</i> .....	20
2.3 Marco Legal .....	20
2.3.1 Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S .....	20
2.3.2 Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N°33903-MINAE-S .....	24
2.3.3 Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica .....	28
2.3.4 Ley Forestal N°7575 .....	32

2.3.5 Ley de Aguas N°276 .....	32
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>33</b>
3.1 Investigación bibliográfica .....	34
3.2 Descripción del área de estudio .....	35
3.2.1 Ubicación geográfica .....	35
3.2.2 Caracterización de la formación geológica regional.....	37
3.2.2.1 Formación Monteverde.....	37
3.2.2.2 Grupo Aguacate .....	38
3.2.2.3 Contexto geológico de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona .....	38
3.2.3 Orden, zonas de vida y usos del suelo .....	40
3.2.4 Caracterización climática.....	40
3.2.4.1 Temperatura.....	41
3.2.4.2 Precipitación .....	41
3.2.4.3 Humedad relativa.....	42
3.2.4.4 Evapotranspiración .....	43
3.2.5 Caracterización morfológica.....	43
3.3 Identificación y Caracterización de las nacientes .....	48
3.4 Análisis de calidad de agua de las muestras de nacientes.....	49
3.5 Análisis espacial del cambio de cobertura vegetal entre ambas estaciones climáticas ..	49
<b>CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE NACIENTES Y POZOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 Metodología: selección y análisis de las nacientes en estudio.....	50
4.2 Resultados.....	52
4.2.1 Listado de nacientes y pozos .....	52
4.2.1.2 Finca N°1 Hersán Soto.....	52
4.2.1.2.1 Naciente N36 .....	53
4.2.1.2.2 Naciente N37 .....	53
4.2.1.3 Finca N°2 María Eugenia Montero .....	54
4.2.1.3.1 Naciente N22 .....	55
4.2.1.3.2 Naciente N23 .....	56

4.2.1.4 Finca N°3 Eduardo Montero .....	56
4.2.1.4.1 Naciente N24 .....	57
4.2.1.4.2 Naciente N25 .....	58
4.2.1.4.3 Naciente N26 .....	60
4.2.1.5 Finca N°4 Ramón Vega .....	61
4.2.1.5.1 Naciente N27 .....	62
4.2.1.5.2 Naciente N28 .....	63
4.2.1.5.3 Naciente N29 .....	64
4.2.1.5.4 Naciente N30 .....	65
4.2.1.5.5 Naciente N31 .....	66
4.2.1.5.6 Naciente N32 .....	67
4.2.1.5.7 Naciente N33 .....	68
4.2.1.5.8 Pozo .....	69
4.2.1.6 Finca N°5 Gustavo Zamora.....	69
4.2.1.6.1 Naciente N16 .....	70
4.2.1.6.2 Naciente N17 .....	71
4.2.1.6.3 Naciente N18 .....	72
4.2.1.7 Finca N°6 Freddy Villalobos .....	72
4.2.1.7.1 Naciente N34 .....	73
4.2.1.7.2 Naciente N35 .....	74
4.2.1.8 Finca N°7 Yenory Arguedas .....	75
4.2.1.8.1 Naciente N10 .....	76
4.2.1.8.2 Naciente N11 .....	77
4.2.1.8.3 Naciente N12 .....	78
4.2.1.9 Finca N°8 Ovidio Fernández: Nacientes.....	79
4.2.1.9.1 Naciente N5 .....	80
4.2.1.9.2 Naciente N6 .....	80
4.2.1.9.3 Naciente N7 .....	82
4.2.1.10 Finca N°9 Lindor Rodríguez: Nacientes .....	82

4.2.1.10.1 Naciente N8 .....	83
4.2.1.10.2 Naciente N9 .....	84
4.2.1.11 Finca N°10 Eduardo Solano: Nacientes .....	84
4.2.1.11.1 Naciente N13 .....	85
4.2.1.11.2 Naciente N14 .....	86
4.2.1.11.3 Naciente N15 .....	87
4.2.1.12 Finca N°11 Daniel Montero .....	87
4.2.1.12.1 Naciente N19 .....	88
4.2.1.12.2 Naciente N20 .....	88
4.2.1.12.3 Naciente N21 .....	89
4.2.1.13 Finca N°12 Albino Morera: Nacientes .....	90
4.2.1.13.1 Naciente N1 .....	91
4.2.1.13.2 Naciente N2 .....	92
4.2.1.13.3 Naciente N3 .....	93
4.2.1.13.4 Naciente N4 .....	94
4.2.2 Registro de caudales para las nacientes aforadas en la zona de estudio .....	95
4.3 Análisis de los resultados .....	98
4.3.1 Análisis según el estado de la captación y el tipo de afloramiento .....	98
4.3.2 Determinación del año húmedo o seco para la cuenca del río Abangares: periodo 2012-2019 .....	99
4.3.3 Análisis de variación del caudal de las nacientes para el año hidrológico 2018-2019 .....	101
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....</b>	<b>104</b>
5.1. Metodología de los muestreos y equipo empleado .....	104
5.2 Resultados .....	106
5.2.1 Resumen de la estadística básica de los parámetros evaluados en las 16 muestras de la zona en estudio. ....	106
5.2.2 Análisis estadístico aplicado a los parámetros evaluados en las 16 muestras de la zona de estudio. ....	109

5.2.3 Clasificación según la normativa técnica del LNA y el reglamento para la calidad del agua potable .....	111
5.2.4 Clasificación según la normativa técnica del Laboratorio Nacional de Aguas para potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y sub superficiales en Costa Rica .	114
5.2.5 Clasificación según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales .....	115
5.2.5.1 Parámetros obligatorios para la clasificación de un cuerpo de agua .....	115
5.2.5.2 Parámetros complementarios para la clasificación de un cuerpo de agua .....	116
5.3. Análisis de los resultados.....	121
5.3.1 Análisis sobre la estadística básica aplicada a las 16 muestras de agua .....	121
5.3.2 Parámetros con evidencia de diferencia entre la época seca y lluviosa estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) .....	121
5.3.2.1 Fósforo .....	121
5.3.2.2 Hierro .....	122
5.3.2.3 Color aparente .....	122
5.3.2.4 Temperatura .....	123
5.3.2.5 Alcalinidad y dureza .....	123
5.3.2.6 Sólidos disueltos .....	124
5.3.2.7 Conductividad .....	124
5.3.2.8 Coloides .....	125
5.3.3 Parámetros sin evidencia de diferencia entre época seca y lluviosa estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).....	125
5.3.3.1 pH.....	125
5.3.3.2 Sólidos totales .....	126
5.3.3.3 Sólidos volátiles .....	126
5.3.3.4 Nitrógeno Amoniacal.....	127
5.3.3.5 Nitrito.....	127
5.3.3.6 Nitrito .....	127

5.3.4 Evaluación de las muestras utilizando del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad .....	128
5.3.5 Evaluación según el Reglamento para la Calidad de Agua Potable .....	129
5.3.6 Evaluación según la normativa técnica del LNA.....	129
<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ESPACIAL DEL DIAGNÓSTICO DE LAS AFECTACIONES DE LAS NACIENTES EN LA ZONA DE LA MICROCUENCA DE LOS RÍOS BOSTON Y GONGOLONA .....</b>	<b>131</b>
6.1 Determinación del cambio en la cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales.....	131
6.1.1 Método de clasificación supervisada .....	131
6.1.2 Resultados.....	133
6.1.3 Análisis de los resultados.....	137
6.2 Delimitación de las zonas de protección de las nacientes bajo la legislación vigente..	137
6.2.1 Procedimiento para la creación de las zonas buffer.....	137
6.2.2 Resultados.....	138
6.2.3 Análisis de los resultados.....	139
6.3 Cambio en el porcentaje de cobertura de suelo de la época seca con respecto a la época lluviosa para cada una de las nacientes.....	139
6.3.1 Técnica para obtener el porcentaje de cobertura de suelo entre ambas épocas climáticas .....	139
6.3.2 Resultados.....	139
6.3.3 Análisis de los resultados.....	142
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>144</b>
7.1 Conclusiones.....	144
7.2 Recomendaciones .....	147
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>149</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>153</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico del proyecto final de graduación.....	34
Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Abangares. ....	36
Figura 3. Microcuenca de los ríos Boston-Gongolona .....	37
Figura 4. Contexto geológico de la cuenca del río Abangares y microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. ....	39
Figura 5. Gráfico del comportamiento mensual de la precipitación durante el año hidrológico 2018-2019 de la Estación de San Rafael, Abangares. ....	42
Figura 6. Gráfico del comportamiento mensual de la evapotranspiración para el año 2018 de la estación San Rafael, Abangares. ....	43
Figura 7. Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.....	45
Figura 8. Modelo de elevación digital de la microcuenca en estudio.....	46
Figura 9. Curva hipsométrica de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. ....	48
Figura 10. Mapeo de las 37 nacientes y 1 pozo en la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.....	51
Figura 11. Fotografía de la Naciente N36.....	53
Figura 12. Fotografía de la Naciente N37.....	54
Figura 13. Fotografías de la Naciente N22.....	55
Figura 14. Fotografías de la Naciente N23 .....	56
Figura 15. Fotografías de la Naciente N24.....	58
Figura 16. Fotografías de la Naciente N25.....	59
Figura 17. Fotografías de la Naciente N26.....	60
Figura 18. Fotografías de la Naciente N27.....	62
Figura 19. Fotografías de la Naciente N28.....	63
Figura 20. Fotografías de la Naciente N29.....	64
Figura 21. Fotografía de la Naciente N30.....	65

Figura 22. Fotografías de la Naciente N31.....	66
Figura 23. Fotografías de la Naciente N32.....	67
Figura 24. Fotografías de la Naciente N33.....	68
Figura 25. Fotografías del pozo.....	69
Figura 26. Fotografía de la Naciente N16.....	70
Figura 27. Fotografías de la Naciente N17.....	71
Figura 28. Fotografías de la Naciente N18.....	72
Figura 29. Fotografías de la Naciente N34.....	74
Figura 30. Fotografías de la Naciente N35.....	75
Figura 31. Fotografías de la Naciente N10.....	77
Figura 32. Fotografías de la Naciente N11.....	78
Figura 33. Fotografías de la Naciente N12.....	79
Figura 34. Fotografías de la Naciente N5.....	80
Figura 35. Fotografías de la Naciente N6.....	81
Figura 36. Fotografías de la Naciente N7.....	82
Figura 37. Fotografías de la Naciente N8.....	83
Figura 38. Fotografías de la Naciente N9.....	84
Figura 39. Fotografía de la Naciente N13.....	85
Figura 40. Fotografías de la Naciente N14.....	86
Figura 41. Fotografías de la Naciente N15.....	87
Figura 42. Fotografías de la Naciente N19.....	88
Figura 43. Fotografías de la Naciente N20.....	89
Figura 44. Fotografías de la Naciente N21.....	90
Figura 45. Fotografías de la Naciente N1.....	92
Figura 46. Fotografías de la Naciente N2.....	93
Figura 47. Fotografías de la Naciente N3.....	94

Figura 48. Fotografía de la Naciente N4.....	95
Figura 49. Hidrogramas de las 5 nacientes que presentaron mayor caudal durante los aforos volumétricos de la época seca.....	101
Figura 50. Hidrogramas de las 5 nacientes que presentaron mayor caudal durante los aforos volumétricos de la época seca (continuación). ....	102
Figura 51. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona del mes de octubre 2018. ....	135
Figura 52. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona del mes de febrero 2019.....	136
Figura 53. Mapa de las áreas de protección de nacientes y pozos ubicadas dentro de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona .....	138
Figura 54. Mapa del cambio de cobertura del suelo de la época lluviosa a la época seca para cada una de las 37 nacientes a un radio de 200 m. ....	140

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros de calidad del Agua: Control operativo (CO) .....	21
Cuadro 2. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Primero (N1) .....	22
Cuadro 3. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Primero (N1) (continuación) .....	22
Cuadro 4. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Tercero (N3).....	23
Cuadro 5. Otros parámetros físicos e inorgánicos .....	23
Cuadro 6. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores. ....	24
Cuadro 7. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores .....	25
Cuadro 8. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales.....	26
Cuadro 9. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales (continuación) .....	27
Cuadro 10. Clasificación de las potenciales fuentes de abastecimiento.....	29
Cuadro 11. Ámbitos de parámetros y niveles de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales.....	30
Cuadro 12. Ámbitos de parámetros y niveles de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales (continuación).....	31
Cuadro 13. Generalidades morfológicas de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. ....	44
Cuadro 14. Listado de la ubicación en coordenadas CRTM-05 para las 7 nacientes y un pozo de la finca de Ramón Vega .....	61
Cuadro 15. Listado de la ubicación en coordenadas CRTM-05 para las 4 nacientes de la finca de Albino Morera .....	91
Cuadro 16. Resumen de los caudales obtenidos por medio de aforos volumétricos en la zona de estudio durante el año hidrológico 2018-2019.....	96
Cuadro 17. Resumen de los caudales obtenidos por medio de aforos volumétricos en la zona de estudio durante el año hidrológico 2018-2019 (continuación).....	97

Cuadro 18. Resumen del estado de captación de las nacientes del área de estudio.....	99
Cuadro 19. Determinación del tipo de año hidrológico: seco o húmedo para la cuenca del río Abangares. ....	100
Cuadro 20. Distribución del análisis de calidad del agua de las 37 nacientes y 1 pozo. ....	104
Cuadro 21. Nomenclatura de las 15 muestras de nacientes y 1 pozo para análisis de calidad del agua en laboratorio. ....	106
Cuadro 22. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros para las 16 muestras en la zona de estudio. ....	107
Cuadro 23. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros para las 16 muestras en la zona de estudio (continuación). ....	108
Cuadro 24. Análisis estadístico Wilcoxon Signed-Rank test aplicado a los parámetros de las muestras en la zona de estudio. ....	109
Cuadro 25. Análisis estadístico Wilcoxon Signed-Rank test aplicado a los parámetros de las muestras en la zona de estudio (continuación). ....	110
Cuadro 26. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos para las 16 muestras de agua de la zona de estudio durante la estación lluviosa 2018. ....	112
Cuadro 27. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos para las 16 muestras de agua de la zona de estudio durante la estación seca 2019. ....	113
Cuadro 28. Resultados de la clasificación de las muestras mediante los criterios de evaluación de la normativa técnica del LNA. ....	114
Cuadro 29. Parámetros fisicoquímicos principales para la clasificación de un cuerpo de agua superficial durante la estación lluviosa 2018. ....	115
Cuadro 30. Parámetros fisicoquímicos principales para la clasificación de un cuerpo de agua superficial durante la estación seca 2019. ....	116
Cuadro 31. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época lluviosa 2018. ....	117
Cuadro 32. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época lluviosa 2018 (continuación). ....	118
Cuadro 33. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época seca 2019. ....	119

Cuadro 34. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época seca 2019 (continuación).....	120
Cuadro 35. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 3 de febrero del 2019. ....	133
Cuadro 36. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 11 de octubre del 2019. ....	133
Cuadro 37. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 23 de octubre del 2019. ....	134
Cuadro 38. Áreas de cobertura vegetal del área del estudio durante los meses de octubre 2018 y febrero 2019. ....	134
Cuadro 39. Listado de posiciones de las 37 nacientes en función del cambio de cobertura de suelo (%) de época lluviosa a época seca. ....	141
Cuadro 40. Listado de posiciones de las 37 nacientes en función del cambio de cobertura de suelo (%) de época lluviosa a época seca (continuación). ....	142
Cuadro A41. Generalidades morfológicas de la cuenca del río Abangares y las subcuencas de los ríos Boston y Gongolona. ....	154
Cuadro A42. Datos de precipitación mensual y anual para la estación San Rafael. Años: 2014-2019 .....	157
Cuadro A43. Datos de precipitación mensual y anual para la estación Campos de Oro. Años: 2015-2019 .....	158
Cuadro A44. Datos de precipitación mensual y anual para las estaciones: Las Juntas y CINDEA. Años: 2012-2017. ....	159
Cuadro A45. Aforo volumétrico de la naciente N36 en la Finca N° 1 Hersan Soto.....	160
Cuadro A46. Resultados del Multiparámetros de las 37 nacientes y 1 pozo.....	161
Cuadro A47. Resultados del Multiparámetros de las 37 nacientes y 1 pozo (continuación). ....	162
Cuadro A48. Cronograma de los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos.....	163
Cuadro A49. Cálculo de los sólidos totales, volátiles y fijos en las muestras de la época lluviosa del 2018.....	164
Cuadro A50. Cálculo de los sólidos totales, volátiles y fijos en las muestras de la época seca del 2019.....	165

Cuadro A51. Resultados de los sólidos totales, filtrables, fijos, volátiles, suspendidos, disueltos y coloides de las muestras en la época lluviosa del 2018. ....	166
Cuadro A52. Resultados de los sólidos totales, filtrables, fijos, volátiles, suspendidos, disueltos y coloides de las muestras en la época seca del 2019. ....	167
Cuadro A53. Nitrógeno como nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal en las muestras de la época lluviosa del 2018. ....	168
Cuadro A54. Nitrógeno como nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal en las muestras de la época seca del 2019. ....	169
Cuadro A55. Hierro y fósforo en las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018. ....	170
Cuadro A56. Hierro y fósforo en las muestras tomadas en la época seca del 2019. ....	171
Cuadro A57. Alcalinidad y dureza en las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018. ....	172
Cuadro A58. Alcalinidad y dureza en las muestras tomadas en la época seca del 2019. ....	173
Cuadro A59. Turbidez y color aparente de las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018. ....	174
Cuadro A60. Turbidez y color aparente de las muestras tomadas en la época seca del 2019. ....	175
Cuadro A61. Clasificación asignada para cada parámetro de las muestras de la zona de estudio durante la estación lluviosa mediante la normativa técnica del LNA. ....	176
Cuadro A62. Clasificación asignada para cada parámetro de las muestras de la zona de estudio durante la estación seca mediante la normativa técnica del LNA. ....	177

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

<b>ENOS</b>	Fenómeno El Niño-Oscilación del Sur
<b>AyA</b>	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
<b>LNA</b>	Laboratorio Nacional de Aguas
<b>MINAE</b>	Ministerio de Ambiente y Energía
<b>SINAC</b>	Sistema Nacional de Areas de Conservación
<b>ASADAS</b>	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados
<b>CIEDES</b>	Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible
<b>SINIGIRH</b>	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
<b>NMP</b>	Número Más Probable
<b>UFC</b>	Unidad Formadora de Colonias
<b>TFG</b>	Trabajo Final de Graduación
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<b>PSO (%)</b>	Porcentaje de Oxígeno Disuelto
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>N-NH<sup>4+</sup></b>	Nitrógeno Amoniacal
<b>CRTM05</b>	Sistema oficial de coordenadas para Costa Rica acorde al decreto N°33797-MJ-MOPT

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Justificación

A nivel mundial, la disponibilidad del recurso hídrico cada día se vuelve más escasa, la demanda más bien es cada vez mayor, por lo que se debe de optar por tomar medidas urgentes para hacer un uso más eficiente del recurso. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece dentro de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, como objetivo N°6, el garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos los seres humanos. Esto es de suma importancia ya que, como derecho humano, se debe tener acceso al agua y garantizar su calidad y saneamiento, aptos para el consumo humano. Sin embargo, esta no es una realidad, especialmente para los sectores más vulnerables del mundo. Por lo que se debe de cumplir con un nivel básico de abastecimiento a la población y efectuar mejoras significativas en los accesos a las fuentes de suministro de agua, con el fin de lograr un saneamiento óptimo mediante un adecuado manejo de las aguas residuales e identificación de las potenciales fuentes de contaminación.

El recurso hídrico es ampliamente utilizado en varias actividades económicas tales como: agricultura, ganadería, minería, urbanización, turismo, generación de energía hidroeléctrica, entre otras. A su vez, el agua se encuentra directamente relacionada con la salud pública debido a su utilización en la producción de alimentos, riego y consumo humano. Por lo que un inadecuado manejo de las aguas residuales provenientes del sector urbano, industrial y agrícola conlleva a la exposición de la población a riesgos por transmisión de enfermedades, producto del deterioro y contaminación de las actuales y futuras fuentes de abastecimiento.

La sobreexplotación y la escasez del recurso hídrico, sumados al crecimiento demográfico, urbanización y cambio climático; son los principales retos para el abastecimiento de agua en el mundo (1). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para promover la salud humana, la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar el sector económico, se requiere de una gestión racional del agua dulce y acceso apto para el consumo humano (2).

Costa Rica es un país con capital hídrico en abundancia, ya que posee aproximadamente 113.1 km<sup>3</sup> de agua anuales, dicho volumen se compone de 73 km<sup>3</sup> de escorrentía superficial y 40 km<sup>3</sup> de recarga natural de acuíferos (3). De ahí la estrecha relación entre las aguas superficiales y las subterráneas, ya que, gracias al ciclo hidrológico, el agua que es recargada en los acuíferos se descarga posteriormente en las nacientes, ríos, lagos y mares.

A su vez, nuestro país dispone anualmente de más de 20 000 m<sup>3</sup> de agua/persona, lo cual corresponde a un valor muy alto a nivel Latinoamericano (4). Pese a que la cobertura nacional de agua potable para el año 2016 fue del 91.8% (5), existen varias comunidades que cuentan con un deficiente acceso al agua potable. De acuerdo con el informe *“Calidad del agua potable en sus diferentes usos en Guanacaste-Cosa Rica”*, en la provincia de Guanacaste, solamente el 76.2% de la población estaba siendo abastecida por agua potable para el año 2010. Ahora bien, de los 11 cantones que la conforman, el cantón de Abangares, en términos de calidad de agua potable, representa el 59.9% y se establece como recomendación el mejoramiento de dicha característica para el acceso a agua para consumo humano (ACH) (6) y promover la continuidad del servicio.

Por lo tanto, para lograr garantizar la calidad de los servicios de agua potable se requiere del ACH sumado a una apropiada captación y protección de las fuentes de agua, tales como: aguas superficiales, pozos y nacientes (7). Ahora bien, de las 34 cuencas hidrográficas en las que actualmente está dividido el territorio nacional, la cuenca del Río Abangares es una de las que se encuentra más instrumentalizada, ya que cuenta con 6 estaciones meteorológicas y 3 estaciones fluviográficas. Gracias a esto, se han recopilado amplios registros de información hidrológica y meteorológica suficiente para conocer sobre el potencial de la cuenca sumado a más de 15 años de investigación por parte la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, Municipalidad de Abangares y el CIEDES.

Es de suma importancia para la presente investigación el poder identificar y caracterizar las nacientes ubicadas dentro de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona; con el fin de determinar la disponibilidad del recurso hídrico, los usos posibles del agua tales como:

abastecimiento de agua potable, riego, turismo, ganadería, agro industria, entre otros; y reconocer las fuentes de contaminación que influyan sobre la misma. Para ello se requiere de una caracterización de la microcuenca y sus nacientes, análisis de calidad de agua y contaminantes, variación de caudal, comparación con imágenes aéreas, mapas de usos de suelo, cobertura vegetal entre otros. Además, puede servir como insumo para futuros estudios hidrogeológicos del área que establezcan información valiosa para la determinación del sitio de recarga de los acuíferos y las zonas de protección.

#### 1.1.1 Problema específico

La población de la cuenca del Río Abangares es vulnerable a la disponibilidad de agua para consumo humano, riego, ganadería e industria debido a la escasez durante la época seca y problemas de contaminantes durante la época lluviosa; siendo la calidad del agua un tema reiterativo en ambas épocas.

En la parte alta de la cuenca de Río Abangares predomina la minería aurífera de forma artesanal mediante el uso de rastras a pequeña escala. Lo cual podría ser una fuente de contaminación del agua por parte de metales pesados, como por ejemplo el mercurio, empleados en su extracción.

Específicamente, en el sector que comprende la microcuenca del río Boston y la Quebrada Gongolona existe una falta de identificación, mapeo y registro de la totalidad de las nacientes ubicadas en dicha zona. Actualmente, solo hay dos ASADAS registradas y concesionadas dentro del área de estudio: Marsellesa y Tres Amigos, acorde con la base de datos de la Municipalidad de Abangares; ubicadas en el distrito la Sierra del cantón de Abangares. Acorde con Quirós (8) la ASADA Tres Amigos se abastece por dos nacientes y su sistema cuenta con la captación, conducción, almacenamiento y desinfección del agua. Sin embargo, la ASADA Marsellesa no cuenta con el diseño de la infraestructura para la conducción de agua potable; se trata propiamente de una asociación vecinal para el desarrollo de un acueducto rural desde el año 2016. Cabe recalcar que ambas ASADAS gestionan nacientes que no se encuentran dentro del área de estudio de este trabajo.

El Plan regulador de la Municipalidad de Abangares aún no se encuentra en vigencia, lo cual les otorga mayor incertidumbre a las proyecciones de uso de suelo, delimitación de zonas de protección, usos del agua, información sobre las ASADAS y acueductos municipales, actividades productivas, entre otras. Además, no presenta registro alguno de las nacientes aprovechables ubicadas en todo el cantón.

Pese a que la capacidad del uso del suelo establece que se trata de cobertura de bosque, existe un auge en los procesos antrópicos (agricultura, ganadería, urbanización, industria, otros), por lo que pueden existir riesgos de contaminación de las nacientes por agroquímicos, fertilizantes (nitratos), microorganismos patógenos y aguas residuales.

#### 1.1.2 Importancia

El fenómeno natural denominado ENOS ha impactado predominantemente en el Caribe y la zona Norte de nuestro país por medio de una sequía meteorológica(9); lo cual produce principalmente cambios en las temperaturas y déficit en las lluvias. Pese a que Costa Rica se ha visto afectada por dicho fenómeno desde inicios del presente año, la provincia de Guanacaste es recurrente al presentar problemas de faltante de agua durante la época seca; siendo el cantón de Abangares ubicado en una zona declarada de emergencia de sequía (8).

Debido al deterioro y escasez de las fuentes superficiales de agua en nuestro país, es de suma importancia caracterizar las nacientes y considerar las potenciales fuentes de contaminación con el fin proponer medidas para mejorar la calidad del recurso hídrico. Además, se podría emplear este recurso para solventar la falta de abastecimiento de agua potable a las poblaciones aledañas a la zona, la gestión regulada del mismo para uso doméstico, riego y ganadería, dictar los eventuales riesgos de contaminación y disponibilidad del agua.

Las nacientes ubicadas en la microcuenca de estudio no han sido identificadas y caracterizadas, por lo que no cuentan con análisis de calidad previos. Resulta entonces de suma importancia caracterizar los parámetros de contaminación causados por las principales actividades socioeconómicas de la zona. Asimismo, el MINAE-SINAC están interesados en efectuar el levantamiento hídrico dentro de la zona protectora de Abangares, ya que se

encuentran formulando el plan de manejo para esta zona; por lo que la ubicación y caracterización de nacientes delimitadas dentro del área de estudio son insumos fundamentales en dicho proyecto.

Los resultados esperados en esta investigación permitirán a la administración de Abangares, tomar las medidas necesarias para determinar la capacidad del uso de suelo, ceder el visado de planos, autorizar permisos de construcción, otorgar concesiones de caudal, resguardar las zonas de recarga y descarga de las nacientes y permitir el desarrollo sostenible de la población sin afectar negativamente el recurso hídrico. Es decir, complementar a la toma de decisiones a nivel topográfico, arquitectónico e impacto ambiental debido al faltante de un Plan Regulador del cantón.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Identificar y evaluar el estado actual de conservación y el nivel de impacto ambiental en las nacientes principales de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar y caracterizar las nacientes existentes en la microcuenca de los ríos Boston-Gongolona con el fin de determinar si son de régimen permanente o intermitente.
2. Realizar la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua de las nacientes en función de las normas nacionales, para dictar los potenciales usos del agua y medidas de conservación.
3. Efectuar un diagnóstico de las afectaciones en la zona de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona mediante análisis de calidad del agua, uso de suelo y fuentes existentes y potenciales de contaminación.

### 1.3 Delimitación del problema

#### 1.3.1 Alcance

La presente investigación se centra en la identificación y caracterización física, fisicoquímica, variación de caudales, delimitación del área de protección acorde con la ley vigente, verificación en sitio del uso de suelo y actividades desarrolladas dentro del área de protección de las potenciales fuentes de abastecimiento de agua; de las nacientes ubicadas en la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona, al noreste de la cuenca del río Abangares. Inicialmente, se efectuará una investigación sobre análisis de cauces de ríos, información geológica existente de la zona, registros de las nacientes captadas en ASADAS, entre otros, para seleccionar los sitios probables de encontrar las nacientes a visitar. Luego, se realizarán visitas de campo para ubicar preliminarmente las nacientes en el área de estudio en función de la accesibilidad a la zona y permisos previos de los propietarios de las fincas.

La identificación y caracterización de las nacientes toma en consideración la ubicación con GPS, calidad del agua, características morfológicas de la microcuenca, las principales fuentes de contaminación y delimitación de áreas de protección acorde con lo que dicta la ley costarricense en vigencia.

La evaluación de la calidad del agua se basa en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la naciente tanto en época seca como lluviosa durante el periodo de investigación; la cual está sujeta a cambios en función del tiempo.

Se realizaron una serie de mediciones puntuales de caudal de manera mensual durante la época lluviosa y seca que comprenden al año hidrológico 2018-2019, es decir, desde el mes de mayo del 2018 hasta el mes de abril del 2019.

Para determinar el nivel de afectación de la microcuenca, se toman en cuenta las fuentes de contaminación, información sobre el uso del suelo, cobertura vegetal, imágenes satelitales y las actividades económicas predominantes.

Se utilizaron los registros de precipitación mensuales de las dos estaciones meteorológicas, propiedad de la Universidad de Costa Rica, más cercanas para correlacionar la variación de la precipitación con el caudal base de las nacientes y de esta forma estimar su comportamiento en función del año hidrológico 2018-2019.

No se realizarán los cálculos para determinar la recarga hídrica de los acuíferos ni la delimitación de las zonas de recarga debido a la falta de variables y mapeos hidrogeológicos de la zona de estudio.

Se evaluaron las áreas de protección mediante la observación en campo en función de los registros vigentes e imágenes satelitales del satélite Sentinel 2B.

Los parámetros utilizados para definir la contaminación del agua son: nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, fósforo, alcalinidad, dureza, turbidez, color aparente, hierro, conductividad, sólidos totales, temperatura, pH, oxígeno disuelto y *E. coli*.

### 1.3.2 Limitaciones

La cuenca del río Abangares cuenta con datos recientes de clima y fluviográficos. Por esta razón, la presente investigación se basa en los resultados de los proyectos de graduación realizados previamente, en términos de calidad del agua, usos del suelo y fuentes de contaminación, como indicadores de la situación actual aguas arriba de la cuenca.

La cantidad de muestreos y aforos fueron puntuales, se realizaron para la época seca y la época lluviosa y se limitan a las condiciones ambientales y de acceso disponibles por las vías públicas y fincas privadas.

El acceso a las fincas dentro del área de estudio fue limitado en algunos casos por la falta de permisos de algunos de los propietarios.

El método de estimación de caudal empleado fue el volumétrico, dadas las condiciones del punto de la toma de agua.

A su vez, las giras de campo se encontraron sujetas a la estacionalidad climática y transporte disponible.

Las pruebas de laboratorio se realizaron con el equipo y procedimiento estipulado por el laboratorio de Ingeniería Ambiental, de la Escuela de Ingeniería Civil, el cual no se encuentra certificado por lo que dichas pruebas no estarán certificadas.

Cabe destacar que los resultados obtenidos pueden presentar variaciones debido a la incertidumbre a nivel de equipos y usuario.

Dado que no existen datos de referencia con respecto a caudales y calidad del agua de las nacientes identificadas, se trabaja con información de otros TFG en la zona, visitas de campo y entrevistas a los propietarios de las fincas.

Acorde con la base de datos del SINIGIRH (10), de las 700 fuentes superficiales y subterráneas concesionadas en la cuenca del río Abangares; ninguna de las nacientes identificadas, registradas y mapeadas en la microcuenca en estudio se encuentran concesionadas.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se encuentran definidos los conceptos empleados durante la elaboración del presente estudio. En primer lugar, se hace referencia a los conceptos básicos importantes para la comprensión del proyecto. En segundo lugar, se muestran los parámetros clave para realizar la caracterización de la calidad del agua. Finalmente, se expone la normativa legal empleada para la clasificación del agua de las nacientes identificadas.

### **2.1 Conceptos básicos**

#### **2.1.1 Ciclo hidrológico**

Hace referencia al conjunto de cambios irregulares que experimenta el agua en la naturaleza a nivel de sus diferentes estados: sólido, líquido, gaseoso hasta en la forma en que se localiza: agua superficial o subterránea, entre otras (11).

#### **2.1.2 Clasificación de las fuentes de abastecimiento de agua**

##### **2.1.2.1 Aguas superficiales**

Las aguas superficiales se originan partiendo de las precipitaciones y afloramientos de aguas subterráneas que discurren superficialmente, por ejemplo: ríos, quebradas, lagos, embalses y canales de irrigación (4). Al igual que las aguas subterráneas, requiere de tratamientos previos a su consumo con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación y enfermedad derivada de la misma.

##### **2.1.2.2 Aguas subterráneas**

Acorde en lo establecido en la publicación del AyA (4), las aguas subterráneas se originan producto de la infiltración a través de formaciones de más de una capa subterránea de rocas. Dicha agua circula por los poros o fracturas y es aprovechada por medio de los pozos y manantiales. En función de su calidad y de la probabilidad de contaminación, dicha agua puede requerir de tratamientos para su saneamiento. A su vez, es posible extraer esta agua

por medio de perforaciones horizontales o verticales mediante el uso de sistema de bombeo sumergibles (12).

#### 2.1.2.3 Aprovechamiento subsuperficial

La entidad nacional LNA (12), hace referencia al sitio donde el nivel freático de un acuífero aflora a la superficie, lo cual ocurre debido a un corte en la topografía o cuando éste alcanza un estrato impermeable; el cual impide que se continúe infiltrando a mayor profundidad. Una vez que aflora, el recurso hídrico puede ser aprovechado por medio de captaciones para su posterior conducción al acueducto. Así mismo, el AyA (4) indica que las nacientes o manantiales son la apertura natural del acuífero y pueden estar compuestas por más de un afloramiento. Por lo que su aprovechamiento y protección es de suma prioridad.

#### 2.1.3 Acuíferos

Los acuíferos se definen como una unidad geológica que tiene la capacidad de almacenar y transmitir el agua a velocidades relativamente rápidas para poder suministrar cantidades razonables a los pozos. Algunos ejemplos de este tipo de unidades son los siguientes: arena y grava no consolidada, piedra caliza, dolomitas, areniscas, flujos de basalto y rocas plutónica y metamórfica fracturadas (13).

##### 2.1.3.1 Acuíferos confinados

Según Fetter (13) corresponden con aquellos acuíferos que se encuentran sobreyacidos por una capa confinante. La recarga de estos acuíferos se lleva a cabo en áreas donde aflora la roca perteneciente al mismo, o bien, por una filtración muy lenta a través de una capa confinante permeable. Estos acuíferos poseen una baja permeabilidad intrínseca, debido a esto, la capa de arriba ejerce una presión sobre la capa que contiene el agua.

##### 2.1.3.2 Acuíferos granular o no confinado

Como sostiene Fetter (13) los acuíferos libres o no confinados son los que se encuentran cercanos a la superficie con capas continuas compuestas de materiales con altas

permeabilidades intrínsecas extendiéndose desde la base del acuífero hasta la superficie. Es decir, desde la superficie hasta la capa confinante.

#### 2.1.4 Contaminación

##### 2.1.4.1 Contaminación puntual

Mihelcic et al (14) definen la contaminación desde una fuente puntual como la que presenta ubicaciones estacionarias, como por ejemplo una tubería de efluentes.

A su vez, la contaminación puntual por los macrocontaminantes: fósforo, materia orgánica, nitrógeno y sólidos suspendidos (14), o bien, compuestos nitrogenados, se asocia principalmente a las actividades de origen urbano, industrial y ganadería; debido a las aguas residuales y efluentes orgánicos obtenidos al final de su procesamiento (15).

##### 2.1.4.2 Contaminación difusa

Mihelcic et al (14) indican que la contaminación desde fuentes no puntuales o difusas se refiere a la descarga de contaminantes en sistemas acuáticos por medio del escurrimiento de la tierra y la atmósfera. Por su parte Bolaños et al (15) sostienen que en el caso de la contaminación difusa o dispersa, difiere de la puntual ya que solamente se le atribuye a la actividad agrícola, es decir, a la agricultura.

#### 2.2. Caracterización de la calidad del agua

La calidad del agua se encuentra determinada por varios parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los cuales a su vez, se encuentran normados tanto a nivel nacional como internacional con el fin de validar su inocuidad y dictar los usos en función de las actividades por realizar: consumo humano, recreación, acuicultura, riego, entre otras. A continuación, se establecen los parámetros más relevantes:

## 2.2.1 Parámetros físicos

### 2.2.1.1 Color

La ausencia o presencia del color en el agua se asocia comúnmente a la materia orgánica. En el caso de las aguas superficiales, estas pueden presentar cambios de color evidentes producto de la presencia natural de iones metálicos (principalmente hierro y manganeso), materia vegetal en descomposición y contaminantes provenientes de la industria o vertidos domésticos. El color se clasifica en dos tipos: color aparente y color verdadero.

El color aparente es producto de la materia disuelta y suspendida. Este se mide mediante el método de Platino-Cobalto (Pt-Co) por medio del uso de un colorímetro con una muestra intacta de agua y su valor se encuentra asociado a la turbiedad.

El color verdadero se debe a la materia en suspensión, es decir, a los coloides tales como: óxidos de hierro, colorantes industriales, disolución y lixiviado de material vegetal; entre otros. Su valor se obtiene posterior a la remoción del material coloidal de la muestra filtrada por membranas de 0.45  $\mu\text{m}$  (16).

### 2.2.1.2 Temperatura

Según Rodríguez (17) la temperatura de las fuentes subterráneas depende de las características del terreno que drenan, como es el caso de la naturaleza de las rocas. Además, el autor indica que la temperatura influye en el desarrollo de varios fenómenos que ocurren en el agua, principalmente en la solubilidad del oxígeno y de las sales y las reacciones biológicas. También, se tiene noción de que la temperatura afecta la conductividad eléctrica, ya que por cada grado Celsius la conductividad aumenta de 2% a 3% (16).

Acorde con el Reglamento de Calidad de Agua Potable N°38924-S (18) la temperatura corresponde al nivel primero de control de calidad y debe situarse en un rango de entre 18°C y 30°C.

### 2.2.1.3 Turbiedad

La turbiedad es producto tanto de la dispersión como de la absorbencia de la luz por las partículas suspendidas en el agua. Por esta razón, la turbiedad mide la claridad óptica del agua (14). Para obtener su valor se emplea el uso de equipos como el nefelómetro o turbidímetro, el cual reporta el valor obtenido en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT).

### 2.2.1.4 Sólidos Totales

Los sólidos totales corresponden a la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. Se pueden obtener al secar una muestra de 100 mL en un horno por 24 horas en un rango de temperatura entre 100°C y 105°C.

A su vez, los sólidos totales se dividen en sólidos filtrables y sólidos suspendidos o no filtrables. Los sólidos filtrables presentan un diámetro menor a 1.2  $\mu\text{m}$ , mientras que los sólidos suspendidos son partículas de más de 1.2  $\mu\text{m}$ ; por lo que son removidas fácilmente mediante materiales porosos de dicho diámetro. En el caso de los sólidos suspendidos, estos se agrupan en dos tipos: sólidos sedimentables y sólidos no sedimentables.

Ahora bien, los sólidos filtrables se subdividen en sólidos disueltos y coloides. Estos sólidos corresponden a materia orgánica, gases y sales disueltos(16) y se caracterizan por presentar tamaños de partícula menores a 0.001  $\mu\text{m}$  (14). Acorde con Vidal (16) las concentraciones de sólidos disueltos en el agua potable se presentan en los rangos de 20 mg/L a 1000 mg/L y el incremento de la dureza es proporcional al aumento en dicha concentración de sólidos disueltos. Por su parte, las partículas coloidales presentan un tamaño entre 0.001  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$  (14).

Existe otra clasificación de los sólidos totales, ya que pueden dividirse en sólidos fijos y sólidos volátiles. De acuerdo con Mihelcic (14) la forma de determinar la fracción volátil de una muestra es al calentarla en un horno a 500°C ( $\pm 50^\circ\text{C}$ ). Gracias a la alta temperatura de ignición se obtiene una pérdida de peso y ésta corresponde a los sólidos volátiles. La fracción

fija es lo remanente en la cápsula de la muestra. Por lo tanto, los sólidos fijos corresponden a la materia inorgánica y los volátiles son un indicador de materia orgánica. Sin embargo, los sólidos volátiles se cuantifican mediante la diferencia de peso entre sólidos totales y los fijos de las muestras de laboratorio.

#### 2.2.1.5 Conductividad

La conductividad es la habilidad de una solución para conducir electricidad (17) y mide la actividad eléctrica de los iones en dilución en unidades de  $\mu$ Siemens/cm (16). Este parámetro calcula indirectamente el grado de contaminación de las aguas y se relaciona con la cantidad de sólidos disueltos en el medio acuoso. Es decir, conforme incrementa la conductividad, tanto la contaminación como los sólidos disueltos también aumentan.

Cabe recalcar que el Reglamento para la Calidad de Agua Potable N°38924-S (18) posiciona la conductividad como uno de los parámetros del primer nivel de control de la calidad y le asigna un valor alerta de 400  $\mu$ S/cm.

#### 2.2.2 Parámetros químicos

##### 2.2.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno, o bien, pH se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración de iones hidrógeno acuoso, mediante la siguiente ecuación(19):

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad [1]$$

Dichos valores se encuentran estipulados en una escala con valores del 0 al 14. Siendo 0 un valor muy ácido, 7 corresponde al pH neutro a 25°C y 14 un valor muy alcalino. A su vez, Rodríguez (17) señala que el pH de las aguas varía entre los rangos de 4.5-8.5, incluyendo un valor de 5.6 correspondiente al agua de lluvia en equilibrio con el CO<sub>2</sub> atmosférico.

Según el decreto N°38924-S(18) el pH es un parámetro de calidad del control operativo y establece un valor alerta de 6.0 y un máximo admisible de 8.0.

#### 2.2.2.2 Fósforo (P)

Von Sperling (20) indica que tanto el fósforo como el nitrógeno se deben principalmente a la presencia de sólidos disueltos y suspendidos. El origen natural del fósforo se le atribuye a 3 condiciones: la composición celular de los microorganismos, la descomposición de la materia orgánica y la disolución de compuestos del suelo. Mientras que los vertidos domésticos e industriales, detergentes, fertilizantes y excrementos de animales son fuentes de fósforo de causas humanas.

En el medio acuoso el fósforo se presenta como fósforo orgánico, ortofosfatos y polifosfatos. Los polifosfatos son moléculas con más de dos átomos de fósforo y éstas pueden sufrir hidrólisis lenta a ortofosfatos en solución acuosa. Los ortofosfatos se manifiestan en el agua en función del pH y algunas de sus formas son:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; las cuales se encuentran a disposición del metabolismo biológico sin necesidad de transformación extra. De las tres formas del fósforo, los ortofosfatos son la estructura más nociva para producir eutrofización y se miden por colorimetría (21).

Al igual que el nitrógeno, un alto contenido de fósforo en el medio produce un acelerado crecimiento de algas y bacterias, lo cual contribuye a la eutrofización. De acuerdo con Von Sperling (20) es un nutriente fundamental en el crecimiento de los microorganismos responsables por la estabilización de la materia orgánica.

En nuestro país, dicho parámetro no se encuentra normado dentro de la caracterización de cuerpos de agua superficiales. Sin embargo, los siguientes rangos de valores pueden ser empelados como indicadores del estado de eutrofización de lagos (20): no eutrófico ( $\text{P} < 0.01 \text{mg/L} - 0.02 \text{mg/L}$ ), intermedio ( $0.01 \text{mg/L} - 0.02 \text{mg/L} \leq \text{P} \leq 0.05 \text{mg/L}$ ) y eutrófico ( $\text{P} > 0.05 \text{mg/L}$ ).

#### 2.2.2.3 Nitrógeno

El ciclo del nitrógeno presenta varios estados de oxidación y tiene origen tanto natural como antrópico. El origen natural hace referencia al nitrógeno como constituyente de proteínas y a

la composición celular de microorganismos. Por su parte, el principio antrópico se refiere al nitrógeno producto de excretas animales, fertilizantes y vertidos domésticos e industriales (20).

El nitrógeno total es la sumatoria del nitrógeno orgánico, amoniacal, nitrato y nitritos. En el caso del nitrógeno amoniacal, éste existe en solución acuosa como  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NH}_3$  en función del pH. Es decir, que a valores de pH mayores al neutro, el ion  $\text{NH}_4^+$  predomina. El amoniacal se oxida a Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego a Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (21). Por lo que esta conversión bioquímica involucra el consumo de oxígeno disuelto del medio; lo que puede afectar la vida acuática. Caso contrario, da pie a la eutrofización por una alta concentración de nitrógeno en cuerpos de agua tales como lagos (20).

Cabe recalcar que la determinación de la forma predominante del nitrógeno puede brindar información del estado de contaminación del cuerpo de agua. Esto quiere decir que una contaminación antigua se relaciona a la presencia de nitratos, mientras que una contaminación reciente se asocia al contenido de nitrógeno orgánico o amoniacal (20).

En Costa Rica, el nitrato y nitrito son empleados en la caracterización de cuerpos de agua bajo el decreto N° 38924-S(18) como el nivel tercero de control de calidad con valores admisibles de 50 mg/L y 0.1 mg/L; respectivamente. Por su parte, el nitrógeno amoniacal es empleado como parámetro de clasificación de los cuerpos de agua superficiales acorde con el decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S.

#### 2.2.2.4 Oxígeno Disuelto (OD)

Brown et al. (19) establecen que la cantidad de oxígeno disuelto,  $\text{O}_2$ , en el agua es un indicador importante de la calidad de la misma. Además, los autores indican que el agua completamente saturada contiene 9 ppm de oxígeno disuelto a 1 atm y 20°C. En contraste Von Sperling (20) determina que la solubilidad del oxígeno disuelto varía en función de la temperatura y la altitud, por lo que establece que la concentración de oxígeno saturado es a la de 9.2 mg/L a 20°C y a nivel del mar.

El oxígeno disuelto tiene origen tanto natural como antrópico. En el primer caso, se debe a la disolución del oxígeno atmosférico o a la producción por parte de organismos fotosintéticos. En el segundo proceso, se debe a la incorporación de aeración artificial o a la producción por los organismos fotosintéticos en cuerpos de agua eutrofizados (20).

Von Sperling (20) indica que el oxígeno disuelto es empleado comúnmente en la caracterización de cuerpos de agua, dado que es el principal parámetro que establece los efectos de la contaminación de las aguas debido a vertimientos orgánicos. Dado que valores superiores a la saturación indican presencia de algas y valores inferiores indican presencia de materia orgánica. Por ejemplo, para valores de 2 mg/L se da la muerte de todos los peces y las condiciones anaerobias ocurren a concentraciones de 0 mg/L.

En nuestro país bajo el decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S (22) se establece un rango de asignación de puntaje para el porcentaje de oxígeno disuelto (PSO%) desde  $\leq 30\%$  hasta el 100%.

#### 2.2.2.5 Alcalinidad

Pérez (23) define la alcalinidad como la medida de la capacidad del agua para mantener su pH al adicionarle una solución ácida o alcalina. También se conoce como la capacidad que presenta el agua para neutralizar ácidos. La forma de expresar dicho parámetro es en miligramos de carbonato cálcico por litro (mg CaCO<sub>3</sub>/L) mediante la titulación con un ácido; por ejemplo el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

En las aguas superficiales, la alcalinidad se determina principalmente por el contenido de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos de los iones más comunes como el calcio y magnesio (23); y esporádicamente, por la presencia sales de ácidos débiles como los boratos, silicatos, nitratos y fosfatos (16). La alcalinidad es empleada como indicador de la productividad de los cuerpos de agua naturales y en el tratamiento de aguas o efluentes(24).

Los límites admisibles de este parámetro se encuentran entre los rangos de 30 mg/L y 250 mg/L. En el caso de que el valor de alcalinidad del agua sea inferior a 10 m/L, esta no se

recomienda debido a que se torna altamente corrosiva (16). Acorde con Pérez (23) para el agua potable el valor máximo de alcalinidad es de 300 mg/L y para aguas residuales domésticas corresponde a 250 mg/L. A nivel nacional, dicho parámetro no se encuentra normado dentro de la legislación vigente.

#### 2.2.2.6 Dureza

La dureza total se constituye principalmente de las concentraciones de dos cationes bivalentes: los iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y también por la presencia de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ) y estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ) (14). Dicho parámetro se mide como miligramos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) por litro.

Para las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, los valores de dureza por encima de los 60 mg/L pueden ser considerados como molestos a nivel de provisión de aguas (14).

Pérez (23) establece que la problemática con la dureza es más evidenciable en las nacientes que en fuentes de agua superficiales, ya que las aguas subterráneas arrastran mayor cantidad de minerales tales como el calcio y magnesio; los cuales aumentan el valor de dureza.

En nuestro país, la legislación vigente establece la dureza como parámetro de control de calidad del segundo nivel e indica que su valor alerta y máximo admisible son 300 mg/L y 400 mg/L (18); respectivamente.

#### 2.2.2.7 Hierro

Al igual que el fósforo y el nitrógeno, las trazas de hierro se deben directamente por la presencia de sólidos suspendidos o disueltos. Se origina naturalmente gracias a la disolución de compuestos del suelo, mientras que producto de la acción del hombre su origen se debe a los derrames industriales.

El hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) se encuentra presente en el suelo como compuesto insoluble, principalmente como óxido férrico. No obstante, en ausencia de oxígeno disuelto, se muestra en la forma soluble reducida como  $\text{Fe}^{2+}$ ; tal es el caso del agua subterránea o en las profundidades de

lagos y represas (20). El agua con contenidos de hierro reducido expuestas al oxígeno, se convierten en aguas turbias e inaceptables debido a la lenta tasa de oxidación del mismo; usualmente para valores de pH menores que 6 (16).

Su importancia radica en que bajas concentraciones de dicho elemento causan problemas de precipitación y en el color del agua; afectando el olor y sabor de la misma. Además, es importante estar alerta sobre la cantidad de hierro como control preventivo de la corrosión de tuberías de hierro galvanizado o fundido.

Acorde con Vidal (16) la concentración de hierro en aguas subterráneas varía considerablemente con respecto a la de las aguas superficiales, ya que se reportan valores de hasta 10 mg/L con respecto a concentraciones menores que 1 mg/L. En Costa Rica, su valor se encuentra normado como parámetro de control de calidad del agua de análisis obligatorio con un valor máximo admisible de 0.3 mg/L (18).

### 2.2.3 Parámetros microbiológicos

#### 2.2.3.1 Coliformes totales

Las coliformes totales son microorganismos que presentan las mismas características de los coliformes fecales pero a un rango de temperatura de 35°C o 37°C en un periodo de 24 a 48 horas (25).

La presencia y ausencia de coliformes totales es un indicador en los cuerpos de agua para determinar si el recurso hídrico ha sido o se encuentra contaminado con materia orgánica de origen fecal tanto por humanos o animales (26).

#### 2.2.3.2 Coliformes fecales

El decreto ejecutivo N° 33903-MINAE-S (22) define a las coliformes termo resistentes, termo tolerantes, o bien, fecales como bacilo gramnegativo no esporulado que se puede desarrollar en presencia de sales biliares u otros agentes tenso activos con similares

propiedades de inhibición de crecimiento, sin citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 44 °C o 44.5 °C en un periodo de 24 a 48 horas.

Las coliformes fecales se encuentran presentes en las heces de origen animal y humano. Por esta razón, son un indicador indirecto del potencial riesgo de contaminación por agentes patógenos tales como bacterias o virus (26).

Acorde con el reglamento nacional (18) su valor no debe ser detectable y sus unidades son NMP/100 mL o UFC/100 mL.

### *2.2.3.3 Escherichia coli*

Este parámetro microbiológico son bacterias de coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos, como el manitol a 44°C o 44.5°C con producción de gas (25). A su vez, es el indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal (27) expresado en NMP/100 mL o UFC/100 mL.

Cabe señalar que este tipo de bacterias son transmitidas vía fecal-oral por la ingesta de agua y alimentos; causan cuadros de diarrea tanto en niños como adultos ya que su periodo de incubación es de 3 a 5 días (28).

Al igual que las coliformes fecales, éste parámetro microbiológico se encuentra normado a nivel nacional y su valor no debe de ser detectable para el consumo de agua potable.

## 2.3 Marco Legal

A nivel nacional, existe normativa vigente que garantiza la inocuidad, calidad y potabilidad del agua para consumo humano y otros usos; en función de la determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

### 2.3.1 Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S

*El Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S* establece los límites máximos permisibles de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable con el propósito de garantizar la inocuidad y salud de las personas. Dichos parámetros los agrupa

en un control periódico por parte de los entes operadores: control operativo (CO) y en cuatro niveles de control de calidad de análisis obligatorio por inspecciones sanitarias: nivel primero (N1), nivel segundo (N2), nivel tercero (N3), nivel cuarto (N4); los cuales se describen a continuación en los cuadros 1 al 5.

Cuadro 1. Parámetros de calidad del Agua: Control operativo (CO)

<b>Parámetros de aceptabilidad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Alerta (VA)</b>	<b>Valor Máximo Admisible (VMA)</b>
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	-	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
pH (a)	Valor pH	6.0	8.0
Cloro residual libre (a)	mg/L	0.3	0.6 (b) (c)
<p>(a) Para los parámetros de pH y cloro residual libre, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.</p> <p>(b) Se permitirá valor máximo de cloro residual libre de 0.8 mg/L en no más del 20% de las muestras medidas.</p> <p>(c) En situaciones de emergencia calificadas como tal por el Ministerio de Salud se permitirá una concentración de cloro residual libre de 0.8 mg/L en los puntos de muestreo medidos en la red de distribución.</p>			

Fuente: Decreto ejecutivo N°38924-S (18)

Cuadro 2. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Primero (N1)

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Color aparente	U-Pt-Co	<5	15 (c)
Conductividad	μS/cm	400	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL o UFC/100 mL	No detectable (c)	No detectable (c)
Cloro residual libre (a)	mg/L	0.3	0.6 (d,e)

Fuente: Decreto ejecutivo N°38924-S (18)

Cuadro 3. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Primero (N1) (continuación).

Parámetro	Unidad	Valor Alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Cloro residual combinado (a) (b)	mg/L	1.0	1.8

(a) Para los parámetros de pH, temperatura, cloro residual libre y cloro residual combinado, se establece rangos permisibles y no VA ni VMA.  
 (b) Sólo en el caso que el residual del cloro se encuentre en forma combinada o se esté dosificando cloro en la forma de cloramina (cloro-amoniaco).  
 (c) No detectable (N.D.): de acuerdo al límite de detección del Método.  
 (d) Se permitirá valor máximo de cloro residual libre de 0,8 mg/L en no más del 20 % de las muestras medidas.  
 (e) En situaciones de emergencia calificadas como tal por el Ministerio de Salud se permitirá una concentración de cloro residual libre de 0,8 mg/L en los puntos de muestreo medidos en la red de distribución

Fuente: Decreto ejecutivo N°38924-S (18)

Cuadro 4. Parámetros de calidad del Agua: Nivel Tercero (N3)

Parámetro	Valor Alerta (VA) mg/L	Valor Máximo Admisible (VMA) mg/L
Aluminio (Al <sup>+3</sup> )	-	0.2
Calcio (Ca <sup>+2</sup> )	-	100
Cloruro	25	250
Cobre (Cu)	1.0	2.0
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	300	400
Fluoruro (F)	-	0.7 a 1.5 (a)
Hierro (Fe)	-	0.3 (b)
Magnesio (Mg <sup>+2</sup> )	30	50
Manganeso (Mn)	0.1	0.5 (b)
Potasio (K <sup>+</sup> )	-	10
Sodio (Na <sup>+</sup> )	25	200
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	25	250
Zinc (Zn)	-	3.0

(a) 1.5 mg/L para temperaturas de 8 a 12 °C y 0,7 mg/L para temperaturas de 25 a 30 °C.  
 (b) En aguas subterráneas, donde se encuentran estos dos metales, el VMA (Fe + Mn) es 0,3 mg/L.

Fuente: Decreto ejecutivo N°38924-S (18)

Cuadro 5. Otros parámetros físicos e inorgánicos

Parámetro	Valor Alerta (VA) mg/L	Valor Máximo Admisible (VMA) mg/L
Sólidos totales disueltos	-	1000
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.05	0.5
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	-	0.05

Fuente: Decreto ejecutivo N°38924-S (18)

### 2.3.2 Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N°33903-MINAE-S

El decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S permite la clasificación para los diferentes usos del recurso hídrico en función de los parámetros fisicoquímicos iniciales y complementarios basados en la previa aplicación de la metodología del sistema holandés de valoración de calidad del agua. Además establece los respectivos métodos de muestreo y monitoreo biológico.

En el análisis de calidad se aplicará, en primer lugar, el modelo de clasificación fisicoquímica de la calidad del agua superficial del Sistema Holandés de Valoración. Mediante la evaluación de los tres parámetros de contaminación orgánica en el agua establecidos en el artículo 4 de dicho reglamento: porcentaje de saturación de oxígeno (PSO%), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el nitrógeno amoniacal (N-NH<sup>4+</sup>). A cada uno de estos parámetros se les asigna un puntaje en función del rango de valores donde se encuentre la muestra de agua en cuestión.

Cuadro 6. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

<b>Puntos</b>	<b>PSO (%)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>N-NH<sup>4+</sup> (mg/L)</b>
1	91-100	≤3	<0.5
2	71-90 y 111-120	3.1-6.0	0.5-1.0
3	51-70 y 121-130	6.1-9.0	1.1-2.0
4	31-50	9.1-15	2.1-5.0
5	≤30 y >130	>15	>5.0

Fuente: Decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S (22)

Ahora bien, en función de la sumatoria de puntos obtenido, se establece una clasificación en cinco clases por código de colores en función del grado de contaminación del agua.

Cuadro 7. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	<b>Azul</b>	Sin contaminación
2	4-6	<b>Verde</b>	Contaminación incipiente
3	7-9	<b>Amarillo</b>	Contaminación moderada
4	10-12	<b>Anaranjado</b>	Contaminación severa
5	13-15	<b>Rojo</b>	Contaminación muy severa

Fuente: Decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S (22)

Los demás parámetros complementarios para la clasificación en función de las clases obtenidas del cuadro 7, se señalan en el artículo 5 del presente reglamento:

Cuadro 8. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales.

<b>Parámetros Complementarios</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Turbiedad	UNT	<25	25 a <100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura	°C	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrogeno	pH	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	6.0 a 9.0	5.5 a 9.5	5.5 a 9.5
Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg N/L	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cloruros (como Cl)	mg/L	<100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F)	mg/L	<1.0	1 a 1.5	NA	NA	NA
Color	Pt-Co	2.5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Sólidos Disueltos	mg/L	<250	250 a <500	50 a 1000	>1000	>1000
Grasas y Aceites	mg/L	ND	ND	ND	ND	15 a 25

Fuente: Decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S (22)

Cuadro 9. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales (continuación).

Parámetros Complementarios	Unidades	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico	mg/L	<0.01	<0.01	0.01 a 0.05	>0.05	>0.05
Boro	mg/L	0.1	0.2	0.5	1	1
Cadmio	mg/L	<0.005	0.005	0.01	0.02	0.02
Cianuro	mg CN <sup>-</sup> /L	<0.1	0.1 a <0.2	0.2	>0.2	>0.2
Cobre	mg/L	<0.5	0.5 a <1	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0	2.0 a 2.5
Cromo Total	mg/L	<0.05	0.05	0.2	0.50	>0.5
Magnesio	mg MgCO <sub>3</sub> /L	<30	30 a 50	>50	>50	>50
Mercurio	mg/L	<0.001	0.001	0.002	0.004	0.005
Níquel	mg/L	<0.05	0.05	0.1	0.2	0.3
Plomo	mg/L	<0.03	0.03 a <0.05	0.05 a <0.10	0.10 a <0.2	0.20
Selenio	mg/L	<0.005	0.005 a <0.010	0.010 a <0.020	0.020 a <0.050	0.05
Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	<150	150 a 250	>250	>250	>250
<b>Parámetros orgánicos</b>						
Sumatoria de los Compuestos Organoclorados	mg/L	ND	ND	ND	0.01	0.01
Sumatoria de los Compuestos Organofosforados	mg/L	ND	ND	ND	0.01	0.01
<b>Biológicos</b>						
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000
<i>ND: No detectable por el método utilizado, NA: No aplicable, (1) Natural o que no afecte el uso indicado</i>						

Fuente: Decreto ejecutivo N°33903-MINAE-S (22)

Cabe recalcar que los parámetros seleccionados en el análisis de calidad, es con el fin de evaluar el potencial de las nacientes como fuente de abastecimiento de agua potable.

### 2.3.3 Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica

El LNA clasifica las fuentes subsuperficiales y subterráneas en función de su calidad mediante una normativa técnica consignada en marzo del presente año denominada *Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica*. Esto a raíz de que en nuestro país no existe un instrumento legal que se acople a la clasificación de dichas fuentes de abasto.

La presente reglamentación tiene como objetivo el lograr clasificar este tipo de fuentes de abastecimiento en función del grado de dificultad para su potabilización mediante los parámetros de calidad del agua. Y a su vez, que sirva como herramienta para los entes operadores de acueductos y al personal del LNA (12).

La clasificación de las fuentes se divide en cuatro categorías: A, B, C y D, sus respectivos incumplimientos y recomendaciones se denotan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Clasificación de las potenciales fuentes de abastecimiento.

<b>Categorías</b>	<b>Parámetros que incumplen límite establecido. (1)</b>	<b>Recomendaciones</b>
A	Agua apta para el consumo humano. Ningún parámetro incumple el límite establecido.	Aplicar tratamiento de desinfección para prevenir eventuales contaminaciones.
B	Presencia de coliformes fecales.	Se requiere aplicar tratamiento de desinfección.
C	Valores superiores al límite establecido de parámetros con casos de éxito de remoción en Costa Rica: turbiedad, color aparente, arsénico, aluminio, pH, hierro, manganeso y amonio. (3)	Requiere diluir con otras fuentes, buscar fuentes alternativas o aplicar tratamiento; considerar el caudal de la fuente, disponibilidad de otras fuentes y demandas de la población.
D	Valores superiores al límite establecido de parámetros sin experiencia de remoción en Costa Rica: antimonio, cadmio, calcio, cianuro, cloruros, cobre, cromo, dureza total, fluoruros, magnesio, mercurio, níquel, nitratos, nitritos, plaguicidas, plomo, selenio, sólidos disueltos totales, sulfato y zinc. (4)	Dependiendo del contaminante requiere buscar fuentes alternativas, diluir con otras fuentes o aplicar tratamiento; considerar el caudal de la fuente, disponibilidad de otras fuentes y demandas de la población.
<p>(1)En el Cuadro 11 se enumeran los parámetros evaluados con su respectivo límite establecido por los autores del presente documento; el límite de cada parámetro no necesariamente coincide con el valor máximo admisible (VMA) del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015).</p> <p>(2) Todo proceso de potabilización incluye una etapa final de desinfección por cloración; la dosificación del cloro varía en función de la concentración de coliformes fecales, turbiedad, concentraciones de agentes reductores y volumen del agua.</p> <p>(3) Existen casos de éxito de remoción de estos parámetros en Costa Rica, el AyA ya ha implementado soluciones eficientes de potabilización. La información se puede consultar en las Hojas Técnicas Conceptuales elaboradas por el Área Funcional de Investigación Aplicada de la UEN de Investigación y Desarrollo del AyA.</p> <p>(4) Existe poca experiencia en Costa Rica para la remoción de éstos parámetros.</p> <p>Fuente: Área de Agua Potable, LNA</p>		

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas(12)

En los cuadros 11 y 12 se enlistan los parámetros con su categoría asignada en caso de sobrepasar el valor límite empleados en la clasificación de las fuentes de abastecimiento.

Cuadro 11. Ámbitos de parámetros y niveles de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales.

<b>Parámetro</b>	<b>Límite establecido (1)</b>	<b>Categoría por incumplimiento (2)</b>
Aluminio (µg/L)	200	C
Amonio (mg/L)	0,50	C
Antimonio (µg/L)	5,0	D
Arsénico (µg/L)	10,0	C
Cadmio (µg/L)	3,0	D
Calcio (mg/L)	100	D
Cianuro (mg/L)	0,07	D
Cloruros (mg/L)	250	D
Cobre (µg/L)	2000	D
Coliformes fecales (3)	< 1 NMP/100 mL, <1 UFC/100 mL	B
Color Aparente (U-Pt-Co)	15	C
Conductividad (µS/cm)	1000	D
Cromo (µg/L)	50	D
Dureza total (mg/L)	400	D
Fluoruros(mg/L)	1,50	D
Hierro (µg/L)	300	C
Magnesio (mg/L)	50	D
Manganeso (µg/L) (4)	50	C
Mercurio (µg/L)	1,0	D
Níquel (µg/L)	21	D
Nitratos (mg/L)	50	D
Nitritos (mg/L)	0,10	D
pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	C
Plaguicidas	VMA	D
Plomo (µg/L)	10,0	D

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas(12)

Cuadro 12. Ámbitos de parámetros y niveles de calidad del agua de las fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales (continuación).

Parámetro	Límite establecido (1)	Categoría por incumplimiento (2)
Selenio (µg/L)	10,0	D
Sólidos disueltos totales (mg/L) (5)	1000	D
Sulfatos (mg/L)	250	D
Turbiedad (UNT)	5	C
Zinc (µg/L)	3000	D
<p>(1) Los límites fueron establecidos por los autores del presente documento; el límite de cada parámetro no necesariamente coincide con el valor máximo admisible (VMA) del Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto Ejecutivo N° 38924-S, 2015).</p> <p>(2) Se considera incumplimiento cuando los valores del parámetro superan el límite establecido; con la excepción del pH que establece un ámbito, fuera del ámbito se considera incumplimiento.</p> <p>(3) Un resultado Negativo se interpreta como un valor menor al límite establecido. Se aplica una de las tres técnicas de laboratorio: filtración por membrana, técnica de tubos múltiples y técnica de sustrato definido.</p> <p>(4) Límite basado en los niveles máximos de contaminantes secundarios de definidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y en la normativa alemana.</p> <p>(5) Se supone una concentración constante de 70 mg/L de sílice para evaluar los sólidos disueltos totales, propuesta en el estudio denominado Interpretación de Calidad de Agua para Casos con Potencial Intrusión Salina (Lazo &amp; Solís, 2018).</p> <p>Fuente: Área de Agua Potable, LNA.</p>		

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas(12)

#### 2.3.4 Ley Forestal N°7575

La ley forestal en nuestro país desde el año 1996 establece en el artículo 33 que las áreas de protección son aquellas que bordean a las nacientes permanentes definidas en un radio de cien metros medido de modo horizontal, una franja de quince metros en zona rural y diez metros en zona urbana, medidos horizontalmente a ambos lados de los ríos, quebradas o arroyos en terrenos planos y cincuenta metros horizontales en terrenos quebrados. Las áreas de recarga y los acuíferos de manantiales cuyos límites serán determinados por los órganos establecidos en el reglamento de esta ley (29).

#### 2.3.5 Ley de Aguas N°276

El artículo 31 de la ley de aguas declara como reserva de dominio a favor de la Nación, las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio; y la zona forestal que protege o debe proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas (30).

### **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

La metodología de la presente investigación se compone de tres etapas descritas detalladamente en los capítulos 4 al 7. A continuación, se brinda un resumen general sobre las tres etapas. La primera etapa corresponde a la investigación bibliográfica, donde se definen los objetivos y se delimita el problema. A su vez se realiza una revisión literaria exhaustiva. Seguidamente, la segunda etapa consiste en realizar la identificación y caracterización de las nacientes mediante visitas de campo, las cuales se componen principalmente de muestreos y aforos. Finalmente, la tercera etapa corresponde a los análisis de los resultados y elaboración de las conclusiones. Esta etapa hace referencia a los ensayos de laboratorio para poder determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua de las nacientes, análisis de variación de caudal y análisis de parámetros espaciales para brindar el diagnóstico de la afectación de las mismas. El esquema de la metodología se presenta en la figura 1.

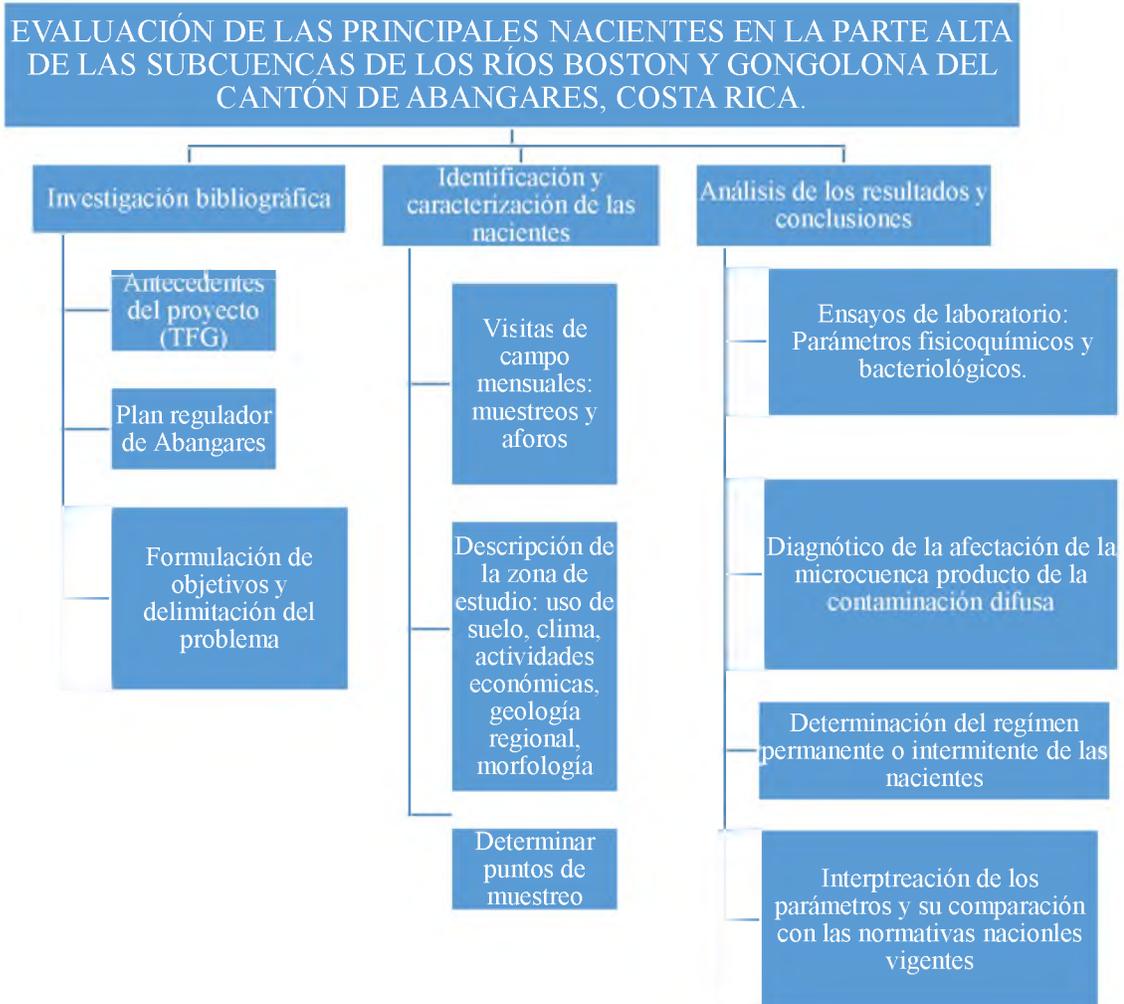


Figura 1. Esquema metodológico del proyecto final de graduación.

### 3.1 Investigación bibliográfica

En esta primera etapa se establecen los objetivos y alcances de la investigación. La revisión bibliográfica de conceptos básicos, TFG realizados en la cuenca del río Abangares como antecedentes, plan regulador de la Municipalidad de Abangares, legislación nacional en términos de calidad de agua, información sobre nacientes registradas en varios entes operadores; con el fin de identificar la zona de arranque para el trabajo de campo y delimitación de la zona de análisis. Todo lo anterior es necesario para determinar el estudio

de las potenciales nacientes ubicadas en la microcuenca comprendida por los ríos Boston y Gongolona.

Dicha etapa continúa hasta la redacción final del proyecto. El poder determinar la ubicación de las nacientes depende de la accesibilidad a la toma de captura y las condiciones topográficas del terreno.

### 3.2 Descripción del área de estudio

En los TFG de Araya (31), González (32) y Trabado (24) se realizó una caracterización climática y física, delimitación y capacidad del uso del suelo de la cuenca del río Abangares y subcuencas de los ríos: Boston y Gongolona.

A continuación, se brinda una breve descripción de la parte alta de la cuenca del río Abangares y sus dos subcuencas: Boston y Gongolona. Ya que en la región comprendida por ambas subcuencas conforman la microcuenca en estudio para la presente investigación.

#### 3.2.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Abangares comprende parte de los distritos: Las Juntas, Sierra, San Juan y Colorado del cantón de Abangares y el distrito Manzanillo del cantón de Puntarenas; hasta la desembocadura en el Golfo de Nicoya, como se muestra en la figura 2.

La microcuenca de los ríos Boston y Gongolona se localiza al noreste del río Abangares y presenta como borde limítrofe la divisoria de aguas de la cuenca del río Abangares. Para delimitar la ubicación del área de estudio se empleó el sistema de coordenadas CRTM 05 y la información de la base de datos de la Municipalidad de Abangares (nacientes) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica 2008 (cuencas, red fluvial y poblados). En dicha microcuenca se encuentran registradas únicamente dos ASADAS: Marsellesa y Tres Amigos. La delimitación de la microcuenca se describe en la figura 3.

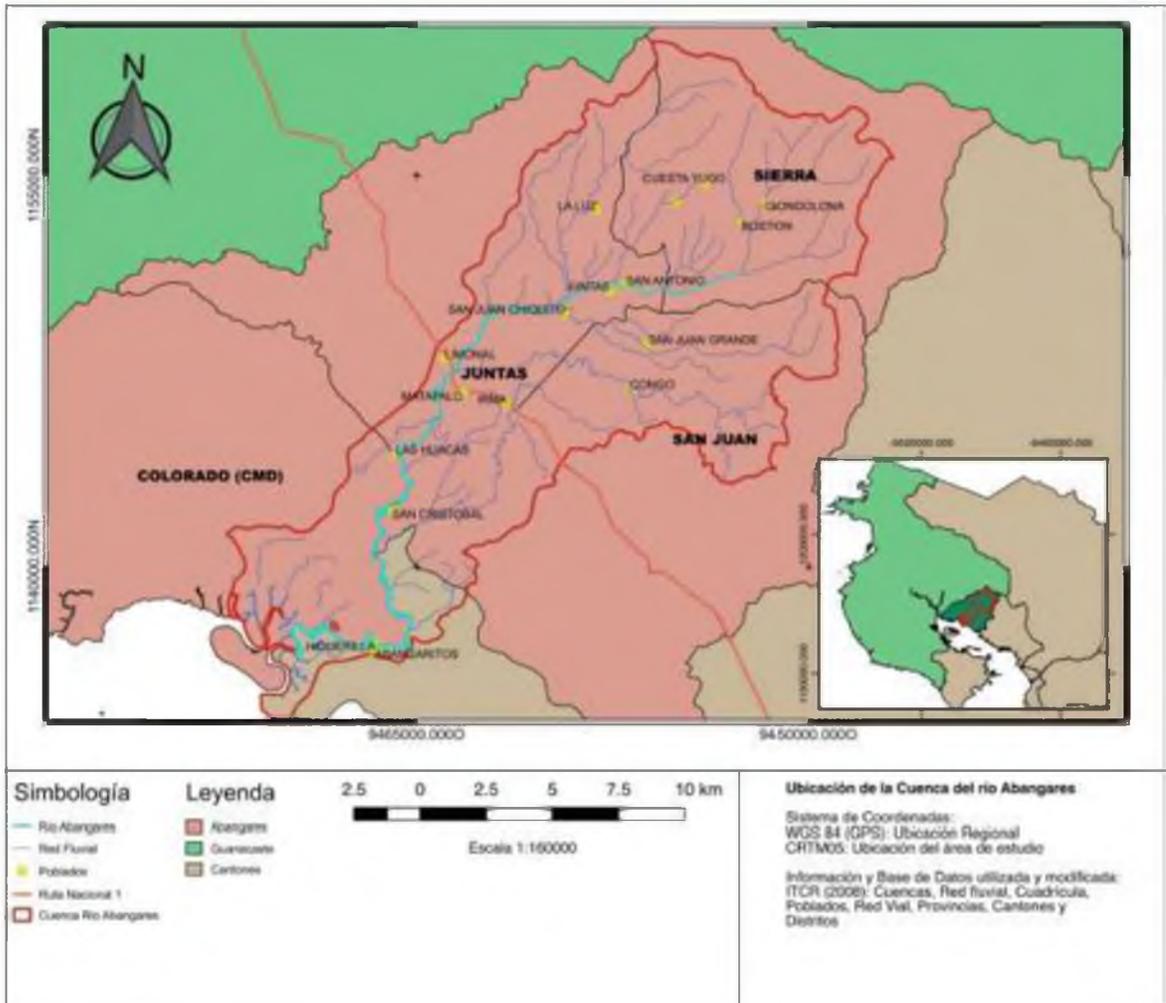


Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Abangares.

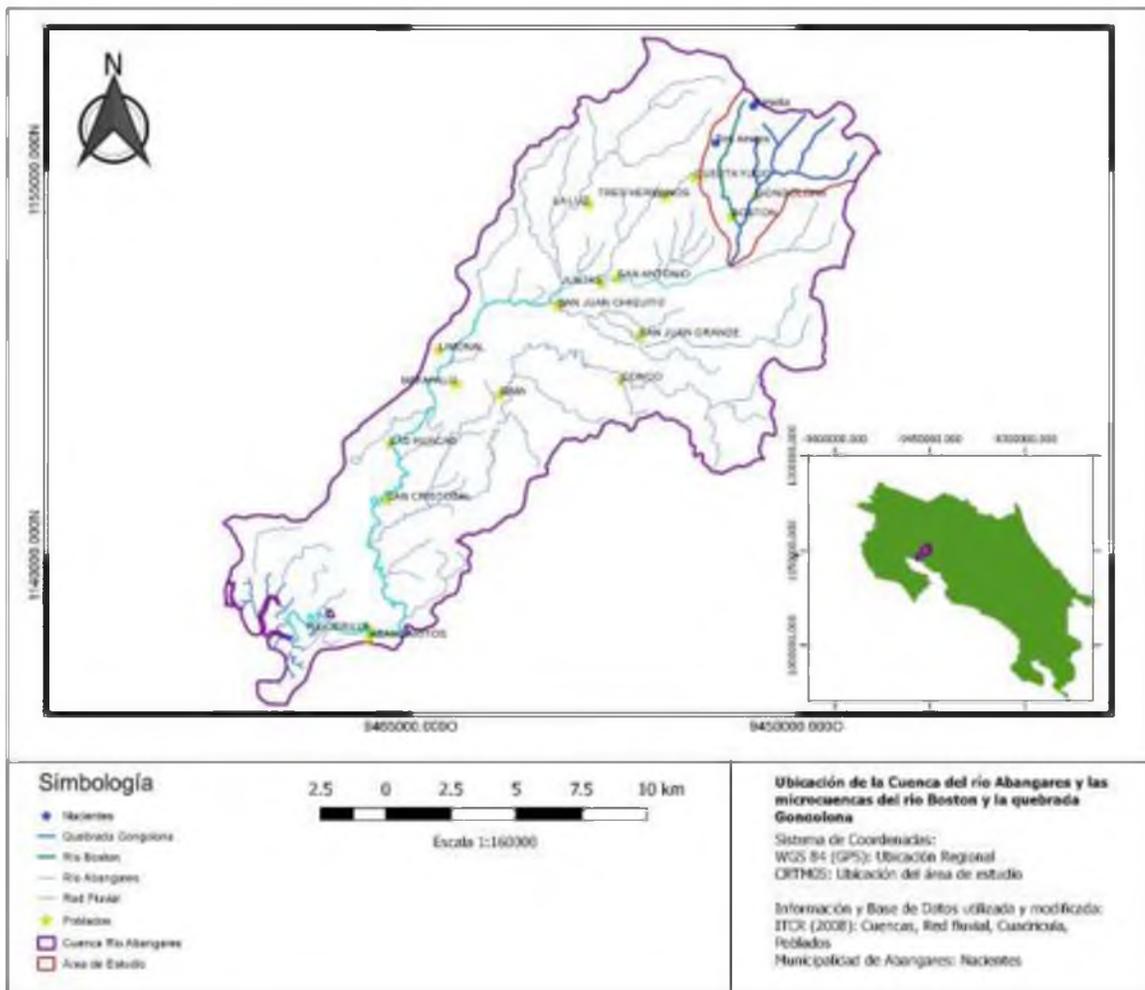


Figura 3. Microcuenca de los ríos Boston-Gongolona

### 3.2.2 Caracterización de la formación geológica regional

#### 3.2.2.1 Formación Monteverde

Como sostienen Žáček et al. (33) la Formación Monteverde, o bien, Pleistoceno Inferior en Costa Rica, predomina principalmente en las cumbres de la Cordillera de Tilarán con altitudes que superan los 1000 m. s.n.m. A su vez, en las partes más bajas del país se localizan en Esparza de Puntarenas o Miramar en forma del flujo de lava remanente.

Según su estratigrafía, es el bloque más joven y está en contacto discordante al Grupo Aguacate; es decir, en algunas partes el espesor de la secuencia de estas rocas es variable y se encuentra en contacto con otras formaciones. Con respecto a su litología, la Formación Monteverde se compone de lavas andesíticas hasta andesita-basálticas no alteradas, lahares, tobas y brechas volcánicas.

#### 3.2.2.2 Grupo Aguacate

Según el estudio de Denyer et al (34) esta formación geológica se ubica a lo largo de los Montes del Aguacate y en la confluencia de los ríos Grande y Virilla. El Grupo Aguacate comprende la edad geológica desde el Mioceno terminal hasta el Plioceno. Su composición petrográfica determina que se conforma de andesita clinopiroxénica, lavas basálticas con texturas seriadas ricas en olivino y brechas volcánicas auto clásticas de dimensiones métricas.

La relación estratigráfica establece que el Grupo Aguacate sobre yace discordante a la formación Punta Carballo y está sobre yacida por las formaciones Esparta, Monteverde, Tivives y Orotina. Su formación se debe al vulcanismo de arco con coladas de lava y diversas fases. A su vez Denyer et al (34) indican que debido a la existencia in situ de coladas andesíticas frescas se pueden inferir sobre el vulcanismo de la Formación Monteverde.

#### 3.2.2.3 Contexto geológico de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona

Con respecto a la caracterización geológica de la región en estudio, se tiene que el área de la microcuenca comprende tanto lavas y brechas del Pilo-Pleistoceno (2.1-1.0 Ma) como Vulcanismo Mioceno (7-5 Ma), tal y como se aprecia en la figura 4. Con base en dicha distribución geológica, las formaciones geológicas que predominan en la región de estudio son: Formación Monteverde y Grupo Aguacate (32).

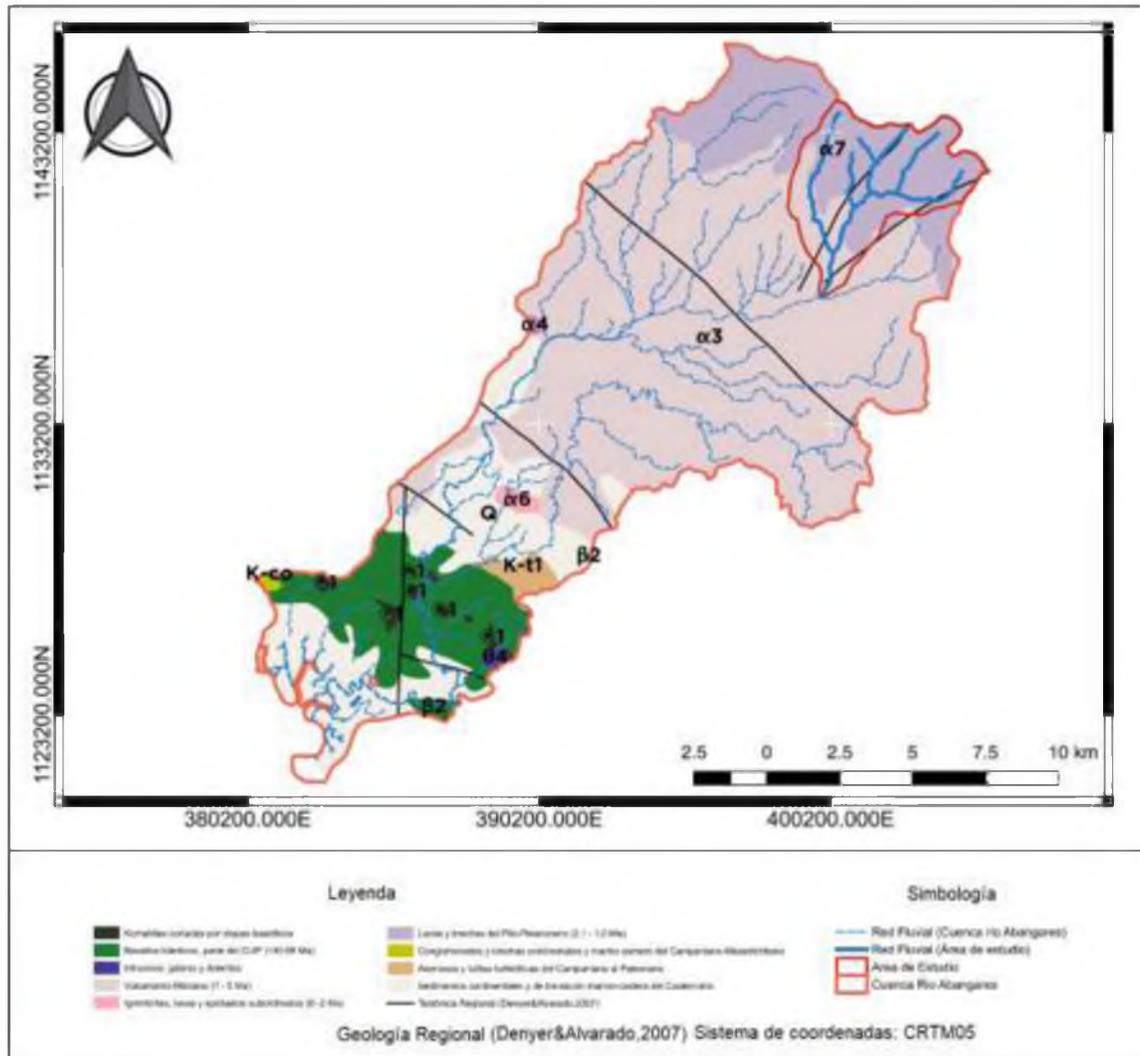


Figura 4. Contexto geológico de la cuenca del río Abangares y microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

Tanto en la Formación Monteverde como en el Grupo Aguacate existe la presencia común de rocas piroclásticas denominadas tobas o tobitas, en la parte alta entre el contacto de ambas formaciones geológicas. Por esta razón, es muy difícil diferenciarlas entre sí, pese a que existen criterios para distinguirlas acorde al estudio de Žáček (33).

Por ende, las formaciones presentes en el área poseen únicamente porosidad secundaria al corresponder ambas con rocas volcánicas de edades distintas que han sido sometidas a esfuerzos tectónicos en periodos diferentes desde el momento de su deposición. A su vez, debido a que se trata de roca volcánica, en la zona es posible encontrar solamente acuíferos confinados de tipo fracturados y porosos. Por lo cual, es más probable la presencia de cuerpos de agua subterráneos en zonas donde existan contactos entre las formaciones o bien en sitios con fallas.

### 3.2.3 Orden, zonas de vida y usos del suelo

Según Araya (31) la cuenca del río Abangares presenta 5 órdenes de suelo: Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles. Ahora bien, referente al uso del suelo la autora indica que en la sección alta de la cuenca predomina el bosque secundario. Sin embargo, cabe recalcar que hay un incremento de pastizales, debido a la tala en la zona de recarga de los ríos.

En cuanto a la orden de suelos presente en las sub cuencas del río Boston y río Gongolona, se tienen dos órdenes: Alfisoles e Inceptisoles; éste último únicamente presente en la sub cuenca del río Gongolona (31).

Acorde con la investigación de Trabado (24) se establece que en la cuenca del río Abangares predominan 8 zonas de vida, donde se evidencia que en la parte alta de dicha cuenca imperan los bosques húmedos de tipo pre montano y tropical transición a pre montano.

Las actividades socioeconómicas de todo el cantón se basan en el cultivo de café, caña de azúcar, granos básicos, hortalizas, pesca y minería artesanal, ganadería, cemento y turismo rural (35).

### 3.2.4 Caracterización climática

La zona de estudio se localiza en la provincia de Guanacaste por lo que su clima corresponde a la Región Pacífico Norte acorde con la clasificación del Instituto Meteorológico Nacional

(36). Cabe recalcar que su régimen de precipitación se caracteriza por la presencia bien marcada de una estación lluviosa y una estación seca (37).

A continuación, los datos proporcionados corresponden al año 2018 de la estación meteorológica de la Universidad de Costa Rica denominada San Rafael con coordenadas 1143858.286 m latitud norte y 403728.914 m longitud este, ubicada a una altura elipsoidal de 1097.075 m; suministrados por el CIEDES.

#### 3.2.4.1 Temperatura

Araya (31) establece que en la parte alta de la cuenca del río Abangares se reportan temperaturas más bajas en comparación al comportamiento general de la cuenca. La temperatura máxima promedio anual es de 28.3 °C, la temperatura media promedio anual es de 20.4 °C y la temperatura mínima promedio anual es de 15 °C (38).

#### 3.2.4.2 Precipitación

Para la presente investigación, se reportan los valores del régimen de precipitaciones que corresponden al año hidrológico 2018-2019.

Existen dos puntos máximos de precipitación al año: en el mes de julio y entre setiembre y octubre, tal y como se muestra en la siguiente figura. Acorde con Trabado (24) este comportamiento se debe al “Veranillo” que se desarrolla en los meses de julio o agosto. Ramírez (37) señala que este fenómeno consiste en una disminución relativa de la precipitación en plena estación lluviosa donde por un lapso de días o semanas se reproducen las condiciones de la estación seca y varía de un año a otro. La figura 5, generada a partir de los datos extraídos del CIEDES(38), evidencia como en el mes previo y post al veranillo ocurre un incremento en la precipitación.

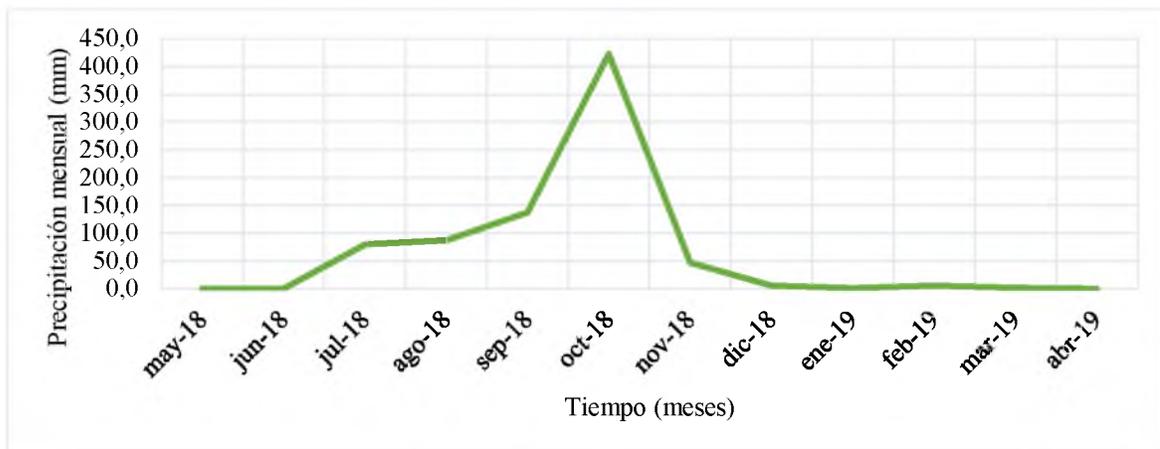


Figura 5. Gráfico del comportamiento mensual de la precipitación durante el año hidrológico 2018-2019 de la Estación de San Rafael, Abangares.

Araya (31) y Ramírez (37) apuntan que la estación lluviosa se extiende desde los meses de mayo o junio hasta mediados de noviembre. La época seca en el cantón de Abangares se extiende desde el mes de diciembre hasta abril. Cabe recalcar que los meses de abril y noviembre son considerados como meses de transición, donde las precipitaciones registradas son mínimas o nulas.

En general, se presenta una precipitación anual de 779.6 mm. El comportamiento de la precipitación mensual descrito en la figura anterior, en la estación seca presenta valores menores a 5.8 mm por mes, mientras que en la estación lluviosa llegan hasta los 422.2 mm.

### 3.2.4.3 Humedad relativa

Acorde con el CIEDES (38) para el año 2018 los meses más lluviosos: julio, setiembre y octubre presentaron los valores máximos de humedad relativa; siendo octubre el mes más húmedo reportando un valor de 92.2%. En contraste con el mes de abril, el cual presenta el valor mínimo de humedad relativa de 76.1%. Trabado (24) señala que en la zonas altas el promedio de la humedad relativa es mayor debido la influencia de los vientos alisios en los meses secos; lo cual ocasiona el arrastre de humedad en forma de nubosidad y llovizna.

#### 3.2.4.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración anual que reporta la estación de San Rafael de Abangares para el año 2018 fue de 697.1 mm. En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento de la evapotranspiración mensual. En los meses de mayo y junio la evapotranspiración no registro valores.

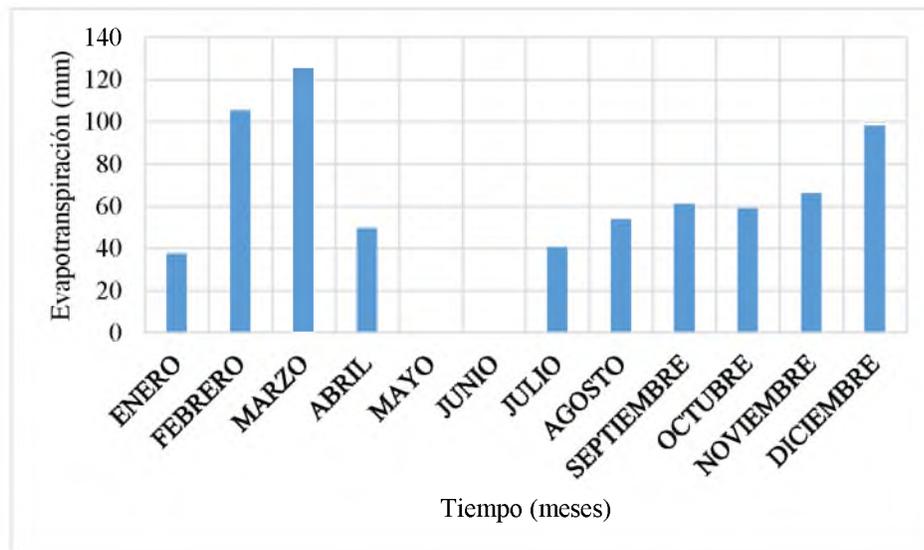


Figura 6. Gráfico del comportamiento mensual de la evapotranspiración para el año 2018 de la estación San Rafael, Abangares.

#### 3.2.5 Caracterización morfológica

Para la delimitación del área de estudio y la obtención de los parámetros morfológicos se utilizó el software ArcGIS 10.5.1 partiendo de isohipsas escala 1:20000 cada 10 m extraídas del Atlas del TEC 2008 y se basó en el procedimiento descrito en la *Guía básica para la delimitación de cuencas hidrográficas* de la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (39). En la presente investigación, se realizó la caracterización de la microcuenca contemplando dentro de ella ambos ríos: Boston y Gongolona detallada en el cuadro 13. Por lo tanto, existe una variación con respecto a la caracterización realizada por Araya (31) descritas en el cuadro A41 (ver anexos).

Cuadro 13. Generalidades morfológicas de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

Descripción	Unidad	Valor
<b>Propiedades de la superficie</b>		
Área	km <sup>2</sup>	23,887
Perímetro	km	24,123
Coefficiente de Compacidad o índice de Gravelius $Kc$	-	1,382
<b>Altitud</b>		
Elevación máxima	m.s.n.m.	1188,55
Elevación mínima	m.s.n.m.	297,868
Elevación media	m.s.n.m.	780,001
Desviación estándar de la elevación media	STD	197,318
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	850
Mediana de elevaciones	m.s.n.m.	353,098
<b>Pendiente</b>		
Pendiente promedio de la cuenca	%	42,011
Desviación estándar de la pendiente	STD	13,59
<b>Propiedades de la red hídrica</b>		
Longitud del curso principal	km	9,52
Orden de la red hídrica	UND	3
Longitud de la red hídrica	km	45,85
Pendiente promedio de la red hídrica	%	3,025
<b>Parámetros generados</b>		
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	1,92
Pendiente del cauce principal	m/km	10,83
Rectángulo equivalente	L (km)	9,564
	l (km)	2,498

La microcuenca presenta una extensión de 23.887 km<sup>2</sup> y un perímetro de 24.123 km. Dicha microcuenca presenta una forma irregular menos alargada que la cuenca del río Abangares descrita en el TFG de Araya (31) debido a que el índice de compacidad de 1.75 es relativamente alto en comparación con el obtenido en el cuadro 13.

Las altitudes que van desde los 297.9 m.s.n.m. a los 1188.55 m.s.n.m. en el extremo noreste, de forma que la mayor parte de la altitud se localiza entre los 800 y 900 m.s.n.m; acorde con la figura 7. A partir de las curvas de nivel se generó un mapa que muestra la topografía de la zona de estudio, presente en la figura 8.

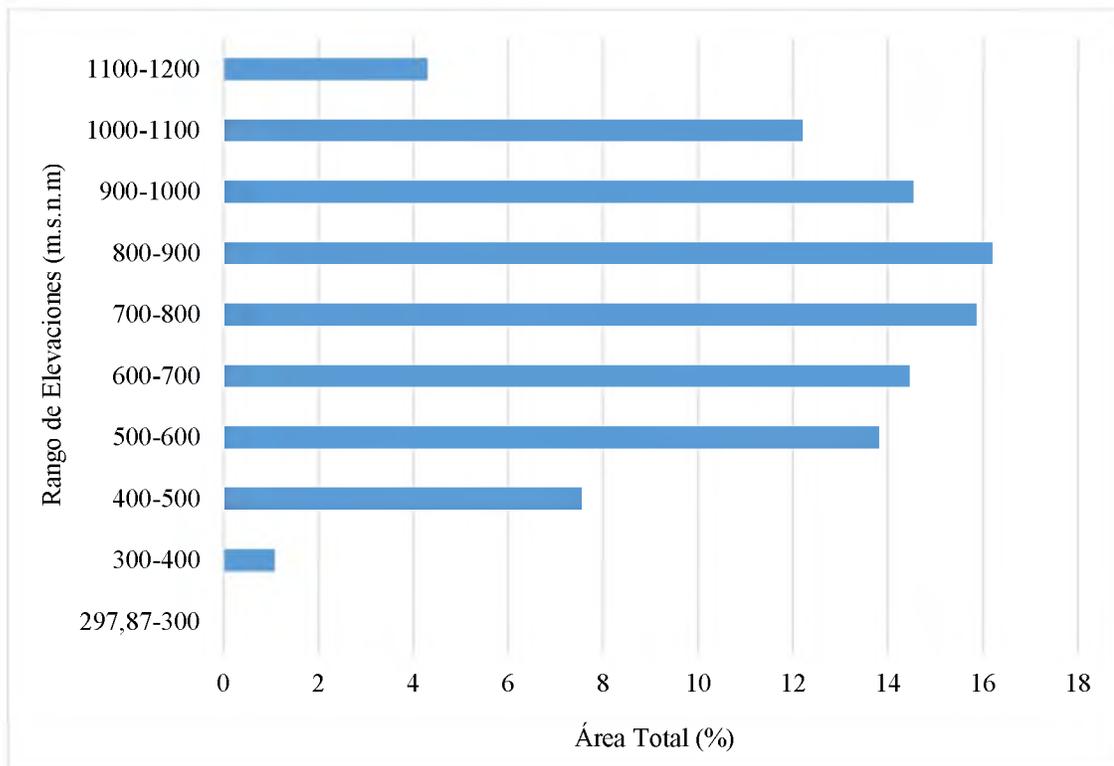


Figura 7. Histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

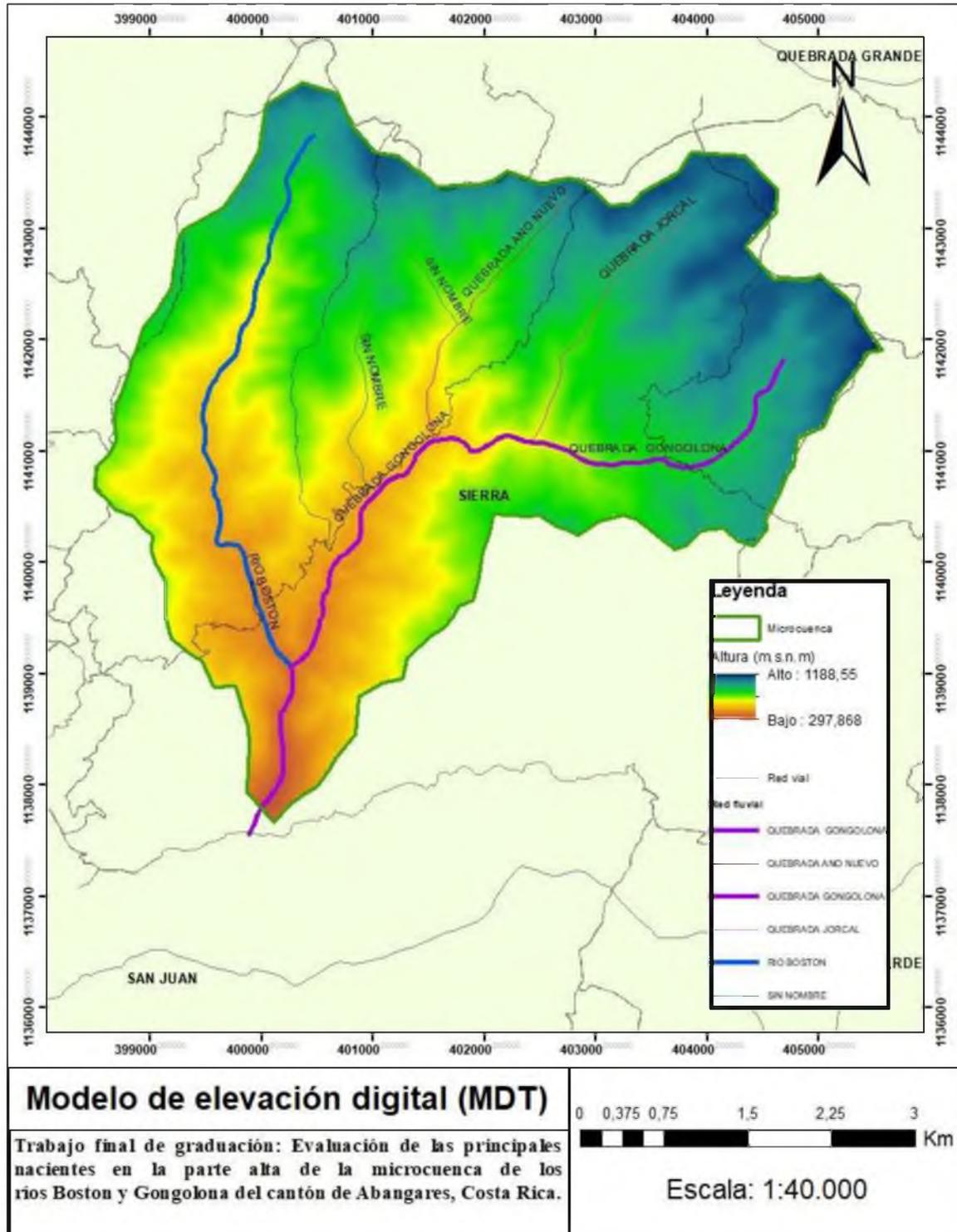


Figura 8. Modelo de elevación digital de la microcuenca en estudio.

La red fluvial de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona, presente en la figura 8, posee un orden 3. Dicho orden determina la ramificación del cauce principal de la microcuenca. La microcuenca está conformada por el cauce principal del río Gongolona con una longitud de aproximada de 9.52 km. Este nace de la unión principal de la Quebrada Jorcal y la Quebrada Año Nuevo, siguiendo curso rumbo suroeste hasta la confluencia con el río Boston. Por su parte, la pendiente del cauce principal de la microcuenca influye directamente en la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua (40), la cual al presentar un valor elevado del 10.83 m/km; indica una mayor velocidad de dicho escurrimiento. A partir del número de cauces, se tiene que solamente el río Boston no posee afluentes (orden 1).

Acorde con Araya (31), la densidad de drenaje evidencia el grado de desarrollo de la red hidrográfica. Dado que la microcuenca presenta una densidad de drenaje de 1.92 km/km<sup>2</sup>, se puede indicar que se encuentra bien drenada dado que se tiene un valor mayor al establecido para cuencas con drenajes pobres correspondiente a 0.5 km/km<sup>2</sup> (40).

Con respecto al relieve de la microcuenca, acorde con Trabado (24) el sector montañoso al noreste presenta pendientes fuertes escarpadas, lo cual concuerda con el valor promedio calculado de la pendiente de la microcuenca en 42.01%. Lo anterior, también se observa a partir de la curva hipsométrica de la figura 9, la cual representa gráficamente el relieve donde se muestra la variación del terreno cada 100 m con referencia al nivel medio del mar.

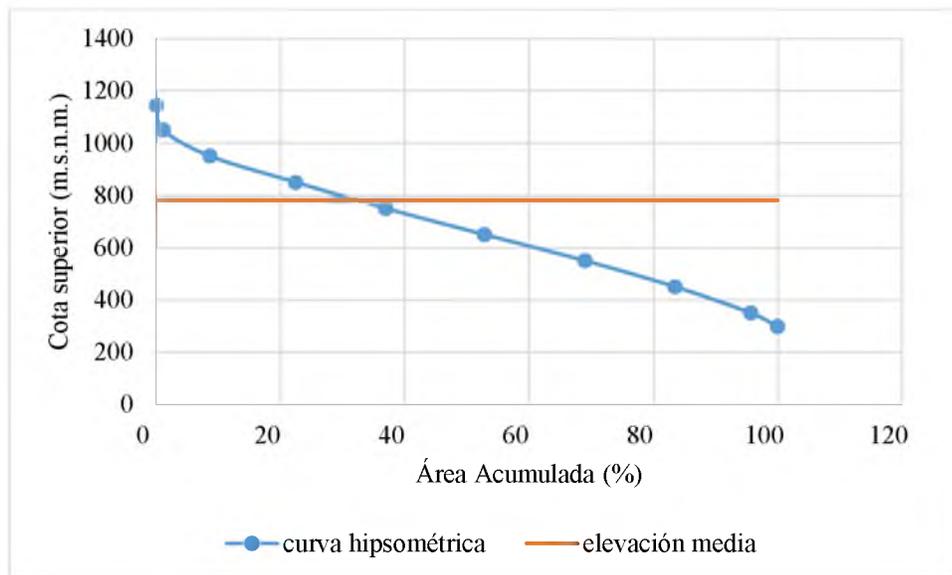


Figura 9. Curva hipsométrica de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

### 3.3 Identificación y Caracterización de las nacientes

El primer acercamiento para ubicar y seleccionar las nacientes fue por medio de los datos geológicos de la zona, recomendaciones por parte de los funcionarios del SINAC y contacto vía telefónico con los propietarios gracias al soporte brindado por la Municipalidad de Abangares.

Seguidamente, se efectuó la identificación y registro de las nacientes mediante el uso de GPS, delimitación de las zonas de protección con base en lo que dictan la *Ley Forestal* N°7575 y la *Ley de Aguas* N°276 y la revisión de las actividades realizadas dentro de dicha zona.

Con respecto a los aforos a realizados, se analizó la variación de caudal entre las dos estaciones climáticas, con el fin de verificar su condición de permanencia con las mediciones de caudal en la época seca. Lo cual sirve como insumo a la hora de considerar si esas nacientes son alternativas de abastecimiento para la población.

Además, se realizaron muestreos de calidad en campo y análisis de calidad fisicoquímicos (nitrógeno, fósforo, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, conductividad, pH, turbiedad,

color, sólidos totales y temperatura) y microbiológicos (*E.coli*) en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Los parámetros seleccionados son necesarios para evaluar riesgos afines con las actividades y características de la zona y en función de los reglamentos vigentes.

#### 3.4 Análisis de calidad de agua de las muestras de nacientes

Una vez obtenidos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para cada una de las nacientes, éstos se compararon con la normativa nacional vigente en dos documentos: *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales* N°33903-MINAE-S y el *Reglamento para la Calidad del Agua Potable* N°38924-S. Además, los resultados fueron contrastados con una normativa técnica elaborada por el Laboratorio Nacional de Aguas denominada: *Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica*, específica para determinar la clasificación de nacientes y pozos en el área de estudio en función de su calidad, potenciales usos y posibles fuentes de contaminación; con el fin de determinar el nivel de impacto actual de las nacientes.

#### 3.5 Análisis espacial del cambio de cobertura vegetal entre ambas estaciones climáticas

Por medio del procesamiento de imágenes satelitales del satélite *Sentinel-2B* se determinaron las principales clasificaciones del uso del suelo, con el fin de establecer el cambio en la cobertura vegetal entre la época lluviosa (octubre del 2018) con respecto a la época seca (febrero del 2019) del área de estudio.

Finalmente, se realizó el mapeo, registro de la información y las conclusiones del proyecto tomando en consideración los resultados de los análisis de calidad de agua, caracterización de la microcuenca, fuentes de contaminación y cambios en la cobertura vegetal durante las dos estaciones en estudio.

Con base en los resultados obtenidos, se realizaron las recomendaciones pertinentes para favorecer la correcta captación de las nacientes: velando así por el manejo idóneo del recurso hídrico.

## CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE NACIENTES Y POZOS

### 4.1 Metodología: selección y análisis de las nacientes en estudio

El proceso de selección previo a las visitas de campo, consistió en el análisis de la geología regional de la zona, revisión de los planos catastrales con el apoyo de funcionarios de la Municipalidad de Abangares, comunicación con los colaboradores del MINAE-SINAC y entrevistas vía telefónica con los potenciales propietarios de las fincas a trabajar.

Durante el segundo semestre del 2018 se realizaron las visitas de campo a 12 fincas con previa autorización de los propietarios, con el fin de ubicar las nacientes en la parte alta de la cuenca del Río Abangares. Se lograron identificar mediante el uso de un GPSmap 62sc marca GARMIN ( $\pm 5$  m), un total de 40 nacientes y 1 pozo.

En primera instancia, de las 40 nacientes, fueron excluidas 3 nacientes ya que se salen de la delimitación del área de estudio. De las 37 restantes, fueron descartadas 4 de los aforos y análisis de calidad en campo. Ya que las nacientes N12 y N37 son de tipo *suampo*, el agua al estar estancada no hubo forma de aforarlas y muestrearlas. La naciente N4 cuenta con una captación fabricada en concreto, pero dado que hubo un derrumbe natural no fue posible acceder a ella a la hora de realizar el muestreo y aforo correspondiente. Finalmente, la naciente N33 se encuentra captada en terreno de acceso complicado; por lo que tampoco fue posible aforarla pero si se pudo analizar su calidad en laboratorio; ya aguas abajo en una casa de habitación se recolectó la muestra de agua correspondiente a dicha naciente. Sin embargo, la ubicación de las 4 nacientes si fue incluida en el mapeo descrito en la figura 10.

Cabe recalcar que la naciente 32 y el pozo se salen del área delimitada por la microcuenca en estudio. No obstante, fueron incluidos en el análisis de la investigación dado que ambas fuentes son empleadas directamente para consumo humano en la casa de habitación durante todo el año (N32) y cuando hay escasez o desciende considerablemente el caudal de la naciente (pozo).

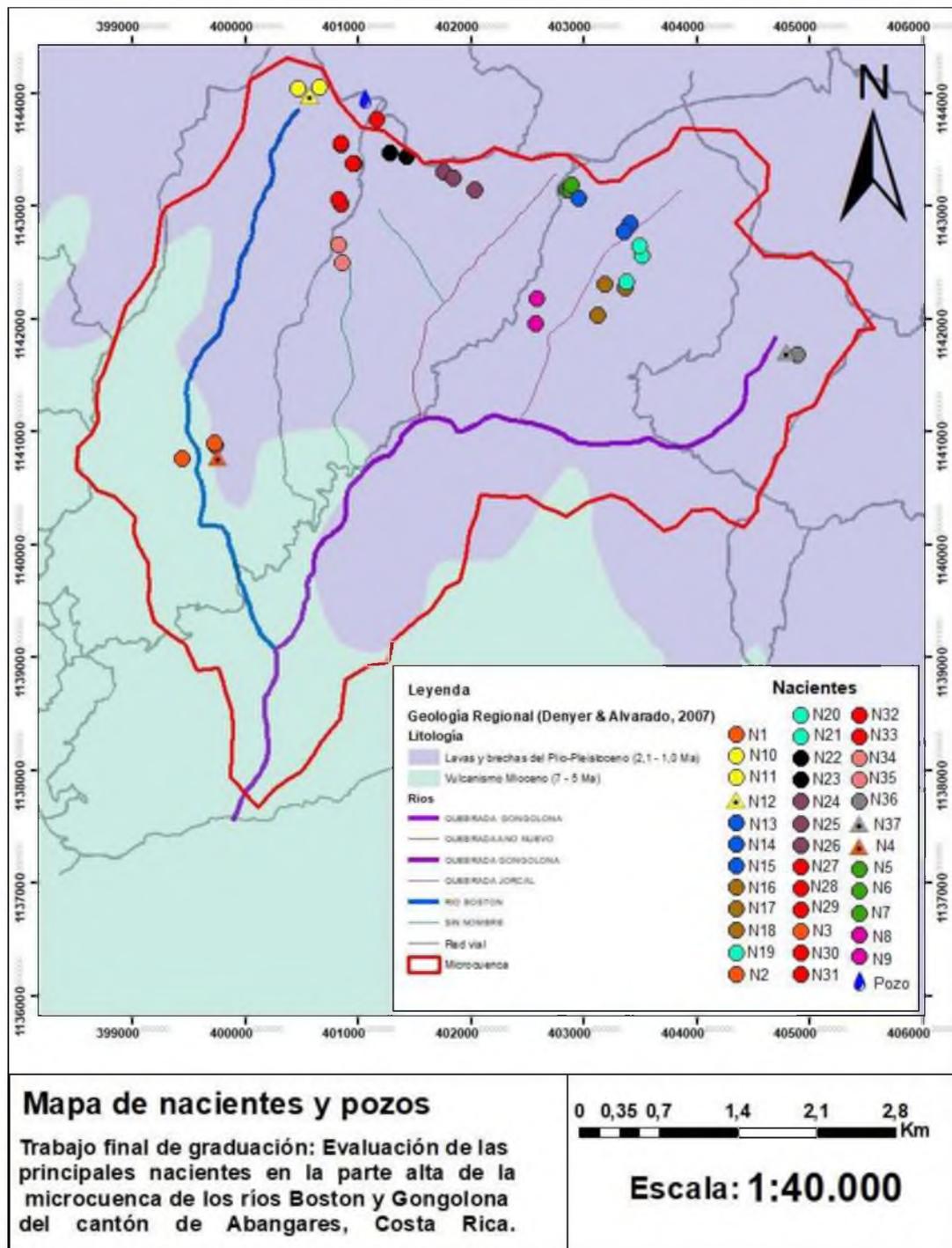


Figura 10. Mapeo de las 37 nacientes y 1 pozo en la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona.

En el mapa anterior, se puede apreciar como las nacientes identificadas coinciden con las zonas de la caracterización geológica previa; correspondientes a formaciones de roca ígnea volcánica del Pilo-Pleistoceno y Mioceno. Acorde con Quirós (8), dichas formaciones geológicas al ser producto de la solidificación del magma, crean segmentos de roca dura con baja porosidad y dificultad de infiltración del agua; lo cual favorece el establecimiento de las nacientes.

La caracterización visual de las nacientes y pozos se realizó basándose en la *Guía para descripción de un manantial* elaborada por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG) de la Universidad de Costa Rica; adjunta en los anexos.

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Listado de nacientes y pozos

A continuación se muestran las nacientes agrupadas en cada una de las 12 fincas registradas. Cabe recalcar que ninguna de las 37 nacientes identificadas presenta un registro previo de aforos, no se encuentran concesionadas y no tienen delimitadas las zonas de protección según los radios que dictan las normativas vigentes. Seguidamente, se presentan las nacientes según el número de finca.

#### 4.2.1.2 Finca N°1 Hersán Soto

La finca N°1 presenta dos nacientes permanentes: N36 y N37. La naciente N36 se localiza en las coordenadas 404.890 m E/1.141.677 m N (CRTM-05) a 1004 m de altitud y la naciente N37 se localiza en las coordenadas 404.802 m E/1.141.700 m N (CRTM-05), a 979 m de altitud. Estas nacientes se ubican al noreste de la microcuenca de la Quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares (al noreste del área de estudio). La dirección es carretera a Cebadilla, del cruce de “Punta de Plancha” girar a la derecha aproximadamente 500 m. En las figuras 11 y 12 se muestran las fotografías de las nacientes N36 y N37; respectivamente.

#### 4.2.1.2.1 Naciente N36

La naciente N36 no se encuentra captada en concreto, ya que nace en roca. No obstante, se emplea una tubería de media pulgada para conducir el agua hasta el galpón con el fin de abastecer a las 38 cabezas de ganado. La naciente N36 fue aforada 100 m aguas debajo de donde nace tanto en época lluviosa como en época seca, resultando un promedio de 0.235 L/s y 0.736 L/s; respectivamente. Además se recolectó una muestra de 1 L para realizar los análisis de calidad de agua en el laboratorio para cada una de las dos estaciones.

#### 4.2.1.2.2 Naciente N37

La naciente N37 tampoco se encuentra captada y es de tipo suampo, es decir, el agua se encuentra estancada alrededor.



Figura 11. Fotografía de la Naciente N36.



Figura 12. Fotografía de la Naciente N37.

El uso actual del agua de ambas nacientes es de tipo agropecuario, ya que es empleada para consumo del ganado. En cuanto al uso del suelo, en los 100 m alrededor de las nacientes, lo que predomina son pastos y charrales.

#### 4.2.1.3 Finca N°2 María Eugenia Montero

La finca N°2 presenta dos nacientes permanentes denominadas: N22 y N23. La naciente N22 se ubica en las coordenadas 401.436 m E/1.143.435 m N (CRTM-05) a una altura de 1067 m y la naciente N23 se localiza en las coordenadas 401.282 m E/ 1.143.465 m N (CRTM-05) a una altura de 1072 m. Estas nacientes se encuentran en la microcuenca de la quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección es del centro de San Rafael, de la iglesia bíblica 1 km al oeste, por los transformadores del ICE. Ambas nacientes son empleadas para uso agropecuario, ya que abastecen a las 18 cabezas de ganado de la finca.

#### 4.2.1.3.1 Naciente N22

El estado de la captación de la naciente N22 es malo. Esto se debe a que la naciente nace en el suelo se encuentra enterrada con lirios alrededor y pese a que está almacenada en un depósito de concreto no posee ninguna tapa. Mediante tuberías de 1 y 3 pulgadas se conduce el agua hasta la captación a 3 m de donde nace. En cuanto al uso del suelo, en los 100 m alrededor de la naciente, lo que predomina son pastos y área inundada con lodo. La naciente N22 fue aforada en la salida en la captación tanto en época lluviosa como en época seca, resultando un promedio de 0.026 L/s y 0.052 L/s; respectivamente.



Figura 13. Fotografías de la Naciente N22.

#### 4.2.1.3.2 Naciente N23

La naciente N23 presenta una captación regular. Ya que cuenta con un tanque plástico de almacenamiento azul y tubería empleados en un antiguo proyecto de hortalizas. Está captada en concreto con una tapa de lata recubierta con una manta plástica y piedras que la sujetan. La naciente nace a 20 m aguas arriba del tanque y ahí fue aforada; presenta tuberías de  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgada. En los 100 m alrededor de la naciente, lo que predomina son pastos y bosque secundario. La naciente N23 fue aforada aguas arriba de la captación, reportando en época lluviosa un valor de 0.458 L/s y en época seca 0.182 L/s. Además se recolectó una muestra de 1 L para realizar los análisis de calidad de agua en el laboratorio para cada una de las dos estaciones.



Figura 14. Fotografías de la Naciente N23

#### 4.2.1.4 Finca N°3 Eduardo Montero

En la finca N°3 se identificaron tres nacientes permanentes, descritas a continuación. La naciente N24 se ubica en las coordenadas 401.763 m E/ 1.143.297 m N (CRTM-05), a una

altitud de 1024 m. La naciente N25 se localiza en las coordenadas 402.038 m E/ 1.143.132 m N (CRTM-05) a una altitud de 920 m. Por último, la naciente N26 se sitúa en las coordenadas 401.846 m E/ 1.143.241 m N (CRTM-05), a una altitud de 1001 m. Las 3 nacientes pertenecen a la microcuenca de la quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección es carretera a San Rafael, 800 m de la iglesia Evangélica oeste, portón de madera continuo a la carretera.

Actualmente, el uso del suelo en la propiedad consiste en el cultivo de café (media hectárea) y el manejo de 45 cabezas de ganado. Las 3 nacientes son empleadas para uso agropecuario, con el fin de abastecer al ganado.

#### 4.2.1.4.1 Naciente N24

La naciente N24 nace desde el suelo en potrero y es conducida por medio de una tubería de media pulgada hasta el establo; donde es almacenada en una llanta vieja de maquinaria pesada. Por lo que el estado de esta captación es malo ya que es rustica sin ningún tipo de seguridad y en la zona alrededor hay lodo y pastizales. Esta naciente fue aforada en la captación durante los meses de octubre y febrero, en los cuales se reportaron valores de 0.093 L/s y 0.031 L/s; respectivamente. Además, se tomó una muestra de agua para realizar el análisis posterior en el laboratorio.



Figura 15. Fotografías de la Naciente N24.

#### 4.2.1.4.2 Naciente N25

La naciente N25 fue la de mayor difícil acceso, ya que se ubicaba en una zona muy quebrada, esta nace en roca y el propietario la distribuye mediante tubería de una pulgada. Por lo que no presenta captación en concreto y se cataloga como mala. Dicha naciente fue aforada en la toma de esta tubería desde donde nace y se reportaron valores de 0.090 L/s en época lluviosa y 0.059 L/s en época seca. Alrededor de la naciente hay pastizal y bosque secundario.



Figura 16. Fotografías de la Naciente N25.

#### 4.2.1.4.3 Naciente N26

La naciente N26 presenta un estado de la captación muy bueno, ya que dicha captación es de concreto, alrededor está limpia y permite el caudal ecológico mediante un depósito de rebalse. Dicha naciente brota desde el suelo a 15 m aguas arriba de donde se localiza la captación. Cuenta con tubería de  $\frac{3}{4}$  y una pulgada. Fue aforada desde la captación y se reportaron valores de 0.155 L/s en época lluviosa y 0.047 L/s en época seca.



Figura 17. Fotografías de la Naciente N26.

#### 4.2.1.5 Finca N°4 Ramón Vega

En esta finca se identificaron siete nacientes y un pozo. La naciente N32 y el pozo se salen de la delimitación del área, sin embargo, fueron tomadas en cuenta en el estudio dado que son utilizadas para consumo humano en la casa de habitación. Las coordenadas de ubicación para dichas nacientes se denotan en el siguiente cuadro.

Cuadro 14. Listado de la ubicación en coordenadas CRTM-05 para las 7 nacientes y un pozo de la finca de Ramón Vega

Nacientes	Coordenadas CRTM-05		
	Este E (m)	Norte N (m)	Altitud (m)
N27	400.854	1.143.537	1038
N28	400.963	1.143.369	1029
N29	400.847	1.143.008	940
N30	400.959	1.143.372	985
N31	400.827	1.143.053	920
N32*	401.168	1.143.757	1059
N33	400.853	1.143.550	1010
Pozo*	401.064	1.143.955	1156.7

\*Se salen de la delimitación del área de estudio.

La totalidad de las nacientes anteriores pertenecen a la microcuenca de la quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección es 1 km desde la escuela de Candelaria, portón de metal casa en alto de madera color verde agua en a mano derecha, continuo a la carretera. A continuación, se describe cada una de las nacientes y el pozo:

#### 4.2.1.5.1 Naciente N27

La naciente N27 nace en piedra a 3 m aguas arriba y es captada en un tanque de metal oxidado para el consumo del ganado. Por lo que su captación se cataloga como mala. Alrededor de dicha naciente se presenta bosque tipo galería y lodo. Cabe recalcar que dicha naciente fue aforada en la captación mediante el tubo de media pulgada. Los resultados de los aforos fueron: 0.181 L/s en época lluviosa y 0.090 L/s en época seca. Se tomó una muestra de agua con el fin de realizar los análisis de calidad en el laboratorio.

El uso actual de esta naciente es para consumo humano y agropecuario. Ya que desde donde nace el agua es conducida por tubería de 3 pulgadas hacia una de las casas de habitación dentro de la propiedad y otra tubería de media pulgada da abasto al ganado. Antes alrededor de la naciente existía un trapiche por lo cual en su momento también fue empleada como fuente de uso agroindustrial.



Figura 18. Fotografías de la Naciente N27.

#### 4.2.1.5.2 Naciente N28

La naciente N28 nace en roca a 8 m aguas arriba de donde se encuentra captada en concreto y es abastecida mediante 3 tuberías subterráneas de  $\frac{1}{2}$  pulgada. Su captación se cataloga como regular, ya que pese a estar captada en concreto no cuenta con tapa. Es empleada para consumo del ganado y alrededor predomina el boque tipo galería, lodo, hojas secas y pastizales. Fue aforada en la captación durante la época lluviosa y la época seca, reportando valores de caudal de: 0.242 L/s y 0.086 L/s; respectivamente.



Figura 19. Fotografías de la Naciente N28.

#### 4.2.1.5.3 Naciente N29

La naciente N29 se ubica continuo a la N31. Nace en el suelo y ahí mismo es captada en concreto y es abastecida mediante tuberías de 3, 2 ½ y ½ pulgadas. Por lo que su captación se cataloga como regular ya que la cubren con plástico y piedras. Alrededor de la naciente predomina bosque galería y pastizales. Su uso es meramente para abastecimiento del ganado. Dicha naciente fue aforada a la salida de la tubería y reportó valores de caudal de 0.426 L/s en época lluviosa y 0.086 L/s en época seca.



Figura 20. Fotografías de la Naciente N29.

#### 4.2.1.5.4 Naciente N30

La naciente N30 nace en el suelo bajo las rocas a 5 m aguas debajo de donde está captada en concreto y abastecida mediante tubería de 1 pulgada. Su captación se cataloga como mala, ya que pese a estar captada en concreto, la captación se ve bastante deteriorada, no posee seguridad y no tiene tapa. Alrededor presenta bosque tipo galería, hojas secas y lodo. Es utilizada para abastecer al ganado. Fue aforada en la captación durante los meses de octubre y febrero, registrando valores de 0.500 L/s y 0.127 L/s; respectivamente.



Figura 21. Fotografía de la Naciente N30.

#### 4.2.1.5.5 Naciente N31

La naciente N31 nace en roca del suelo debajo de un árbol y se encuentra captada 2 m aguas abajo en concreto abastecida mediante tubería subterránea de 1 y 2 pulgadas. Por las mismas razones que la naciente N30, ésta naciente se cataloga como mala. Su uso actual es para abastecer al ganado. Alrededor de dicha naciente hay bosque secundario, lodo y pastizales. Fue aforada a la salida de la tubería en la captación en los meses de octubre y febrero; reportando valores de 0.385 L/s y 0.067 L/s; respectivamente.



Figura 22. Fotografías de la Naciente N31.

#### 4.2.1.5.6 Naciente N32

La naciente N32 nace en el suelo a 5 m aguas arriba de la captación. Presenta un estado de la captación muy bueno. Esto se debe a que está captada en concreto, con tapa sujeta con piedras y sin fugas. Alrededor se encuentra limpia de basura, hay presencia de hojas secas y lodo (época lluviosa) y el paso de los animales (vacas) es restringido gracias al cercado de alambre; el cual funciona como malla de protección. Esta naciente es empleada para consumo humano en la casa de habitación principal de la finca mediante una conducción de una pulgada. Alrededor de dicha naciente predomina el bosque tipo galería. Dicha naciente fue aforada en la captación y se registraron los siguientes valores para época lluviosa y época seca: 0.281 L/s y 0.090 L/s; respectivamente. Se obtuvo una muestra de agua para el posterior análisis de calidad en laboratorio.



Figura 23. Fotografías de la Naciente N32.

#### 4.2.1.5.7 Naciente N33

Esta naciente nace continuo a la naciente N32, en el suelo y es empleada para uso doméstico y consumo humano aguas abajo en una casa de habitación localizada en la finca de Yenory Arguedas. No fue posible aforarla en ninguna de las dos estaciones ya que su acceso es complicado (cercada con alambre y terreno con pendiente pronunciada, resbaloso y suelto). Posee una captación de concreto, recubierta por una lámina de zinc presionada con piedras, tuberías de conducción de 3 pulgadas y malla de protección; por lo que se cataloga como muy buena. Alrededor muestra las mismas condiciones que la naciente N32, lodo, hojas secas y bosque tipo galería. Su muestra fue tomada en la casa de habitación en la finca de Yenory Arguedas (aguas abajo) para los respectivos análisis de calidad en el laboratorio.



Figura 24. Fotografías de la Naciente N33.

#### 4.2.1.5.8 Pozo

El pozo fue perforado con el fin de abastecer a la casa de habitación en caso de que la naciente N32 se seque. Se localiza a un costado de la carretera y su captación es de tipo artesanal, pese a que se empleó el uso de maquinaria para su elaboración y el material de contención son alcantarillas o tubos de concreto con una altura medida desde el fondo de 3.82 m. No posee una tapa con seguridad, los propietarios lo mantienen sellado mediante la presión de las piedras sobre láminas de zinc oxidadas. Dicha agua al mantenerse estancada, no fue posible aforarla en ninguna de las dos estaciones y presenta mal olor. Sin embargo, se tomaron dos muestras de agua (en época lluviosa y en época seca), las cuales fueron analizadas en el laboratorio. El nivel del agua en la época seca fue de 1.86 m.



Figura 25. Fotografías del pozo.

#### 4.2.1.6 Finca N°5 Gustavo Zamora

En la finca N°5 se identificaron tres nacientes permanentes: N16, N17 y N18. La dirección de la finca es entrada a mano izquierda del camino hacia el río Gongolona, primer portón

rojo. En esta finca se localizaron 3 nacientes permanentes, las cuales pertenecen a la microcuenca de la quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La naciente N16 se localiza en las coordenadas 403.190 m E/ 1.142.297 m N (CRTM-05) a 829 m de altitud, la naciente N17 se ubica en las coordenadas 403.366 m E/ 1.142.273 m N (CRTM-05) a 937 m de altitud y la naciente N18 se sitúa en las coordenadas 403.125 m E/ 1.142.027 m N (CRTM-05) a 905 m de altitud. Las nacientes identificadas se describen a continuación.

#### 4.2.1.6.1 Naciente N16

La naciente N16 nace en roca y actualmente no se encuentra captada. Su único uso es para consumo del ganado de engorde. Alrededor de la naciente hay bosque, charral y heces de vacas; por lo que no se encuentra resguardada y esto presenta un potencial riesgo de contaminación. No obstante, el propietario de la finca planea emplear esta agua para consumo humano en un rancho que se encuentra en construcción; por lo que fue muestreaba para realizar los análisis de calidad de agua en el laboratorio. Esta naciente fue aforada desde donde nace mediante el uso de un tubo con el fin de brindar dirección al flujo. Las mediciones puntuales de caudal se realizaron en 3 ocasiones, duramente los meses de agosto, octubre y enero; reportando los siguientes valores: 0.215 L/s, 0.588 L/s y 0.036 L/s; respectivamente.



Figura 26. Fotografía de la Naciente N16.

#### 4.2.1.6.2 Naciente N17

La naciente N17 nace en roca y presenta una caída de 400 m aproximadamente hasta el punto de aforo. Se ubica en medio del bosque, no se encuentra captada y el ganado se abastece de ella. Se empleó el uso de tubos con el fin de direccionar el flujo y logra el aforo volumétrico. También fue aforada durante los meses de agosto, octubre y enero, reportando caudales de: 0.146 L/s, 1.243 L/s y 0.064 L/s; respectivamente.



Figura 27. Fotografías de la Naciente N17.

#### 4.2.1.6.3 Naciente N18

La naciente N18 es empleada principalmente para consumo del ganado. Dicha naciente nace en roca, se encuentra semi captada o captación rustica en la misma roca recubierta por láminas de zinc; por lo cual se cataloga como mala. Además, presenta tubería de ½ pulgada; la cual conduce el agua hasta el rancho del ganado. El punto de aforo de esta naciente es en el mismo lugar donde nace y se aforó durante los meses de agosto, octubre y enero: 0.156 L/s, 0.099 L/s y 0.130 L/s; respectivamente.



Figura 28. Fotografías de la Naciente N18.

#### 4.2.1.7 Finca N°6 Freddy Villalobos

La finca N°6 posee dos nacientes de tipo permanentes nombradas: N34 y N35. La naciente N34 se localiza en las coordenadas 400.832 m E/ 1.142.653 m N (CRTM-05) a 409 m de altitud y la naciente N35 se sitúa en las coordenadas 400.858 m E/ 1.142.491 m N (CRTM-05) a 713m de altitud. Estas nacientes se ubican en la microcuenca de la quebrada

Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección es en Candelaria de San Rafael de Abangares, finca la Amapola. Es importante recalcar que en dicho terreno existe la rotación de cultivos tales como: café, frijoles, plátano y tiquizque; por lo que se emplea el uso de agroquímicos del tipo fungicidas.

#### 4.2.1.7.1 Naciente N34

La naciente N34 nace en el suelo y se cataloga como captación regular. Esto se debe a que está captada en concreto, donde es conducida mediante tubería de ½ pulgada a 6 m aguas abajo hasta el tanque de captación (tapado con láminas de zinc). Dicha naciente fue aforada en el tanque de captación duramente los meses de octubre y febrero, resultando un valor de 0.207 L/s y 0.059 L/s; respectivamente. Alrededor de la naciente predomina bosque en regeneración tipo galería y charral. El agua es empleada para consumo humano y agropecuario, ya que abastece a la casa de habitación ubicada dentro de la finca y al ganado (en época seca), por esta razón se está naciente fue seleccionada para el muestreo de calidad realizado en el laboratorio.



Figura 29. Fotografías de la Naciente N34.

#### 4.2.1.7.2 Naciente N35

La naciente N35 nace en roca y se conduce mediante tubería de 1/2 pulgada hasta su captación rústica (tapada con lámina de zinc oxidada) a 1 m aguas abajo; en un depósito de concreto a cielo abierto. Por esta razón se cataloga como captación mala. Es empleada para consumo del ganado, caballos y perros de la finca. Alrededor de la naciente hay pastizales, potrero y el terreno tiende a inundarse por lo que hay bastante lodo. Dicha naciente fue aforada en octubre y febrero reportando valores de 0.025 L/s y 0.012 L/s; respectivamente.



Figura 30. Fotografías de la Naciente N35.

#### 4.2.1.8 Finca N°7 Yenory Arguedas

En esta finca fueron identificadas tres nacientes permanentes: N10, N11 y N12. La naciente N10 se localiza en las coordenadas 400.472 m E/ 1.144.034 m N (CRTM-05) a 991 m de altitud, la naciente N11 se localiza en las coordenadas 400.655 m E/ 1.144.042 m N (CRTM-05) a 1016 m de altitud y la naciente N12 se localiza en las coordenadas 400.578 m E/ 1.143.971 m N (CRTM-05) a 989 m de altitud. Estas nacientes se ubican en la microcuenca

del río Boston, cuenca del Río Abangares. La dirección es de la intersección del Dos de Abangares 400 m norte camino hacia Monteverde, casa en bajada color verde a mano derecha de la carretera. A continuación se describen cada una de las nacientes.

#### 4.2.1.8.1 Naciente N10

La naciente N10 nace en el suelo de la cavidad rocosa, se encuentra captada en concreto en el mismo sitio y tiene una salida de 2 pulgadas de diámetro. Por lo que su estado se cataloga como regular, pese a ser una de las únicas dos nacientes con tapa de concreto que impide la contaminación por arrastre de materia orgánica. No obstante, al remover la tapa había materia orgánica la cual estaba atascando la salida del tubo. Actualmente es empleada para abastecer al ganado, pero los propietarios quieren hacer uso de ella para consumo humano. Se localiza alrededor de bosque tipo galería, pastizales y hojas secas. Dicha naciente fue aforada en el mismo sitio de la captación durante el mes de octubre y enero reportando caudales de: 1.450 L/s y 0.046 L/s, respectivamente.



Figura 31. Fotografías de la Naciente N10.

#### 4.2.1.8.2 Naciente N11

La naciente N11 nace en el suelo en un potrero plano y es conducida mediante tubería de ½ pulgada (tubería con fugas en malas condiciones) a 6 m hasta un estanque color azul; donde es consumida por el ganado. Esta naciente al presentar una captación rustica se cataloga como mala. A su alrededor predomina el pasto verde tipo Estrella y barreal. Fue aforada en el punto de captación del estanque durante los meses de setiembre, octubre y enero, reportando caudales de: 0.008 L/s, 0.288 L/s y 0.028 L/s; respectivamente.



Figura 32. Fotografías de la Naciente N11.

#### 4.2.1.8.3 Naciente N12

La naciente N12 nace en el suelo del potrero cercana a la naciente N11 y no se encuentra captada. Pese a que el área alrededor se mantiene empozada todo el año (lo cual es indicador de que hay flujo de agua), es de tipo suampo por lo cual no fue posible aforarla. Alrededor hay pastos y lodos. Es fuente de abastecimiento del ganado cuando la naciente N11 presenta poco flujo.



Figura 33. Fotografías de la Naciente N12.

#### 4.2.1.9 Finca N°8 Ovidio Fernández: Nacientes

La finca N°8 tiene tres nacientes permanentes nombradas: N5, N6 y N7. La naciente N5 se localiza en las coordenadas 402.853 m E/1.143.141 m N (CRTM-05) a 1041 m de altitud, la naciente N6 se ubica en las coordenadas 402.884 m E/ 1.143.135 m N (CRTM-05) a 1042 m de altitud y la naciente N7 se sitúa en las coordenadas 402.888 m E/ 1.143.177 m N (CRTM-05) a 1052 m de altitud. Estas nacientes se ubican en la microcuenca quebrada Gongolona, cuenca Río Abangares. La dirección es de la intersección del Dos de Abangares 5 km hacia San Rafael llegando a la iglesia Movimiento Misionero Mundial, desviándose a la derecha 200 m. Esta finca presenta una extensión de 4 hectáreas aproximadamente, de las cuales 1 hectárea se encuentra destinada al cultivo del café y el área restante para en manejo del ganado. Las tres nacientes se describen a continuación:

#### 4.2.1.9.1 Naciente N5

Dicha naciente brota en piedra y su estado de captación se cataloga como buena. Ya que se encuentra captada en concreto, con tapa y el área alrededor se encuentra libre de basura. La captación presenta tres tipos de tuberías: 1,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de pulgada; las cuales suplen aguas abajo a dos casas, al potrero y al ganado. El uso actual del agua es para consumo humano y animal. En cuanto al uso del suelo, en los 100 m alrededor de la naciente, predomina el bosque secundario y potrero. Dicha naciente fue aforada 150 m aguas abajo desde la captación, resultando un promedio para cada una de las 4 visitas: 0.309 L/s (julio 2018), 0.161 L/s (agosto 2018), 0.209 L/s (octubre 2018) y 0.132 L/s (febrero 2019).



Figura 34. Fotografías de la Naciente N5.

#### 4.2.1.9.2 Naciente N6

La naciente N6 es de tipo suampo, se encuentra captada con tuberías PVC de  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y 1 pulgada a 3 m aguas debajo de donde brota desde el suelo; dado que su captación rustica se cataloga como mala. Su uso es meramente agropecuario, ya que es empleada para abastecer

al ganado de la propiedad. Dicha naciente se localiza en pleno potrero y en torno a ella predomina pasto Green Grass. Cabe recalcar que el ganado se encuentra en pastoreo encima y alrededor de la naciente. Esta naciente fue aforada en el punto de captación durante 4 veces distintas, resultando en promedio: 0.038 L/s (julio 2018), 0.023 L/s (agosto 2018), 0.065 L/s (octubre 2018) y 0.053 L/s (febrero 2019); respectivamente.



Figura 35. Fotografías de la Naciente N6.

#### 4.2.1.9.3 Naciente N7

Esta naciente nace en roca a 15 m aguas arriba del punto de aforo y no se encuentra captada. Dentro de un radio de 100 m a partir de donde nace, predomina el bosque secundario, potrero, ganado en tránsito y pequeñas áreas de cultivo de café, yuca y guayaba. Para realizar el aforo volumétrico, fue necesario el uso de una tubería de 1 pulgada durante los meses de medición: 0.021 L/s (julio 2018), 0.024 L/s (agosto 2018), 0.304 L/s (octubre 2018) y 0.038 L/s (febrero 2019).



Figura 36. Fotografías de la Naciente N7.

#### 4.2.1.10 Finca N°9 Lindor Rodríguez: Nacientes

Esta finca cuenta con dos nacientes permanentes llamadas: N8 y N9. La naciente N8 se ubica en las coordenadas 402.579 m E/ 1.141.955 m N (CRTM-05) a una altitud de 797 m y la naciente N9 se localiza en las coordenadas 402.586 m E/ 1.142.174 m N (CRTM-05) a 863 m de altitud. Estas nacientes se sitúan en la microcuenca Quebrada Gongolona, cuenca Río Abangares. La dirección es de la intersección del Dos de Abangares, 5 km hacia San Rafael

llegando a la iglesia Movimiento Misionero Mundial, desviándose a la derecha 1.5 km, o bien, desde la entrada hacia el Gongolona 200 m hasta topar con portón rojo. Las dos nacientes se describen a continuación:

#### 4.2.1.10.1 Naciente N8

La naciente N8 nace en roca y no se encuentra captada, por lo que predomina la presencia de materia orgánica. Alrededor prevalece el bosque secundario. Actualmente, dicha naciente es empleada para consumo de las 20 cabezas de ganado de engorde; no obstante, quiere ser empleada para consumo humano mediante sistema de tubería para futuras casas. A su vez, presenta amenaza antrópica por el mal manejo de los residuos de herbicidas, ya que aplican dichos insumos químicos y enjuagan los recipientes en un radio menor a 200 m a partir de donde nace. Esta naciente fue aforada 5 m aguas debajo de donde nace y reporta los siguientes valores de caudal: 1.194 L/s (julio 2018), 0.508 L/s (setiembre 2018), 1.115 L/s (octubre 2018) y 0.112 L/s (febrero 2019).



Figura 37. Fotografías de la Naciente N8.

#### 4.2.1.10.2 Naciente N9

La naciente N9 nace en piedra, tampoco se encuentra captada y a sus alrededores predomina la presencia de materia orgánica, bosque secundario y terreno tipo suampo. Por lo que durante la época seca casi se deseca por completo y el flujo era mínimo. Fue posible aforarla a 10 m agua debajo de donde nace. El uso actual del agua es de tipo agropecuario, ya que al igual que la naciente N8, son fuente de abastecimiento para el ganado de engorde. Dicha naciente fue aforada en 4 visitas durante la época lluviosa y época seca: 0.076 L/s (julio 2018), 0.044 L/s (setiembre 2018), 0.146 L/s (octubre 2018) y 0.037 L/s (febrero 2019); respectivamente.



Figura 38. Fotografías de la Naciente N9.

#### 4.2.1.11 Finca N°10 Eduardo Solano: Nacientes

La finca N°10 cuenta con tres nacientes permanentes nombradas: N13, N14 y N15. La naciente N13 se localiza en las coordenadas 403.410 m E/ 1.142.838 m N (CRTM-05) a 959 m de altitud, la naciente N14 se ubica en las coordenadas 402.954 m E/ 1.143.058 m N

(CRTM-05) a 997 m de altitud y la naciente N15 se sitúa en las coordenadas 403.360 m E/ 1.142.768 m N (CRTM-05) a 822 m de altitud. Estas nacientes pertenecen a la microcuenca Quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección de la finca es de la intersección del Dos de Abangares, 5 km hacia San Rafael llegando a la iglesia Movimiento Misionero Mundial, 500 m hacia la derecha; portón verde. Dicha finca cuenta con 30 cabezas de ganado de engorde en libre pastoreo en toda su extensión; contemplando las áreas donde se ubican las nacientes. Las tres nacientes se describen a continuación:

#### 4.2.1.11.1 Naciente N13

La naciente N13 nace en roca y no se encuentra captada. Para el aforo volumétrico se empleó tubería de 1 pulgada. Con respecto al uso actual del agua es empleado para el consumo del ganado. Alrededor de la naciente, prevalece el bosque secundario, potrero y tránsito del ganado a 15 m aproximadamente. La naciente fue aforada durante la época seca y la época lluviosa reportando los siguientes valores: 0.420 L/s (julio 2018), 0.549 L/s (setiembre 2018), 0.315 L/s (octubre 2018) y 0.989 L/s (febrero 2019).



Figura 39. Fotografía de la Naciente N13.

#### 4.2.1.11.2 Naciente N14

El estado de la captación de la naciente N14 es malo. Esto se debe a que se trata de una captación rústica, sin ningún tipo de seguridad, conducida mediante tuberías de 1 ½ y ¾ pulgadas. Dicha naciente nace en roca y fue aforada a 10 m aguas debajo de donde brota. El uso actual del agua es meramente agropecuario, ya que los poblados abastecidos aguas abajo la emplean para ordeño y limpieza del galerón. En cuanto al uso de suelo, en los 100 m alrededor de la naciente, predomina el bosque secundario y potrero con pastos tipo Jaragua y Estrella a 40 m aproximadamente. Esta naciente fue aforada en 4 visitas reportando los siguientes valores de caudal: 0.314 L/s (julio 2018), 0.433 L/s (setiembre 2018), 0.750 L/s (octubre 2018) y 0.331 L/s (febrero 2019).



Figura 40. Fotografías de la Naciente N14.

#### 4.2.1.11.3 Naciente N15

La naciente N15 nace en roca, es de tipo suampo y no se encuentra captada. El aforo volumétrico se realizó 2 m aguas debajo de donde nace mediante tubería de 1 pulgada. Es empleada principalmente para el consumo del ganado y alrededor de ella predominan los pastizales y vegetación como lirios. Esta naciente registró los siguientes valores de caudal: 0.238 L/s (setiembre-octubre 2018) y 0.166 L/s (febrero 2019).



Figura 41. Fotografías de la Naciente N15.

#### 4.2.1.12 Finca N°11 Daniel Montero

La finca N°11 posee tres nacientes denominadas: N19, N20 y N21. La naciente N19 se localiza en las coordenadas 403.376 m E/ 1.142.326 m N (CRTM-05) a 841 m de altitud, la naciente N20 se ubica en las coordenadas 403.517 m E/ 1.142.555 m N (CRTM-05) a 1002 m de altitud y la naciente N21 se sitúa en las coordenadas 403.495 m E/ 1.142.640 m N

(CRTM-05) a 989 m de altitud. Estas nacientes pertenecen a la microcuenca Quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección de la finca es 300 m suroeste de la iglesia católica de San Rafael de Abangares. Las tres nacientes se describen a continuación:

#### 4.2.1.12.1 Naciente N19

La naciente N19 nace en roca y no se encuentra captada. El uso actual del agua es para consumo del ganado. La naciente fue aforada a 4 m de donde nace mediante el uso de tubería de 1 pulgada. Alrededor de la naciente predomina el bosque secundario. Dicha naciente fue aforada en 3 ocasiones: 0.176 L/s (agosto 2019), 0.725 L/s (octubre 2019) y 0.134 L/s (febrero 2019).



Figura 42. Fotografías de la Naciente N19.

#### 4.2.1.12.2 Naciente N20

La naciente N20 nace en roca y su estado de captación se cataloga como malo. Ya que presenta una captación rústica mediante tubería de 1 pulgada, donde la descarga es almacenada en un tanque plástico para abastecer al ganado a 2 m aguas debajo de donde

brota. Alrededor de la naciente hay presencia de lirios y charral que hace 4 años eran terrenos sembrados de café. En esta naciente se realizaron 3 mediciones puntuales de caudal: 0.155 L/s (agosto 2018), 0.512 L/s (octubre 2018) y 0.058 L/s (febrero 2019).



Figura 43. Fotografías de la Naciente N20.

#### 4.2.1.12.3 Naciente N21

La naciente N21 nace en roca y su captación se cataloga como regular, ya que se encuentra captada a 10 m aguas debajo de donde nace, en concreto con tapa de lámina de zinc y tuberías de 1 y ½ pulgadas. Con respecto al uso del agua, los propietarios indicaron que hace 26 años dicha naciente era empleada para uso doméstico. Actualmente, es empleada para abastecer al ganado de doble propósito. Alrededor de los 100 m que rodean a la naciente, predomina el bosque secundario y potrero. Dicha naciente fue aforada en 3 ocasiones, reportando los

siguientes valores de caudal: 0.193 L/s (agosto 2018), 0.494 L/s (octubre 2018) y 0.134 L/s (febrero 2019).



Figura 44. Fotografías de la Naciente N21.

#### 4.2.1.13 Finca N°12 Albino Morera: Nacientes

Esta finca tiene una extensión de aproximadamente 102 ha, de las cuales 95.8 ha están sometidas a régimen forestal mediante pagos de servicios ambientales por parte de FONAFIFO. Cabe recalcar que en esta finca no hay presencia de ganado, solo fauna silvestre. Además, el propietario estima que la propiedad cuenta con 12 nacientes, de las cuales debido al terreno empinado, condiciones de acceso y al ser tipo suampo; solamente se identificaron

4 nacientes permanentes. Las coordenadas de ubicación de las 4 nacientes se denotan en el siguiente cuadro:

Cuadro 15. Listado de la ubicación en coordenadas CRTM-05 para las 4 nacientes de la finca de Albino Morera.

Nacientes	Coordenadas CRTM-05		
	Este E (m)	Norte N (m)	Altitud (m)
N1	399.439	1.140.760	502
N2	399.736	1.140.870	515
N3	399.726	1.140.896	526
N4	399.758	1.140.763	563

Las nacientes anteriormente mencionadas pertenecen a la microcuenca de la Quebrada Gongolona, cuenca del Río Abangares. La dirección es 6 km a partir del cruce del camino hacia el río Boston. A continuación, se describe cada una de las nacientes.

#### 4.2.1.13.1 Naciente N1

La naciente N1 brota del suelo y ahí mismo se encuentra captada en concreto con las siguientes dimensiones: 1.5 m x 1 m x 1.5 m. Dicha captación presenta una salida de diámetro de ½ pulgada. Su captación se cataloga como mala pese a estar captada en concreto, no presenta ningún tipo de tapa ni seguridad a su alrededor; por esta razón, se encuentra taqueada de materia orgánica y descuidada. Actualmente no se le da uno a esta agua, pero hace muchos años fue empleada para consumo humano. Dicha naciente fue aforada 1 vez en 3 meses distintos, reportando los siguientes valores de caudal: 0.040 L/s (agosto 2018), 0.195 L/s (noviembre 2018) y 0.074 L/s (enero 2019).



Figura 45. Fotografías de la Naciente N1.

#### 4.2.1.13.2 Naciente N2

La naciente N2 nace en roca dentro de bosque primario y no se encuentra captada. El color del agua se caracteriza por el arrastre de minerales del suelo que le dan una tonalidad naranja. Actualmente no presenta un uso específico del agua. Para poder aforarla fue necesario emplear tubería de 1 ½ pulgada a 15 m aguas debajo de donde brota. Dicha naciente registra los siguientes valores de caudal: 0.186 L/s (agosto 2018), 0.474 L/s (noviembre 2018) y 0.563 L/s (enero 2019).



Figura 46. Fotografías de la Naciente N2.

#### 4.2.1.13.3 Naciente N3

La naciente N3 nace en roca aproximadamente 1-2 km aproximadamente hacia el norte aguas arriba de donde fue aforada; debido a las dificultades de acceso. No se encuentra captada y para aforarla fue necesario el uso de tubería externa de 1 ½ pulgada. Al igual que la naciente N2, se encuentra rodeada de bosque primario y no se denota un uso determinado del agua. Esta naciente fue aforada en 3 ocasiones reportando los siguientes valores de caudal: 0.184 L/s (agosto 2018), 0.616 L/s (noviembre 2018) y 0.212 L/s (enero 2019).



Figura 47. Fotografías de la Naciente N3.

#### 4.2.1.13.4 Naciente N4

La naciente N4 brota en roca rodeada de bosque secundario. Dicha naciente fue captada en concreto en el mismo lugar donde nace y presenta tubería de 2 pulgadas. Además, tiene un depósito que conducía el agua hacia la antigua casa hace aproximadamente 20 años; por lo que actualmente el agua no está siendo utilizada. Su captación se cataloga como mala ya que

se encuentra en abandono, sin tapa y sin seguridad. Sin embargo, no fue posible aforarla ya que por acción de un derrumbe natural se obstruyó el paso hacia dicha naciente.



Figura 48. Fotografía de la Naciente N4.

#### 4.2.2 Registro de caudales para las nacientes aforadas en la zona de estudio

Del total de 37 nacientes identificadas, 33 de ellas fueron aforadas durante el año hidrológico 2018-2019 al menos una vez en época seca y en época lluviosa; tal y como se muestra en los cuadros 16 y 17 mediante aforos volumétricos (ver anexo).

Cuadro 16. Resumen de los caudales obtenidos por medio de aforos volumétricos en la zona de estudio durante el año hidrológico 2018-2019.

Año Hidrológico 2018-2019	Precipitación Promedio (mm)		Caudal (L/s)																
			Finca 1		Finca 2		Finca 3			Finca 4					Finca 5			Finca 6	
	Estación Campos de Oro	Estación San Rafael	N36*	N22*	N23	N24	N25	N26	N32	N27	N28	N30	N29	N31	N16	N17	N18	N34	N35
may-18	13,8	0,0																	
jun-18	18,2	0,0																	
jul-18	88,6	79,6																	
ago-18	133,4	87,0													0,215	0,146	0,156		
sep-18	86	137,2																	
oct-18	470,6	422,2		0,026	0,458	0,093	0,090	0,155	0,281	0,181	0,242	0,500	0,426	0,385	0,588	1,243	0,099	0,207	0,025
nov-18	58,4	46,6	0,235																
dic-18	16,2	5,8																	
ene-19	0,2	0,8													0,036	0,064	0,130		
feb-19	4,6	5,4	0,736	0,052	0,182	0,031	0,059	0,047	0,090	0,090	0,086	0,127	0,086	0,067				0,059	0,012
mar-19	0,6	1,8																	
abr-19		0																	

\*Estas nacientes presentaron mayor caudal en la época seca.

Cuadro 17. Resumen de los caudales obtenidos por medio de aforos volumétricos en la zona de estudio durante el año hidrológico 2018-2019 (continuación).

Año Hidrológico 2018-2019	Precipitación Promedio (mm)		Caudal (L/s)																
	Estación Campos de Oro	Estación San Rafael	Finca 7		Finca 8			Finca 9		Finca 10			Finca 11			Finca 12			
			N11	N10	N5*	N6	N7	N9	N8	N14	N13*	N15	N21	N20	N19	N1	N2*	N3	
may-18	13,8	0,0																	
jun-18	18,2	0,0																	
jul-18	88,6	79,6			0,309	0,038	0,021	0,076	1,194	0,314	0,420								
ago-18	133,4	87,0			0,161	0,023	0,024						0,193	0,155	0,176	0,040	0,186	0,184	
sep-18	86	137,2	0,008					0,044	0,508	0,433	0,549	0,238							
oct-18	470,6	422,2	0,288	1,450	0,209	0,065	0,304	0,146	1,115	0,750	0,315	0,238	0,494	0,512	0,725				
nov-18	58,4	46,6															0,195	0,474	0,616
dic-18	16,2	5,8																	
ene-19	0,2	0,8	0,028	0,046													0,074	0,563	0,212
feb-19	4,6	5,4			0,132	0,053	0,038	0,037	0,112	0,331	0,989	0,166	0,134	0,058	0,134				
mar-19	0,6	1,8																	
abr-19		0																	

\*Estas nacientes presentaron mayor caudal en la época seca.

### 4.3 Análisis de los resultados

#### 4.3.1 Análisis según el estado de la captación y el tipo de afloramiento

A continuación, se analizan las nacientes en función del estado de su captación, considerando las cuatro clasificaciones: muy bueno, bueno, regular y malo; establecidas en la guía (ver anexos). Luego, se clasifican las nacientes según el tipo de afloramiento. Y posteriormente, se procede a realizar el análisis de la variación de caudal de las nacientes aforadas.

El estado de la captación de las 37 nacientes identificadas se realizó mediante la guía para la descripción de un manantial descrita en los anexos. Acorde con el cuadro 18, 14 de las nacientes se catalogan como mal captadas (N1, N4, N6, N11, N14, N18, N20, N22, N24, N25, N27, N30, N31 y N35). Esto se debe principalmente a que la captación es rústica, no cuentan con ningún tipo de seguridad alrededor de ellas, no cuentan con tapa y el mantenimiento es deficiente. Las 6 nacientes catalogadas como regulares (N10, N21, N23, N28, N29 y N34) presentan captación en concreto y algún tipo de tapa; generalmente lámina de zinc prensado con piedras. Las 3 captaciones muy buenas correspondientes a las nacientes N26, N32 y N33, se diferencian dado que presentan malla de protección; en estos casos fue una cerca de púas, limpieza alrededor, promueven el caudal ecológico y cuentan con una captación y tapa de concreto. Sin embargo, ninguna de ellas presenta protección de pluviales, lo cual influye directamente en la calidad de las mismas, dado al arrastre por escorrentía. La naciente N5 fue la única que presentó un estado de captación buena ya que no presenta fugas y presenta tapa de concreto. Las restantes 13 nacientes no se encuentran captadas.

Cuadro 18. Resumen del estado de captación de las nacientes del área de estudio.

<b>Nacientes identificadas</b>	<b>Estado de la captación</b>
13	No captadas
14	Mala
6	Regular
1	Buena
3	Muy buena

Las nacientes identificadas fueron clasificadas según el tipo de afloramiento, es decir si son difusas o concentradas (41). De las 37 nacientes, 22 de ellas corresponden a nacientes de tipo concentradas, ya que su afloramiento se da en un solo punto y en una pequeña área. Estas nacientes son: N1, N2, N4, N5, N8, N10, N18, N19, N20, N21, N22, N23, N25, N26, N27, N28, N29, N30, N32, N33, N34 y N36. Caso contrario, las 15 nacientes remanentes fueron clasificadas como difusas, ya que su afloramiento se da en varios puntos, abarcando una mayor área.

#### 4.3.2 Determinación del año húmedo o seco para la cuenca del río Abangares: periodo 2012-2019

Acorde con la información de lluvia suministrada por el CIEDES (42) de las dos estaciones cercanas a la microcuenca en estudio: San Rafael y Campos de Oro descritas en los cuadros A42 y A43 (ver anexos), se denota la precipitación mensual total y anual desde el año 2014 y 2015; respectivamente hasta el año 2019 para ambas estaciones.

Cabe señalar, que ambas estaciones presentan meses con días faltantes de datos resaltados en color azul; por lo que dichas estaciones no pueden ser utilizadas para determinar si el año hidrológico en estudio es húmedo o seco. Por esta razón, fueron empleadas otras dos

estaciones dentro de la cuenca del río Abangares denominadas: Las Juntas y CINDEA, detalladas en el cuadro A44 (ver anexos).

El CIEDES(42) combina los datos de precipitación mensual total y anual (ver cuadro A44) de las dos estaciones meteorológicas: Las Juntas y CINDEA mediante el método simplificado para poder determinar el tipo de año hidrológico: seco o húmedo, en comparación con el promedio de lluvia anual para la cuenca del río Abangares; la cual presenta un valor de 1678.6 mm. El registro de los 7 años hidrológicos y su clasificación respectiva se muestra en el cuadro 19.

Cuadro 19. Determinación del tipo de año hidrológico: seco o húmedo para la cuenca del río Abangares.

<b>Año hidrológico</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Tipo de Año</b>
<b>2012-2013</b>	1537,6	Seco
<b>2013-2014</b>	2024,6	Húmedo
<b>2014-2015</b>	1361,6	Seco
<b>2015-2016</b>	1115,2	Seco
<b>2016-2017</b>	2067,4	Húmedo
<b>2017-2018</b>	2052,1	Húmedo
<b>2018-2019</b>	1591,5	Seco
<b>Promedio (mm)</b>	1678,6	

Fuente: Datos extraídos del CIEDES(42)

Del cuadro anterior, se muestra que los años hidrológicos 2014-2015 y 2015-2016 fueron los más secos con respecto al promedio anual de lluvia de la cuenca. Por su parte, los años hidrológicos 2016-2017 y 2017-2018 fueron años húmedos, ya que presentan un valor por encima del promedio anual de lluvia para dicha cuenca. Finalmente, el año hidrológico 2018-2019 en estudio, se clasifica como año seco, ya que su valor se encuentra ligeramente por debajo del valor promedio anual de precipitación para la cuenca del río Abangares.

### 4.3.3 Análisis de variación del caudal de las nacientes para el año hidrológico 2018-2019

Con respecto al registro de caudales de los cuadros 16 y 17, se verifica efectivamente la condición de permanencia de las nacientes; ya que presentan agua durante todo el año hidrológico 2018-2019. Tomando en cuenta que se realizaron al menos una medición puntual tanto en época seca como en época lluviosa.

Además, con base en los aforos volumétricos realizados, se evidencia que 5 de las 33 nacientes aforadas presentaron un mayor caudal durante los meses de la estación seca tal y como se muestra en las figuras 49 y 50.

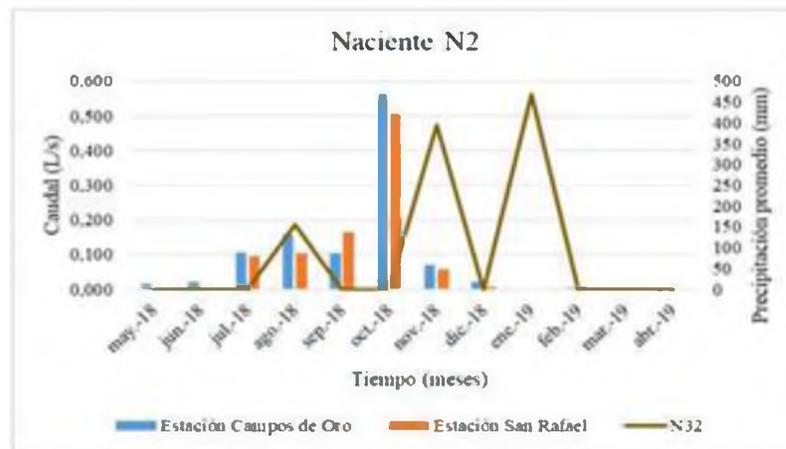


Figura 49. Hidrogramas de las 5 nacientes que presentaron mayor caudal durante los aforos volumétricos de la época seca.

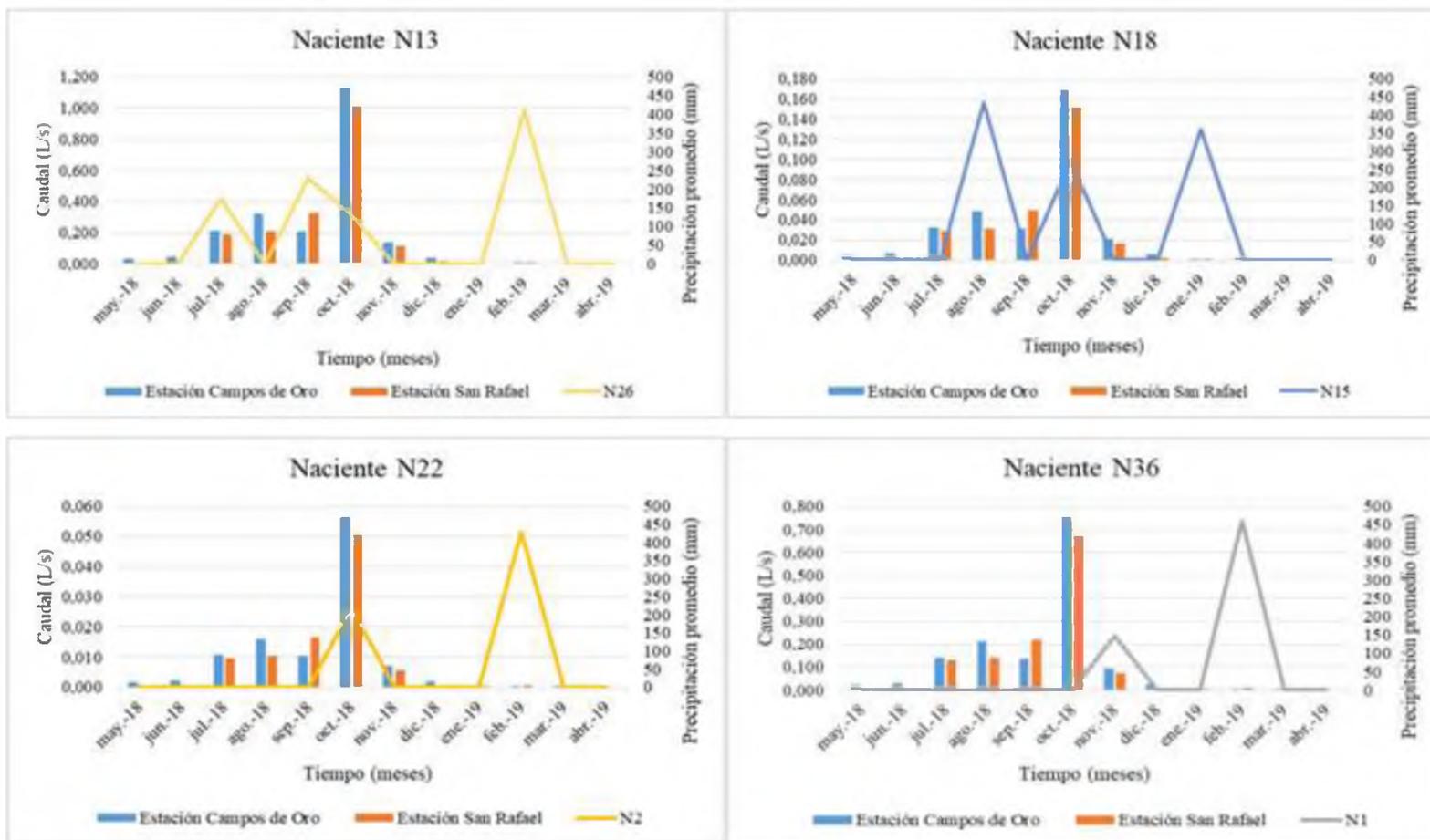


Figura 50. Hidrogramas de las 5 nacientes que presentaron mayor caudal durante los aforos volumétricos de la época seca (continuación).

En estos hidrogramas se puede observar como las nacientes: N2, N13, N18, N22 y N36 presentan un mayor valor de caudal para los meses específicos de aforo: enero y febrero del 2019; en comparación con las restantes 28 nacientes que si presentaron mayor caudal durante los meses de la estación lluviosa (ver cuadros 16 y 17).

Dado que el comportamiento de estas 5 nacientes (figuras 49 y 50) ocurre a inicios de la época seca, se le puede atribuir a la velocidad del acuífero; ya que si presenta una velocidad lenta; éste lograr aflorar entrando el verano. Acorde con Tarbuck & Lutgens (9) el nivel freático puede explicar los cambios de flujo de los manantiales, debido a que su configuración varía según las estaciones y de un año a otro, ya que dicha adición de agua se relaciona directamente con la cantidad, distribución y frecuencia de las precipitaciones. El agua subterránea se desplaza muy despacio y a velocidades variables bajo distintas condiciones. A su vez, existen 2 factores fundamentales que influyen en el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas: porosidad y la permeabilidad. En el caso de la zona de estudio, predominan los suelos de tipo arcilloso (inceptisoles y alfisoles), los cuales presentan una alta porosidad pero una baja permeabilidad, lo cual dificulta el movimiento del agua a través de ellos. Debido a que en la zona de estudio existen limitantes con respecto a estudios hidrogeológicos, estudios de suelo y delimitaciones de zonas de protección de las nacientes; no es posible determinar el comportamiento específico de las mismas ni establecer con certeza la ubicación respectiva del área de carga y descarga.

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

### 5.1. Metodología de los muestreos y equipo empleado

La calidad del agua fue evaluada mediante análisis in situ con el uso de un multiparámetros y ensayos en laboratorio mediante el análisis de las muestras, bajo la organización descrita en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Distribución del análisis de calidad del agua de las 37 nacientes y 1 pozo.

Registro total		Aforadas	Parámetros de calidad en campo	Muestras de laboratorio
Nacientes	37	33	33	15
Pozos	1	-	1	1*

\*El análisis de calidad de agua fue realizado solamente con la muestra de la época seca.

Cabe recalcar que las 4 nacientes restantes que no fueron aforadas ni analizadas in situ, se debe a que son de tipo suampo, o bien, se dificultó el acceso a las mismas; tal y como se describió en el capítulo anterior.

El trabajo de campo consistió en la visita a cada una de las 12 propiedades, realizando los aforos volumétricos con 5 repeticiones para cada una de las 33 nacientes. A su vez, mediante el uso de un multiparámetros HI 9829 marca HANNA se evaluaron los siguientes parámetros de calidad: pH, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), concentración en ppm de oxígeno disuelto (OD) y concentración en ppm de los sólidos disueltos totales (Tds); descritos en los anexos.

Dada la capacidad limitada de almacenamiento del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, se seleccionaron para el muestreo 15 nacientes y 1 pozo en función de 3 criterios: caudal de la fuente, uso actual y previsto del recurso hídrico y riesgo de contaminación existe. Las muestras fueron tomadas en envases plásticos esterilizados, enjuagados tres veces con agua del punto de muestreo y

posteriormente almacenadas a 4°C. Dichos análisis consistieron en la ejecución de pruebas físicas, químicas y microbiológicas a las 16 muestras de agua recolectadas en campo. Los parámetros evaluados fueron: nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fósforo, *E.coli*, alcalinidad, dureza, hierro, turbidez, color aparente y sólidos: totales, fijos y filtrables. Dichos parámetros fueron calculados mediante el procedimiento del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (43). En los anexos se muestran las condiciones en el momento del muestreo.

La frecuencia de los muestreos de nacientes y análisis de laboratorio correspondiente a la época lluviosa, fue durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2018. Cabe recalcar, que durante el mes de setiembre no fue posible realizar la visita programada ya que hubo problemas con el transporte, la huelga y la incertidumbre debido a los bloqueos en la ruta de Abangares (Puente del Río Congo). En cuanto a los muestreos y análisis propios de la época seca, éstos fueron realizados en los meses de enero, febrero y marzo del año 2019. Cabe señalar que no se realizaron repeticiones de cada naciente, solamente se contó con un dato por naciente para cada una de las dos épocas climáticas.

A continuación, en el cuadro 21 se denota la nomenclatura de las 15 nacientes y el pozo seleccionados para el análisis de calidad del agua en laboratorio según el número de finca a la cual corresponden.

Cuadro 21. Nomenclatura de las 15 muestras de nacientes y 1 pozo para análisis de calidad del agua en laboratorio.

<b>Nº de Finca</b>	<b>Nomenclatura de las nacientes</b>
1	N36
2	N23
3	N24
4	N27, N32, N33 y pozo
5	N16
6	N34
7	N10
8	N5
9	N8
10	N13
11	N21
12	N1 y N2

Para efectos del análisis de resultados de la calidad del agua en función de las normativas nacionales, solamente se toman en cuenta las 16 muestras de agua descritas en el cuadro anterior.

## 5.2 Resultados

5.2.1 Resumen de la estadística básica de los parámetros evaluados en las 16 muestras de la zona en estudio.

A continuación, los cuadros 22 y 23 muestran la estadística básica, correspondiente a valores promedio y desviaciones estándar en época seca y lluviosa para los 21 parámetros de mayor relevancia evaluados en las 16 muestras de agua para la zona de estudio.

Cuadro 22. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros para las 16 muestras en la zona de estudio.

	Nitrito NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	Nitrato NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	Fósforo PO <sub>4</sub> (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Turbidez (NTU)	Hierro (mg/L)	Color Aparente PtCo	Sólidos Totales (mg/L)	Sólidos Filtrables (mg/L)
<b>Promedio general</b>	0,003	1,341	0,658	0,023	76,438	72,656	3,418	0,269	32,969	130,313	103,438
<b>Promedio época lluviosa</b>	0,002	1,638	0,933	0,009	70,813	65,938	1,029	0,057	4,875	127,500	110,625
<b>Promedio época seca</b>	0,003	1,044	0,383	0,038	82,063	79,375	5,806	0,482	61,063	133,125	96,250
<b>SD general</b>	0,001	1,475	1,910	0,075	40,437	42,589	11,588	0,417	99,330	75,327	62,765
<b>SD época lluviosa</b>	0,001	2,046	2,714	0,017	36,523	40,542	0,657	0,126	6,791	72,065	65,571
<b>SD época seca</b>	0,001	0,350	0,129	0,104	44,474	44,816	16,276	0,497	136,604	80,723	61,087

SD= Desviación estándar

Los datos corresponden a una muestra de cada una de las 15 nacientes y un pozo para época seca y época lluviosa.

Cuadro 23. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros para las 16 muestras en la zona de estudio (continuación).

	Sólidos Fijos (mg/L)	Sólidos volátiles (mg/L)	Sólidos Suspendedos (mg/L)	Sólidos disueltos (ppm Tds)	Coloides (mg/L)	pH	OD (%)	OD (ppm)	Conductividad $\mu$ skm	Temperatura (°C)
<b>Promedio general</b>	65,000	71,563	32,187	68,621	44,188	6,677	45,914	3,567	137,172	22,445
<b>Promedio época lluviosa</b>	75,000	60,000	23,750	61,000	58,750	6,750	44,150	3,459	121,929	22,245
<b>Promedio época seca</b>	55,000	83,125	40,625	75,733	29,625	6,609	47,560	3,667	151,400	22,632
<b>SD general</b>	69,468	69,334	33,383	39,946	37,392	0,722	19,190	1,490	80,197	1,199
<b>SD época lluviosa</b>	81,158	40,988	19,958	38,335	37,980	0,715	13,410	1,065	77,148	1,022
<b>SD época seca</b>	56,332	89,273	41,868	41,406	31,538	0,748	23,739	1,835	82,989	1,351

SD= Desviación estándar

Los datos corresponden a una muestra de cada una de las 15 nacientes y un pozo para época seca y época lluviosa.

5.2.2 Análisis estadístico aplicado a los parámetros evaluados en las 16 muestras de la zona de estudio.

Dado que la estadística básica aplicada por sí sola no establece si existen diferencias significativas entre los parámetros evaluados en las 16 muestras para la época lluviosa con respecto a la época seca; se realizó la prueba estadística pareada no paramétrica llamada *prueba de los rangos con signos de Wilcoxon*. Dicha prueba compara la mediana de las 16 muestras de época seca con respecto a su recíproco en la época lluviosa y determina la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Se optó por aplicar dicha prueba, ya que el análisis de normalidad previo aplicado a los valores de los parámetros establece que los datos no presentan una distribución normal. Los 21 parámetros analizados, se encuentran tabulados en los cuadros 24 y 25.

Cuadro 24. Análisis estadístico Wilcoxon Signed-Rank test aplicado a los parámetros de las muestras en la zona de estudio.

<b>Parámetros de calidad</b>	<b>p-valor</b>	<b>Estadístico W</b>
Nitrito (NO <sub>2</sub> -N)	0,17899	55,5
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	0,50662	55
Fósforo (PO <sub>4</sub> )	0,011272	117
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	0,40487	29,5
Turbidez	0,60509	78
Hierro	0,0076155	95
Color Aparente	0,014282	91,5
Temperatura	0,01306	92
Alcalinidad	0,013996	91,5
Dureza	0,017427	79,5

Cuadro 25. Análisis estadístico Wilcoxon Signed-Rank test aplicado a los parámetros de las muestras en la zona de estudio (continuación).

<b>Parámetros de calidad</b>	<b>p-valor</b>	<b>Estadístico W</b>
Sólidos Disueltos	0,010747	82
Conductividad	0,010039	93,5
Sólidos Totales	0,79535	73
Sólidos Filtrables	0,1082	78
Sólidos Fijos	0,81866	64
Sólidos Volátiles	0,3632	76
Sólidos Suspendidos	0,17605	74
Coloides	0,0090086	118,5
Potencial de Hidrógeno	0,11574	68
Oxígeno Disuelto (OD)	0,59353	61
Porcentaje de Oxígeno Disuelto	0,43263	65

### 5.2.3 Clasificación según la normativa técnica del LNA y el reglamento para la calidad del agua potable

La normativa técnica del Laboratorio Nacional de Aguas (12) realiza una clasificación de las potenciales fuentes de abastecimiento en 4 categorías (A, B, C y D) en función de los valores obtenidos con respecto a los valores límite para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos descritos en los cuadros 11 y 12. En este caso, solamente fueron evaluados 10 parámetros: coliformes fecales, color aparente, conductividad, dureza total, hierro, nitratos, nitritos, pH; sólidos disueltos totales y turbiedad; descritos en los cuadros 26 y 27, correspondientes al muestreo puntual de las 15 nacientes y el pozo durante la época lluviosa y seca; respectivamente.

Cabe recalcar que dicha normativa técnica evalúa de manera cuantitativa la cantidad de coliformes fecales presentes en las fuentes de agua; para lo que establecen que debe de ser menor a 1 NMP o UFC/100 mL para que sea catalogada como apta para consumo humano. Sin embargo, dado que *E. coli* es un indicador microbiológico de contaminación fecal; éste fue determinado cualitativamente en los análisis de laboratorio realizados.

El reglamento para la calidad del agua potable evalúa los parámetros descritos previamente en los cuadros 1-5, tomando en cuenta para este caso de estudio los mismos parámetros descritos anteriormente. Con lo que respecta al parámetro microbiológico *E.coli*; dicho reglamento establece que no debe de ser detectable. De los 10 parámetros evaluados, dicho reglamento varía en el valor máximo admisible para la conductividad y pH. Ya que no existe un valor máximo admisible (VMA), más bien, se trabaja con un valor alerta por encima de los 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 8 de pH.

Cuadro 26. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos para las 16 muestras de agua de la zona de estudio durante la estación lluviosa 2018.

		Nomenclatura de las muestras de nacientes y pozo																	
Valores límite / Valor Máximo Admisible (VMA)		N21	N32	N16	N24	N13	N34	Pozo	N23	N10	N5	N8	N27	N33	N1	N2	N36		
Parámetros	Normativa técnica (LNA)	Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S																	
	Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S	Valores obtenidos																	
<i>E.coli</i> ***	<1	No detectable	P	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	-	-
Color Aparente (U-Pt-Co)	15	15	3	0	2	0	3	0	2	7	0	0	22*	2	3	6	8	20*	
Conductividad (µS/cm)	1000	400**	58	33	115	61	121	192	-	64	145	47	123	126	-	337	136	149	
Dureza total (mg/L)	400	400	65	20	50	45	50	112	41	36	93	50	65	70	70	193	55	40	
Hierro (mg/L)	0	0,3	0	0,07	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,44*	0	0,04	0,29	
Nitratos (mg/L)	50	50	1,3	1,2	1,3	1,1	0,8	1,2	2	1,3	1,6	9,2	0,7	1,1	0,9	1,1	0,8	0,6	
Nitritos (mg/L)	0,10	0,10	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,005	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	
pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	8,0	7,12	5,92	6,89	6,22	7,61	6,92	-	6,42	6,69	6,84	7,6	7,1	-	7,06	4,89*	7,22	
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000	1000	29	17	57	31	61	96	-	32	72	24	62	63	-	168	68	74	
Turbiedad (UNT)	5	5	1,1	1,23	0,86	1,73	1,15	0,4	0,4	1,24	0,19	0,48	2,05	0,3	0,47	0,93	1,53	2,41	

P= Presencia

\*\*No existe VMA, sin embargo, el valor alerta es de 400.

\*Valores obtenidos que exceden los valores límite/VMA resaltados en color rojo

\*\*\*Indicador microbiológico de contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

Cuadro 27. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos para las 16 muestras de agua de la zona de estudio durante la estación seca 2019.

		Nomenclatura de las muestras de nacientes y pozo																	
Valores límite / Valor Máximo Admisible (VMA)		N21	N32	N16	N24	N13	N34	Pozo	N23	N10	N5	N8	N27	N33	N1	N2	N36		
Parámetros	Normativa técnica (LNA)	Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S																	
	Reglamento para la Calidad del Agua Potable N°38924-S	Valores obtenidos																	
	<i>E. coli</i> ***	<1	No detectable	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
	Color Aparente (U-Pt-Co)	15	15	47*	29*	27*	8	1	0	>550*	164*	25*	0	14	0	21*	67*	24*	0
	Conductividad (µS/cm)	1000	400**	76	54	141	117	122	242	147	99	175	118	223	135	-	392	131	99
	Dureza total (mg/L)	400	400	71	29	65	45	63	176	107	45	80	60	95	70	70	190	47	57
	Hierro (mg/L)	0,3	0,3	0,23	0,00	0,46*	0,31*	0,00	0,61*	1,58*	0,73*	0,06	1,19*	0,00	0,00	0,94*	1*	0,6*	0,00
	Nitratos (mg/L)	50	50	1,2	1,2	0,8	1,3	1,2	1,2	0,0	0,7	1,3	1,3	1,4	1,0	1,3	0,9	0,8	1,1
	Nitritos (mg/L)	0,10	0,10	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	0,004
	pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	8,0	6,53	5,48*	6,85	5,77	7,4	7,09	6,33	6,42	7,06	7,14	7,53	6,96	-	6,97	4,82*	6,79
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000	1000	38	27	71	58	61	121	73	50	87	59	111	68	-	196	66	50
	Turbiedad (UNT)	5	5	1,33	0,42	1,30	0,28	0,99	0,35	65,9*	11,8*	0,55	0,30	1,02	0,76	0,36	4,08	0,91	2,54

P= Presencia

\*\*No existe VMA, sin embargo, el valor alerta es de 400.

\*Valores obtenidos que exceden los valores límite/VMA resaltados en color rojo.

\*\*\* Indicador microbiológico de contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

5.2.4 Clasificación según la normativa técnica del Laboratorio Nacional de Aguas para potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y sub superficiales en Costa Rica

Basándose en los resultados de los cuadros 26 y 27, se realizó una clasificación previa para cada parámetro (ver cuadros A61y A62) con base en las categoría establecidas en el cuadro 10. Ya que dicha normativa establece una categoría asignada para cada muestra tanto en época seca como en época lluviosa, donde se contempla la categoría más baja del total de parámetros para cada una de las 16 muestras; descritas en el cuadro 28.

Cuadro 28. Resultados de la clasificación de las muestras mediante los criterios de evaluación de la normativa técnica del LNA.

Nomenclatura de las nacientes	Categoría Asignada	
	Estación seca	Estación lluviosa
N21	C	B
N32	C	B
N16	C	A*
N24	C	B
N13	B	B
N34	C	B
Pozo	C	B
N23	C	B
N10	C	B
N5	C	B
N8	B	C
N27	B	B
N33	C	C
N1	C	A*
N2	C	C
N36	B	C

\*Se clasifican como categoría A dado que no hubo muestra de *E. coli* analizada.

## 5.2.5 Clasificación según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales

### 5.2.5.1 Parámetros obligatorios para la clasificación de un cuerpo de agua

Se realizó la asignación de puntaje según el Sistema Holandés con el fin de valorar la calidad fisicoquímica de las muestras de nacientes y el pozo de la microcuenca en estudio a partir del cuadro 6. Una vez que se ha asignado la puntuación total para cada muestra, se procede a consignar la clase del agua descrita en el cuadro 7; tabulados en la última columna de los cuadros 29 y 30. En los cuadros 29 y 30 se muestran los valores por época climática de los tres principales parámetros que establece el Reglamento para la Clasificación de un Cuerpo de Agua Superficial.

Cuadro 29. Parámetros fisicoquímicos principales para la clasificación de un cuerpo de agua superficial durante la estación lluviosa 2018.

Nomenclatura de las nacientes	PSO (%)		DBO (mg/L)		N-NH4 (mg/L)		Puntaje total	Clasificación**
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje		
N21	36,20	4	-	-	0,02	1	5	2
N32	40,3	4	-	-	0	1	5	2
N16	37,5	4	-	-	0	1	5	2
N24	24,3	5	-	-	0,01	1	6	2
N13	45,70	4	-	-	0,02	1	5	2
N34	43,1	4	-	-	0	1	5	2
Pozo*	-	-	-	-	0	1	1	-
N23	46,6	4	-	-	0	1	5	2
N10	37,4	4	-	-	0	1	5	2
N5	56,40	3	-	-	0,06	1	4	2
N8	50,80	3	-	-	0	1	4	2
N27	53,3	3	-	-	0	1	4	2
N33*	-	-	-	-	0	1	1	-
N1	20,10	5	-	-	0	1	6	2
N2	53,60	3	-	-	0	1	4	2
N36	72,8	2	-	-	0,03	1	3	1

\*No fue posible clasificar las muestras por falta de datos.

\*\* Clasificación realizada con base en el código de color e interpretación de la calidad descritas en el cuadro 7.

Cuadro 30. Parámetros fisicoquímicos principales para la clasificación de un cuerpo de agua superficial durante la estación seca 2019.

Nomenclatura de las nacientes	PSO (%)		DBO (mg/L)		N-NH4 (mg/L)		Puntaje total	Clasificación**
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje		
N21	72,60	2	-	-	0,03	1	3	1
N32	58,8	3	-	-	0,01	1	4	2
N16	26,5	5	-	-	0	1	6	2
N24	41,9	4	-	-	0	1	5	2
N13	32,70	4	-	-	0	1	5	2
N34	86,2	2	-	-	0	1	3	1
Pozo	34,5	4	-	-	0,42	1	5	2
N23	75,4	2	-	-	0,08	1	3	1
N10	20,5	5	-	-	0	1	6	2
N5	38,70	4	-	-	0	1	5	2
N8	38,70	4	-	-	0	1	5	2
N27	67,8	3	-	-	0,01	1	4	2
N33*	-	-	-	-	0	1	1	-
N1	5,00	5	-	-	0,02	1	6	2
N2	38,20	4	-	-	0	1	5	2
N36	75,9	2	-	-	0,03	1	3	1

\*No fue posible clasificar las muestras por falta de datos.

\*\* Clasificación realizada con base en el código de color e interpretación de la calidad descritas en el cuadro 7.

#### 5.2.5.2 Parámetros complementarios para la clasificación de un cuerpo de agua

Los cuadros 31, 32, 33 y 34 presentan la clasificación complementaria de los parámetros evaluados en laboratorio para determinar la calidad del agua y sus usos para ambas épocas climáticas a partir de su respectiva clase según lo estipulado en el cuadro 8. Seguidamente, se aplica la clasificación por código de color e interpretación de la calidad acorde a lo descrito en el cuadro 7.

Cuadro 31. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época lluviosa 2018.

Parámetros	Nomenclatura de las nacientes															
	N21		N32		N16		N24		N13		N34		Pozo		N23	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
<b>Turbiedad (UNT)</b>	1,1	1	1,23	1	0,86		1,73	1	1,15	1	0,4	1	0,4	1	1,24	1
<b>Temperatura (°C)</b>	21,77	*	21,13	*	21,85	*	21,87	*	22,32	*	22,44	*	-	-	21,51	*
<b>Potencial de hidrógeno (pH)</b>	7,12	1	5,92	5	6,89	1	6,22	3	7,61	1	6,92	1	-	-	6,42	3
<b>Nitratos (mg/L)</b>	1,3	1	1,2	1	1,3	1	1,1	1	0,8	1	1,2	1	1	1	1,3	1
<b>Color (Pt-Co)</b>	3	1	0	1	2	1	0	1	3	1	0	1	2	1	7	1
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</b>	30	3	0	1	0	1	0	1	10	1	0	1	10	1	40	3
<b>Sólidos Disueltos (mg/L)</b>	29	1	17	1	57	1	31	1	61	1	96	1	-	-	32	1
<b>E. coli**</b>	P	-	P	-	-	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-

\*Natural o que no afecte el uso indicado.

\*\*Indicador microbiológico de la contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

\*\*\* Se le asigna como clase 5 pese a ser menor del rango establecido.

Cuadro 32. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época lluviosa 2018 (continuación).

Parámetros	Nomenclatura de las nacientes															
	N10		N5		N8		N27		N33		N1		N2		N36	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Turbiedad (UNT)	0,19	1	0,48	1	2,05	1	0,3	1	0,47	1	0,93	1	1,53	1	2,41	1
Temperatura (°C)	22,04	*	22,13	*	23,33	*	21,62	*	-	-	24,87	*	23,44	*	21,11	*
Potencial de hidrógeno (pH)	6,69	1	6,84	1	7,6	1	7,1	1	-	-	7,06	1	4,89 ***	5	7,22	1
Nitratos (mg/L)	1,6	1	9,2	2	0,7	1	1,1	1	0,9	1	1,1	1	0,8	1	0,6	1
Color (Pt-Co)	0	1	0	1	22	2	2	1	3	1	6	1	8	1	20	2
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	20	2	30	3	30	3	30	3	20	2	60	3	40	3	60	3
Sólidos Disueltos (mg/L)	72	1	24	1	62	1	63	1	-	-	168	1	68	1	74	1
E. coli**	P	-	P	-	P	-	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Natural o que no afecte el uso indicado.

\*\*Indicador microbiológico de la contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

\*\*\* Se le asigna como clase 5 pese a ser menor del rango establecido.

Cuadro 33. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época seca 2019.

Parámetros	Nomenclatura de las nacientes															
	N21		N32		N16		N24		N13		N34		Pozo		N23	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
<b>Turbiedad (UNT)</b>	1,33	1	0,42	1	1,30	1	0,28	1	0,99	1	0,35	1	65,90	2	11,80	1
<b>Temperatura (°C)</b>	22,02	*	21,67	*	21,96	*	25,99	*	21,89	*	22,55	*	20,87	*	21,96	*
<b>Potencial de hidrógeno (pH)</b>	6,53	1	5,48 ***	5	6,85	1	5,77	5	7,40	1	7,09	1	6,33	3	6,42	3
<b>Nitratos (mg/L)</b>	1,20	1	1,20	1	0,80	1	1,30	1	1,20	1	1,20	1	0,00	1	0,70	1
<b>Color (Pt-Co)</b>	47,00	2	29,00	2	27,00	2	8,00	1	1,00	1	0,00	1	>550	5	164,00	5
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</b>	10,00	1	10,00	1	0,00	1	40,00	3	0,00	1	30,00	3	120,00	4	110,00	4
<b>Sólidos Disueltos (mg/L)</b>	38,00	1	27,00	1	71,00	1	58,00	1	61,00	1	121,00	1	73,00	1	50,00	1
<b>E. coli**</b>	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-

\*Natural o que no afecte el uso indicado.

\*\*Indicador microbiológico de la contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

\*\*\* Se le asigna como clase 5 pese a ser menor del rango establecido.

Cuadro 34. Asignación de la clase para determinar la calidad del agua de las nacientes según parámetros complementarios en la época seca 2019 (continuación).

Parámetros	Nomenclatura de las nacientes															
	N10		N5		N8		N27		N33		N1		N2		N36	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
<b>Turbiedad (UNT)</b>	0,55	1	0,30	1	1,02	1	0,76	1	0,36	1	4,08	1	0,91	1	2,54	1
<b>Temperatura (°C)</b>	22,24	*	22,65	1	23,59	*	22,27	*	-	-	24,98	*	23,32	*	21,52	*
<b>Potencial de hidrógeno (pH)</b>	7,06	1	7,14	1	7,53	1	6,96	1	-	-	6,97	1	4,82***	5	6,79	1
<b>Nitratos (mg/L)</b>	1,30	1	1,30	1	1,40	1	1,00	1	1,30	1	0,90	1	0,80	1	1,10	1
<b>Color (Pt-Co)</b>	25,00	2	0,00	1	14,00	2	0,00	1	21,00	2	67,00	2	24,00	2	0,00	1
<b>Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)</b>	50,00	3	10,00	1	110,00	4	40,00	3	60,00	3	60,00	3	0,00	1	0,00	1
<b>Sólidos Disueltos (mg/L)</b>	87,00	1	59,00	1	111,00	1	68,00	1	-	-	196,00	1	66,00	1	50,00	1
<b>E. coli**</b>	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-

\*Natural o que no afecte el uso indicado.

\*\*Indicador microbiológico de la contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia.

\*\*\* Se le asigna como clase 5 pese a ser menor del rango establecido.

### 5.3. Análisis de los resultados

#### 5.3.1 Análisis sobre la estadística básica aplicada a las 16 muestras de agua

De los 21 parámetros evaluados tanto en laboratorio como en campo, la conductividad ( $SD=80,197$ ) y el color aparente ( $SD=99,330$ ) presentan las dos desviaciones estándar generales más elevadas (ver cuadros 22 y 23) con respecto a los promedios generales; lo cual se puede deber a dos factores. En primer lugar, la presencia de valores extremos altos en 8 nacientes (N1, N2, N10, N16, N21, N23, N32 y N33) y el pozo, predominantes en la época seca que inclusive sobrepasan el valor límite establecido por las normativas en cuestión (ver cuadro 27). Sin embargo, no es posible eliminarlos ya que son valores puntuales para cada nacimiento en ambas épocas climáticas, es decir, no se cuenta con más repeticiones de cada nacimiento. En segundo lugar, la variación en los valores obtenidos se le puede atribuir al equipo utilizado y su respectiva calibración. En el caso del color aparente, este fue medido mediante el colorímetro marca HACH DR/890 el cual presenta un límite de detección de 0 a 500 unidades. En caso de la conductividad, ésta se obtuvo mediante la sonda del multiparámetros marca HANNA HI 9829.

#### 5.3.2 Parámetros con evidencia de diferencia entre la época seca y lluviosa estadísticamente significativa ( $p<0.05$ )

Por su parte, 9 de los 21 parámetros evaluados, presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la época seca y la época lluviosa acorde con los cuadros 24 y 25. Dichos 9 parámetros son: fósforo, hierro, color aparente, temperatura, alcalinidad, dureza, sólidos disueltos, conductividad y coloides.

##### 5.3.2.1 Fósforo

El fósforo encontrado en las muestras, presenta una diferencia estadísticamente mayor para la concentración en la época lluviosa; específicamente presenta un valor alto para la nacimiento N5 de 11.1 mg/L. Lo cual, concuerda con los resultados de Trabado (24), ya que establece que para la zona alta de la cuenca del río Abangares durante los meses lluviosos; es cuando

se lava el fósforo presente en los suelos y este es incorporado al agua. Lo anterior se puede atribuir a la descarga de fertilizantes empleados en los cultivos y vertidos de aguas residuales con altos contenidos de desechos humanos y detergentes sintéticos. En nuestro país, la concentración de fósforo no se encuentra normada y está relacionado con la actividad agrícola. Tal y como lo enfatiza Mena (44) el problema de una alta concentración de fósforo en el agua es la proliferación de algas, lo cual es incipiente dado que no se observa el crecimiento excesivo de algas en las nacientes analizadas. Además, las variaciones en los niveles de fósforo total depende de varios factores tales como: geología, tipo de suelo, química del agua y la densidad de la población; lo cual afecta el origen del fósforo como contaminante (45).

#### 5.3.2.2 Hierro

El hierro es uno de los principales constituyentes disueltos encontrados tanto en agua superficial como en agua subterránea. La normativa técnica del LNA (12) y el Reglamento para la calidad del agua potable (18), dictan como valor máximo admisible 0.3 mg/L. Para ambas épocas climáticas, la naciente N33 sobrepasó la concentración límite de hierro (ver cuadros 26 y 27). Sumado a lo anterior, durante la época seca otras 7 nacientes (N1, N2, N5, N16, N23, N24 Y N34) y el pozo sobrepasan dicho valor admisible.

Sin embargo, hay evidencia significativa de que las muestras en la época seca presentan una mayor concentración de hierro ( $p=0,0076155$ ) Esto se debe a que durante la época lluviosa el hierro se encuentra más diluido; por lo que es normal encontrar concentraciones más altas en época seca.

#### 5.3.2.3 Color aparente

Por su parte, el color aparente de las muestras mostró diferencia estadísticamente significativa para las muestras en la época seca ( $p=0,014282$ ), donde el color presentó los valores más altos para la naciente N23 (164) y superando las 550 unidades de platino-cobalto (U-Pt-Co) para el caso del pozo. Lo cual indica que el agua presenta altas cantidades de

material en suspensión. Tomando en cuenta lo que dicta el reglamento para la calidad del agua potable, la turbiedad y el color aparente deben de ser menores a 1 (UNT) y 5 (U-Pt-Co); respectivamente. Por lo que si las nacientes desean ser empleadas para consumo humano, es necesario realizar tratamientos previos de coagulación y floculación.

#### 5.3.2.4 Temperatura

La temperatura de las muestras fue medida en campo mediante un multiparámetros marca HANNA HI 9829. Para los valores obtenidos, existe diferencia estadísticamente significativa para las muestras durante la época seca ( $p=0,01306$ ) donde se registran mayores valores de temperatura (ver cuadros A46 y A47). Ya que para dicha época presenta un rango de temperaturas de 20,79 °C a 25,99 °C y un valor promedio de 22,632 °C. Acorde con Trabado (24), esto se debe a las variaciones de la temperatura del ambiente. Según el Reglamento para la calidad del agua potable, la temperatura no debe de superar el valor de 30°C, para el consumo humano; por lo que las temperaturas del agua de las muestras obtenidas son aceptables.

#### 5.3.2.5 Alcalinidad y dureza

Por su parte, la alcalinidad y la dureza son dos parámetros que se encuentran asociados con el pH. Ambos parámetros presentaron mayores valores en la época seca ( $p_{\text{alcalinidad}}=0,013996$  y  $p_{\text{dureza}}=0,017427$ ) en contraste con la época lluviosa. Los promedios generales obtenidos para alcalinidad y dureza fueron 76,44 (mg/L) y 72,66 y (mg/L); respectivamente. Para la época seca el promedio obtenido fue de aproximadamente 82 (mg/L) para la alcalinidad y 79 (mg/L) para la dureza.

Con respecto a los resultados de alcalinidad obtenidos para el muestreo en época lluviosa (valor promedio de 70.81 (mg/L)), éstos se relacionan con los obtenidos por Trabado (24), ya que se pueden atribuir al lavado de las rocas constituidas por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de iones como el calcio y magnesio; los cuales se diluyen con el aumento del

caudal de las nacientes. En contraste, durante la época seca las concentraciones de éstos aumentan, incrementando así la alcalinidad de las fuentes de agua.

En el caso de la dureza del agua esta depende principalmente de la geología de la zona (46) y el tipo de suelo sobre el que fluye (24). En el caso de las aguas subterráneas, al pasar por acuíferos carbonatados, éstas presentan mayores valores de dureza. Pérez (23) indica que las nacientes presentan un arrastre mayor de minerales como el calcio y magnesio; lo cual incrementa la dureza de las aguas subterráneas. Por lo que las aguas “duras” contienen altas cantidades de sales de magnesio y calcio. En este caso, las nacientes N34 (176 (mg/L))y N1(190(mg/L)) se consideran como aguas duras ya que se encuentran dentro del rango de concentración de  $\text{CaCO}_3$  de 150 a 300 mg/L (23) para la época seca.

#### 5.3.2.6 Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos presentes en las 16 muestras analizadas, evidencian estadísticamente que la concentración es mayor en la época seca ( $p=0,010747$ ). Dichos sólidos están compuestos de cationes y aniones disueltos. Este parámetro se relaciona con los resultados obtenidos de dureza, ya que las aguas duras poseen un alto contenido de partículas disueltas(14); lo cual se evidencia en las dos nacientes: N34 y N1 con altos valores de dureza descritos en el párrafo anterior, las cuales a su vez presentan los dos valores más elevados de sólidos disueltos: 121 ppm y 196 ppm; respectivamente (ver cuadro A52). A su vez Mena (44) recalca que el agua presenta una tendencia de aumentar la dureza en función del incremento de los sólidos disueltos en forma de sales minerales.

#### 5.3.2.7 Conductividad

A su vez, los sólidos disueltos se asocian con la conductividad del agua; ya que ésta se torna sensible ante variaciones de dichos sólidos (45). En este caso, la conductividad presentó diferencias estadísticamente significativas para la variación entre las dos estaciones de muestreo. Ya que al igual que los sólidos disueltos, presenta valores mayores en la estación seca ( $p=0,010039$ ). Este comportamiento también se presenta en el TFG de Trabado (24), el

cual se lo atribuyó al poco flujo de agua en la época seca. La normativa técnica y el reglamento de calidad para agua potable establecen como valores límite de conductividad 1000 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y 400 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); respectivamente. Cabe recalcar que ninguna de las 16 muestras analizadas excede dichos valores. No obstante, la muestra de la naciente N1 presentó el mayor valor de conductividad de 392 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la época seca.

#### 5.3.2.8 Coloides

Generalmente la turbidez del agua se debe a la presencia de coloides o materia fina. Las nacientes si presentaron diferencias significativas entre ambas épocas climáticas, reportando una mayor concentración de coloides durante la época lluviosa ( $p=0,0090086$ ), presentando en promedio un valor de 58.75 mg/L. Esto se debe a que la mayoría de las nacientes, específicamente 27 de ellas, se encuentran no captadas o mal captadas y esto hace que se comporten como agua superficial. Por lo que cuando llueve, la escorrentía arrastra todo a su alrededor y esto se evidencia en la diferencia marcada de mayor concentración de coloides en época lluviosa. Tal es el caso la naciente N16, la cual reportó el mayor valor de coloides para la época lluviosa de 123 mg/L; la cual no se encuentra captada y evidencia el comportamiento descrito. Dicho comportamiento también ocurre en la naciente N1, la cual se encuentra mal captada y presenta un valor de 112 mg/L para la estación lluviosa.

#### 5.3.3 Parámetros sin evidencia de diferencia entre época seca y lluviosa estadísticamente significativa ( $p>0.05$ )

##### 5.3.3.1 pH

El pH de las muestras no presentó diferencias significativas entre la época lluviosa y época seca, ya que las muestras se ubican dentro del rango recomendado por las diferentes normativas ambientales de 5.5 y 8.5. Sin embargo, la naciente N36 registró los valores más bajos de pH de 4.82 y 4.89 para época seca y época lluviosa; respectivamente. Lo anterior puede deberse a altas concentraciones de aluminio, lo cual disminuya el valor de pH; es decir, ocurre la acidificación del agua. Dado que el aluminio es un componente natural de las aguas subterráneas, este puede presentarse como sales solubles o compuestos coloidales.

Acorde con Bernier & Alfaro (47), lo anterior puede deberse a que durante las lluvias se produzca la lixiviación de cationes intercambiables en el suelo, provocando que el agua que pasa entre los poros del suelo arrastre los cationes que se encuentren ligados con menor fuerza a la arcilla (potasio y sodio), dejando lugar a los cationes de mayor fuerza iónica tales como el aluminio e hidrógeno. Es decir, el movimiento de los cationes a capas inferiores del suelo contribuye a la acidificación, debido a que por la presencia de aniones se forman pares iónicos, arrastrando los cationes con el movimiento del agua.

#### 5.3.3.2 Sólidos totales

Según el cuadro 22, se denota que la cantidad de sólidos totales promedio es ligeramente mayor en la época seca (133.125 mg/L) producto de la disminución del caudal y aumento en la concentración de sustancias presentes en el agua.

El ensayo de laboratorio para determinar los sólidos totales, filtrables y volátiles es muy sensible, ya que se obtiene mediante diferencia de peso de una cápsula con volumen conocido de muestra previo al secado en horno. El resultado se obtiene en mg, por lo que cualquier error humano de medición, polvo o pesado de la cápsula aún caliente; representa un error alto en el resultado. Un ejemplo de este tipo de error experimental, es la determinación de los sólidos filtrables, los cuales varias veces dieron mayor que los sólidos totales; esto puede deberse a que no se agitó bien la muestra antes de aplicar el filtro. Por ende, los sólidos suspendidos, también se obtienen por diferencia entre los sólidos totales y filtrables; por lo cual se arrastra el error de cálculo.

#### 5.3.3.3 Sólidos volátiles

El contenido de materia orgánica en el agua se representa mediante la concentración de sólidos volátiles. Estos sólidos también se obtienen por diferencia de pesos, este caso entre los sólidos totales y los fijos. Para las nacientes en estudio, hubo un ligero incremento en la concentración promedio de sólidos volátiles en la época seca; la cual reporta un valor de 83,125 mg/L. Lo cual se le puede atribuir a la mala captación y protección de las nacientes.

Por lo que con el aumento de la turbiedad de escorrentía y excretas de animales silvestres; se manifiesta dicha presencia de materia orgánica.

#### 5.3.3.4 Nitrógeno Amoniacal

El nitrógeno amoniacal es una de las formas más tóxicas del nitrógeno y no debe estar presente en aguas para consumo humano. Su presencia se asocia en excretas de seres vivos y luego es oxidado para formar los nitritos (24). En términos generales, las 15 muestras de nacientes presentaron valores de nitrógeno amoniacal dentro del rango de 0 mg/L a 0.08 mg/L para ambas épocas climáticas. No obstante, la muestra correspondiente al Pozo presentó un elevado valor en nitrógeno amoniacal en 0.42 mg/L para la época seca. Lo cual indica una alta carga orgánica en descomposición y contaminación reciente. Lo cual se evidenció con la visita de campo, ya que dicho pozo está mal protegido (sin tapa) por lo que es posible que se contamine por hojas secas y excretas de animales silvestres. Las 3 normativas empleadas para el análisis no limitan la concentración de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, el Reglamento para la Clasificación de Cuerpos de Agua Superficial asigna un puntaje a dicho parámetro para establecer una asignación de clase en conjunto con los otros dos valores obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno y porcentaje de oxígeno disuelto.

#### 5.3.3.5 Nitrito

La presencia de nitrito en las nacientes evidencia una descarga reciente de materia orgánica en el agua. En términos generales, los valores obtenidos se encuentran dentro de un rango de 0.001mg/L a 0.005 mg/L (ver cuadros 26 y 27) para las dos épocas climáticas; manteniéndose por debajo del valor límite de 0.10 mg/L establecido tanto en la normativa técnica del LNA como en el reglamento para la calidad del agua potable. Por lo que se puede decir que las nacientes no presentan una contaminación reciente al momento de las mediciones.

#### 5.3.3.6 Nitrateo

El nitrato es un componente de los fertilizantes nitrogenados y surge de la nitrificación de los nitritos (24). Además, Freeze & Cherry (48) indican que el nitrato proviene de la actividad

agrícola y de la descarga de agua residual; por lo que representa el contaminante más común en las aguas subterráneas. Este parámetro es el mejor indicador de contaminación agrícola para aguas subterráneas, ya que se incorpora directamente al agua y no queda depositado en el suelo. Acorde con Reynolds & Fraile (49), esto se debe a su alta solubilidad en el medio acuoso y su fácil transporte a través del suelo gracias a la precipitación.

Las concentraciones de nitratos obtenidas en las 16 muestras para ambas épocas climáticas, se encuentran por debajo del valor límite de 50 mg/L establecido en ambas normativas comparadas en los cuadros 26 y 27. Dichos valores oscilan entre 0.00 mg/L y 1.4 mg/L en época seca y 0.6 y 1.6 mg/L en época lluviosa. Sin embargo, la naciente N5 presentó un valor extremo de 9.2 mg/L para la época lluviosa, lo cual evidencia una contaminación antigua producto de la esorrentía agrícola aguas arriba de donde se ubica dicha naciente.

A su vez, Reynolds (50) indica que las aguas subterráneas en roca fracturada presentan grandes cantidades de oxígeno disuelto; éste medio ayuda a que el nitrato se mantenga y se desplace a través del acuífero. Lo anterior, se relaciona con los valores promedio obtenidos de oxígeno disuelto (ver cuadro 23) en ambas épocas climáticas, ya que para la época seca fue de 3.7 ppm y para la época lluviosa se obtuvo un valor de 3.5 ppm. Según Vidal(16), una buena calidad del agua presenta valores de oxígeno disuelto dentro del rango de 8 mg/L a 12 mg/L. En este caso, se obtuvieron valores dentro del rango de 0.0 mg/L a 4.0 mg/L(16); lo cual indica una mala calidad del agua. Sumado a lo anterior, basándose en las visitas de campo, todas las muestras de agua presentaban mal olor; lo cual indica González(32) como una señal de nivel bajo de oxígeno disuelto.

#### 5.3.4 Evaluación de las muestras utilizando del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad

Una vez analizados los parámetros anteriores y dada su clasificación según el sistema holandés de valoración de la calidad para los cuerpos de agua superficiales (ver cuadro 29 y 30), es posible brindar una interpretación de la calidad de las nacientes y de esta forma establecer sus potenciales usos. Cabe recalcar que en ninguno de los casos se evaluó el DBO

ya que se consideró que dicho parámetro es menos susceptible a la contaminación por materia orgánica debido a que se trata de agua subterránea.

Para la época lluviosa, predominan las nacientes con clases 1 (naciente N36) y 2 (nacientes N21, N32, N16, N24, N13, N34, N23, N10, N5, N8, N27, N1 y N2); donde se cataloga el agua como: sin contaminación y contaminación incipiente. Cabe recalcar que la naciente N33 y el Pozo no pudieron ser catalogadas por falta de información suficiente.

Para la época seca, las nacientes presentan la misma clasificación que en la época lluviosa. Sin embargo, las nacientes N21, N34, N23 y N36 ahora se catalogan como clase 1 y las restantes como clase 2; donde la calidad se interpreta de la misma forma que en la época lluviosa.

El reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales en el artículo 7, establece los usos potenciales del agua en función de su clasificación. En este caso al ser clases 1 y 2, el agua puede ser empleada para consumo humano, con tratamiento convencional, actividades industriales, actividades pecuarias y riego.

#### 5.3.5 Evaluación según el Reglamento para la Calidad de Agua Potable

Con respecto al reglamento de calidad del agua potable, 3 de los 10 parámetros evaluados en el cuadro 27, durante la época seca exceden el valor máximo admisible, estos son: turbiedad, color aparente y hierro. En el caso de la época lluviosa (ver cuadro 26), solamente se exceden los valores máximos admisibles para el color aparente y el hierro. Esto se debe fundamentalmente a la mala o nula captación de la mayoría de las nacientes. Ya que dichas nacientes mal captadas no cuentan con una tapa adecuada, la toma no es de concreto y están mal protegidas. Por lo que con el simple hecho de mejorar el estado de la captación, se pueden reducir los valores obtenidos en los parámetros: turbiedad, color aparente y hierro.

#### 5.3.6 Evaluación según la normativa técnica del LNA

Acorde con la clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y sub superficiales en Costa Rica implementada por el LNA (ver cuadro 28), se tiene que para la

estación seca todas las nacientes reciben categoría C, excepto 4 de ellas (nacientes: N13, N8, N27, N36) que se catalogan como categoría B.

En contraste con la estación lluviosa, se tiene que las nacientes: N16 y N1 se catalogan como categoría A. Cabe recalcar, que a estas dos nacientes no se les realizó el análisis microbiológico (*E. coli*) dado la falta de transporte y acceso a la finca. Por lo que, basándose en los restantes 9 parámetros categorizados el cuadro A61 (ver anexos) como clase A; dichas nacientes quedan catalogadas en esa clase. En el caso de las nacientes: N8, N33, N2 y N36, estas se catalogan como categoría C y las restantes 9 nacientes y el pozo como categoría B.

Lo anterior, evidencia que las nacientes catalogadas como categoría A se encuentran aptas para consumo humano y solamente requieren de algún método de desinfección preventivo antes de su consumo. Por su parte, las nacientes catalogadas como categoría B incumplen solamente por el indicador de coliformes fecales: *E. coli*; por lo que se requiere de un tratamiento de desinfección previo a su uso para consumo humano. Finalmente, las nacientes catalogadas como categoría C incumplen con los valores límite para los parámetros: color aparente, hierro, pH y turbiedad; siendo este último solamente infringido durante la estación seca. Por lo que una alternativa sencilla sería diluir con otras fuentes o aplicar algún tratamiento de remoción según corresponda con la contaminación encontrada en el agua.

## **CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ESPACIAL DEL DIAGNÓSTICO DE LAS AFECTACIONES DE LAS NACIENTES EN LA ZONA DE LA MICROCUENCA DE LOS RÍOS BOSTON Y GONGOLONA**

6.1 Determinación del cambio en la cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales

### 6.1.1 Método de clasificación supervisada

Se determinó el cambio en la cobertura vegetal de la época lluviosa en contraste con la época seca, para poder establecer una potencial relación con los análisis de calidad de agua y cambios en la cobertura de cada una de las nacientes identificadas. Para ello, se realizó el procesamiento de tres imágenes del satélite Sentinel 2B, dos de ellas corresponden al mes de octubre del 2018 y una al mes de febrero del 2019; mediante el programa ArcGis 10.5.1., como sistema de información geográfica y su caja de herramientas.

Cabe recalcar, que para la época lluviosa fue necesario emplear dos imágenes para el mes de octubre (días 11 y 23) dado que en una de ellas presenta alta presencia de nubes y la otra no acota la totalidad del área de estudio. Por lo que fue necesario procesar ambas imágenes por separado y luego unificar la información pertinente para realizar el análisis correspondiente. Para el caso de la época seca, se trabajó con la imagen del día 3 de febrero del 2019. Las imágenes fueron recortadas a un polígono un poco más grande que el área de la microcuenca es estudio.

Según conocimiento previo de la zona por las visitas de campo realizadas en la microcuenca, se obtienen puntos de control para cada una de las categorías de clasificación de uso de suelo. Para las imágenes de octubre y febrero fueron asignados 40 y 60 puntos de control; respectivamente.

Para el caso de las imágenes del mes de octubre, estas se dividieron en 4 categorías: pastizal, bosque, nube y sombra de nube. En el caso de la imagen satelital del 3 de febrero, se le asignaron 2 categorías más: urbano y suelo desnudo; para un total de 6 categorías.

Del mismo modo se realizó una de composición de bandas, para facilitar la determinación del uso del suelo o categoría que representan los píxeles de las imágenes. Las bandas de Sentinel 2B empleadas fueron: 02, 03, 04 y 08; las cuales corresponden a los colores de banda: rojo, verde, azul e infrarrojo cercano; respectivamente.

Para realizar la clasificación supervisada mediante el programa ArcGis 10.5.1., se procede a crear los polígonos de entrenamiento. En las tres imágenes fueron creados 10 puntos por cada categoría; para un total de 60 puntos en febrero y 40 puntos para cada imagen del mes de octubre. Seguidamente se creó la firma espectral y posterior a ello, se procede a utilizar la herramienta de clasificación de máxima verosimilitud para obtener la clasificación deseada. Una vez obtenida la clasificación supervisada, es necesario comprobar la calidad de la precisión del proceso realizado. Para esto, se realizó la matriz de confusión; tal y como se muestra en los cuadros 35,36 y 37.

Posteriormente, se unificó la información de las dos imágenes del mes octubre y se delimitó al área de estudio, para la cual quedaron presentes 4 categorías: nubes, sombra de nubes, pastizal y bosque. Sin embargo, para efectos de determinar el cambio en la cobertura vegetal entre las dos épocas climáticas, en las imágenes que presentan nubes y sombra de nubes se realizó un enmascaramiento de la información y estas áreas fueron eliminadas del análisis. Esto se lleva a cabo para efectos de poder visualizar solamente los cambios que se puedan comprobar entre ambas imágenes. Las tres categorías comparables en las nuevas imágenes delimitadas de los meses de febrero y octubre son: pastizal, bosque y suelo desnudo. En las figuras 51 y 52, se evidencia la cobertura del suelo de la microcuenca en estudio para cada respectivo mes.

### 6.1.2 Resultados

A continuación, se presentan los cuadros correspondientes a las matrices de confusión para cada una de las tres imágenes satelitales analizadas correspondientes a los meses de octubre 2018 y febrero 2019. Además, se denota el área de cobertura vegetal de las categorías: bosque, pastizal y suelo desnudo, para ambos meses en estudio.

Cuadro 35. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 3 de febrero del 2019.

Datos de referencia									
Clase		Nubes	Sombra de nube	Bosque	Pastizal	Suelo desnudo	Urbano	Total	Exactitud del usuario (%)
Predicción	Nubes	49	0	0	0	0	0	49	100
	Sombra de nube	0	60	0	0	0	0	60	100
	Bosque	0	0	60	0	1	0	61	98,36
	Pastizal	0	0	0	60	0	0	60	100
	Suelo desnudo	0	0	0	0	59	0	59	100
	Urbano	11	0	0	0	0	60	71	84,51
Puntos de control		60	60	60	60	60	60	360	
Exactitud del productor (%)		81,67	100	100	100	98,33	100		
Valor de Kappa, K=0.96									

Cuadro 36. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 11 de octubre del 2019.

Datos de referencia							
Clase		Nubes	Sombra de nube	Bosque	Pastizal	Total	Exactitud del usuario (%)
Predicción	Nubes	40	0	0	0	40	100
	Sombra de nube	0	39	0	0	39	100
	Bosque	0	1	37	1	39	94,87
	Pastizal	0	0	3	39	42	92,86
Puntos de control		40	40	40	40	160	
Exactitud del productor (%)		100	97,5	92,5	97,5		
Valor de Kappa, K=0.9583							

Cuadro 37. Matriz de confusión para el polígono de la imagen del 23 de octubre del 2019.

Datos de referencia							
Clase		Nubes	Sombra de nube	Bosque	Pastizal	Total	Exactitud del usuario (%)
Predicción	Nubes	40	1	0	0	41	97,56
	Sombra de nube	0	31	0	0	31	100
	Bosque	0	8	40	1	49	81,63
	Pastizal	0	0	0	39	39	100
Puntos de control		40	40	40	40	160	
Exactitud del productor (%)		100	77,5	100	97,5		
Valor de Kappa, K=0.9166							

Cuadro 38. Áreas de cobertura vegetal del área del estudio durante los meses de octubre 2018 y febrero 2019.

Área (km <sup>2</sup> )	octubre 2018	febrero 2019
Pastizal	8,009	3,967
Bosque	14,507	13,321
Suelo desnudo	-	6,027

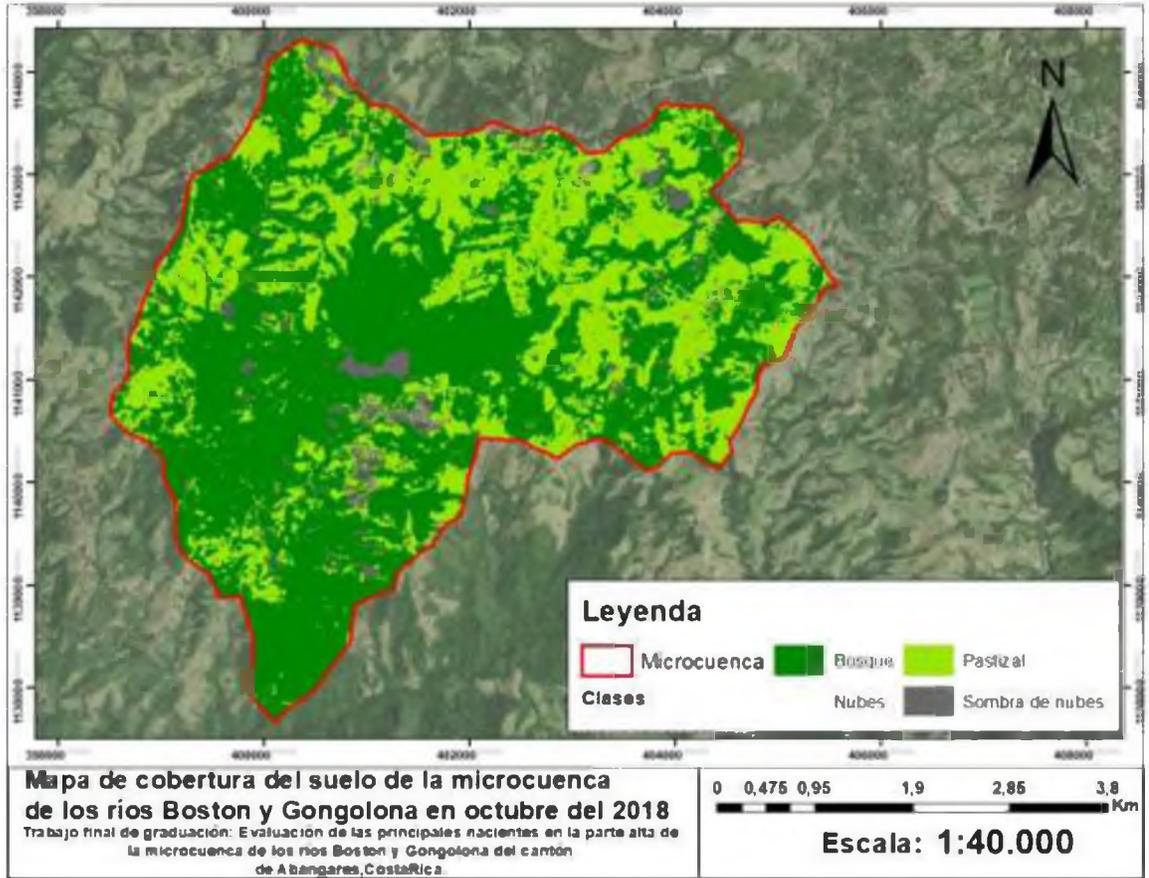


Figura 51. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona del mes de octubre 2018.

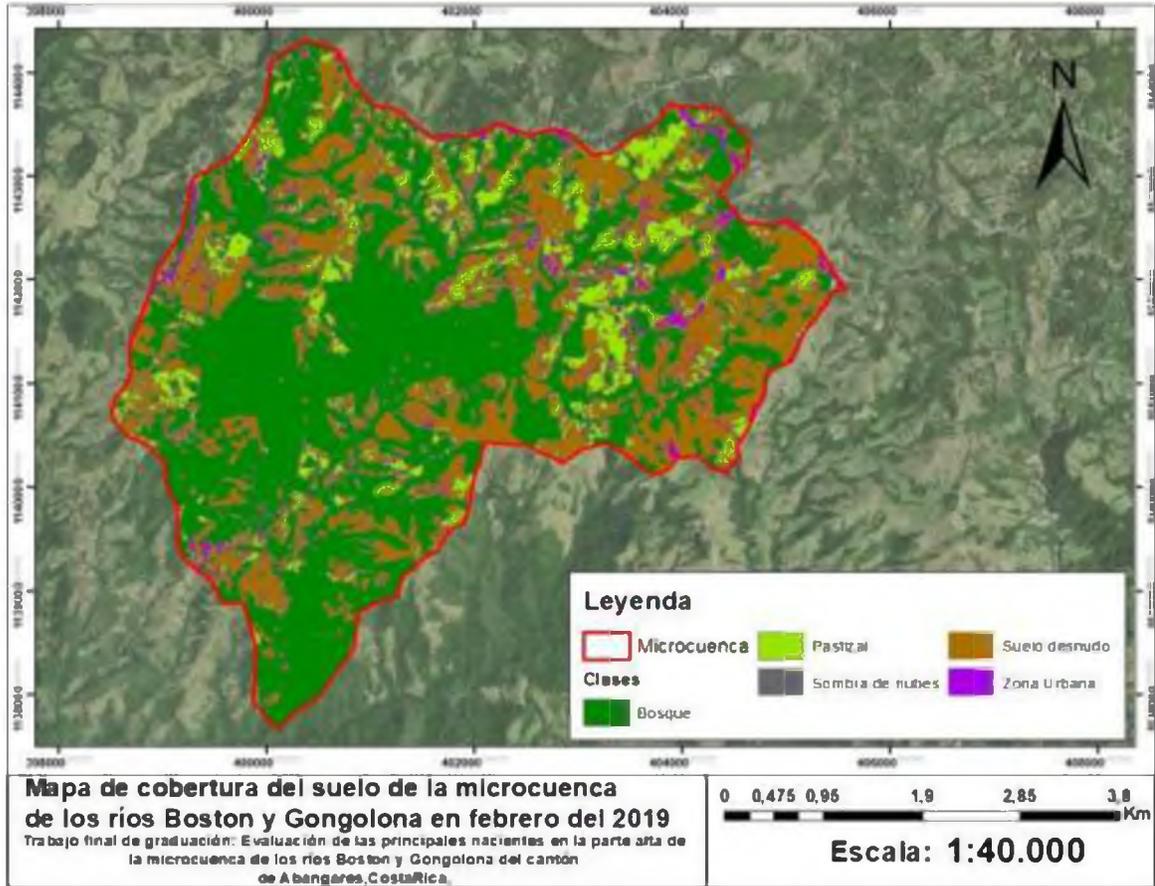


Figura 52. Mapa de cobertura de suelo de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona del mes de febrero 2019.

### 6.1.3 Análisis de los resultados

El coeficiente kappa para cada una de las 3 imágenes fue calculado a partir de las matrices de confusión descritas en los cuadros 35,36 y 37. Dicho coeficiente estima que tan buena es la clasificación realizada previamente. Según la escala de interpretación del valor kappa de Landis & Koch (51), se establece que para valores mayores a 0.81 se considera casi perfectos; tal fue el caso de las 3 imágenes donde se obtuvieron valores de 0.96, 0.96 y 0.92 correspondientes a los días 3 de febrero, 11 de octubre y 23 de octubre; respectivamente. Dado que en los tres casos se obtienen valores mayores a 0.9; esto quiere decir que la clasificación realizada concuerda altamente con lo observado en las visitas de campo.

Mediante la información tabulada en el cuadro 38, generada a partir de la información extraída de los mapas de cobertura de uso de suelo de las figuras 51 y 52, se puede ver como de octubre a febrero se da una disminución en 1.2 ha de cobertura boscosa y 4.04 ha de pastizales; mientras se incrementa el área correspondiente a suelo desnudo.

El detrimento a nivel boscoso descrito en el cuadro 38 es posible asociarlo con el comportamiento de los aforos registrados para la época seca, ya que se presenta una disminución de los caudales producto de un incremento en la tasa de evaporación del suelo. Por otro lado, el arrastre de sedimentos y la presencia de mayor concentración de ciertos parámetros como el color aparente, conductividad y sólidos disueltos; sea producto del incremento del área correspondiente a suelo desnudo en la época seca.

## 6.2 Delimitación de las zonas de protección de las nacientes bajo la legislación vigente

### 6.2.1 Procedimiento para la creación de las zonas buffer

La delimitación de las zonas de protección se realizó mediante los radios establecidos en la Ley Forestal y la Ley de Aguas; las cuales establecen un radio alrededor de las nacientes de 100 m y 200 m; respectivamente. En el caso del pozo, se estableció una distancia de 40 m acorde con lo estipulado en el artículo 8 de la Ley de Aguas. En la figura 53 se aprecian los límites de protección establecidos.

## 6.2.2 Resultados

En el siguiente mapa se delimitan las zonas buffer para cada una de las 37 nacientes partiendo de radios de 100 m y 200 m, según dictan las normativas vigentes.

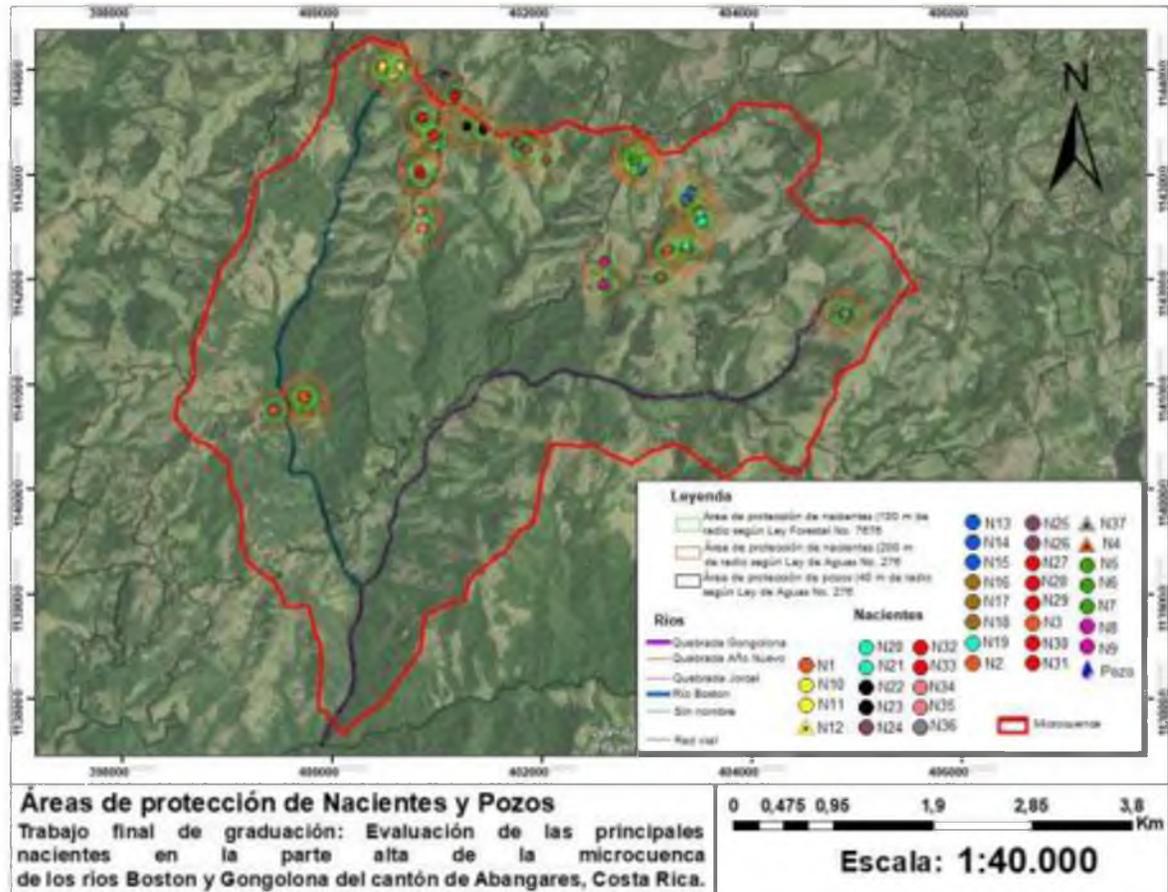


Figura 53. Mapa de las áreas de protección de nacientes y pozos ubicadas dentro de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona

### 6.2.3 Análisis de los resultados

Mediante la figura 53, se muestra como la totalidad de las nacientes se sitúan dentro de una zona de protección acorde con los radios establecidos por la Ley Forestal y la Ley de Aguas.

Además, mediante las visitas de campo se observó que las nacientes N23, N26, N32, N33 y N6 sí presentan cercas rústicas de protección alrededor de la toma por medio de alambres de púas. Sin embargo, esto no restringe el acceso a las mismas por parte de personas, ganado u otro tipo de fauna silvestre. Por lo que hay evidencia de actividad dentro del área de retiro: excreta animal, cadáveres del ganado, aplicación de herbicidas y pastoreo; ya que la mayoría de estas nacientes son empleadas para consumo agropecuario.

### 6.3 Cambio en el porcentaje de cobertura de suelo de la época lluviosa con respecto a la época seca para cada una de las nacientes

#### 6.3.1 Técnica para obtener el porcentaje de cobertura de suelo entre ambas épocas climáticas

Mediante la clasificación de cobertura de suelo obtenida de los mapas de las figuras 51 y 52 y la delimitación de la zona de protección con radio de 200 m descrita en la figura 53, se determina el cambio de cobertura de suelo específico para cada una de las 37 nacientes mediante la herramienta intersecar del ArcGIS 10.5.1; tal y como se muestra en la figura 54.

Seguidamente, con base en los resultados descritos en el mapa de la figura 54, se calculó el cambio porcentual de cobertura de suelo de época seca a época lluviosa para las siguientes tres categorías: bosque, pastizal y suelo desnudo. Los resultados se encuentran enlistados en los cuadros 39 y 40 según la lista de posiciones con respecto al mayor aumento porcentual de suelo desnudo.

#### 6.3.2 Resultados

A continuación, se muestra el mapa generado a partir de los cambios en la cobertura del suelo de la época lluviosa con respecto a la época seca dentro del área de influencia con radio de 200 m para cada naciente. Además, se enlistan los cambios porcentuales de cobertura para

cada una de las 37 nacientes en función de las cuatro categorías: bosque, pastizal, suelo desnudo y zona urbana.

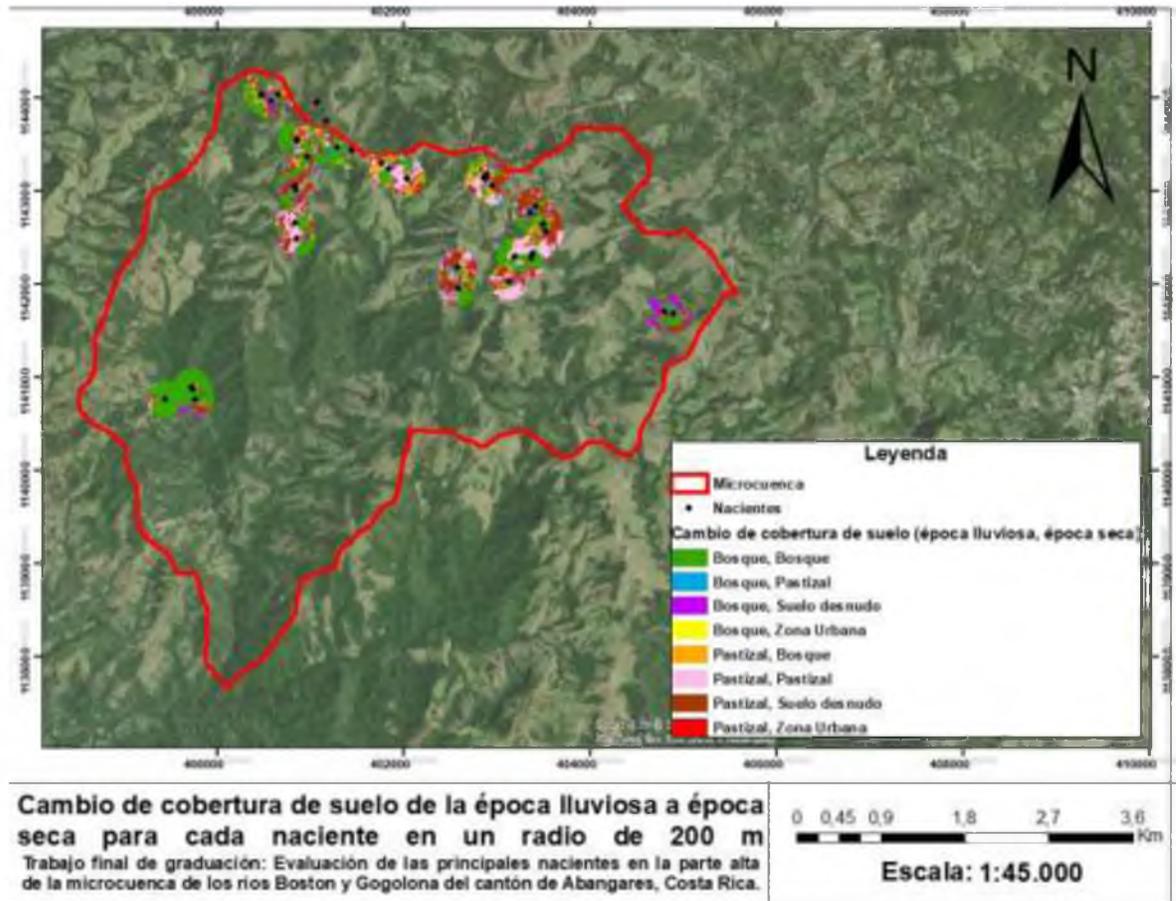


Figura 54. Mapa del cambio de cobertura del suelo de la época lluviosa a la época seca para cada una de las 37 nacientes a un radio de 200 m.

Cuadro 39. Listado de posiciones de las 37 nacientes en función del cambio de cobertura de suelo (%) de época lluviosa a época seca.

Listado de posiciones*	Cambio de cobertura del suelo (%)			
	Bosque	Pastizal	Suelo desnudo	Zona urbana
11	-11,72	-53,61	64,46	0,86
31	-13,73	-39,92	51,95	1,69
29	-14,21	-39,49	51,84	1,86
13**	-10,20	-41,93	51,18	0,95
36**	-33,61	-15,17	48,54	0,23
12	-1,78	-45,82	47,05	0,55
9	-5,30	-47,55	46,52	6,34
37	-38,12	-7,87	45,80	0,19
15	-5,41	-37,05	41,55	0,91
8**	-4,87	-35,84	39,98	0,72
32**	10,15	-49,53	38,85	0,52
14	4,52	-41,78	36,86	0,41
21**	1,21	-43,15	36,27	5,67
10**	-2,83	-33,34	35,86	0,30
6	7,24	-41,32	31,92	2,17
7	5,69	-39,67	31,47	2,51
5*	8,88	-39,57	28,50	2,19
20	6,94	-40,34	28,10	5,31
34**	-2,60	-25,87	26,24	2,22
35	-4,58	-23,33	26,07	1,84
18	-0,86	-30,69	25,69	5,86
28	1,81	-26,87	23,83	1,23
30	2,21	-27,04	23,55	1,28

\*Nacientes en orden decreciente según el porcentaje de cobertura de suelo desnudo.

\*\*Nacientes de las que se tomaron muestras para el análisis de calidad de agua en laboratorio.

Cuadro 40. Listado de posiciones de las 37 nacientes en función del cambio de cobertura de suelo (%) de época lluviosa a época seca (continuación).

Listado de posiciones*	Cambio de cobertura del suelo (%)			
	No. de nacientes	Bosque	Pastizal	Suelo desnudo
25	5,09	-28,17	20,98	2,1
23**	-7,26	-11,63	18,76	0,14
27**	8,80	-24,94	14,90	1,24
33**	8,49	-24,32	14,57	1,25
24**	13,81	-30,30	13,17	3,33
19	-2,97	-10,57	11,71	1,83
26	12,09	-25,84	11,68	2,07
17	-4,93	-8,14	11,00	2,08
16**	-0,17	-10,86	10,09	0,94
4	-0,79	-8,93	9,50	0,22
22	-4,19	-3,72	6,73	1,18
1**	-1,55	-2,70	3,88	0,37
2**	3,31	-5,55	2,10	0,13
3	3,65	-4,06	0,41	-

\*Nacientes en orden decreciente según el porcentaje de cobertura de suelo desnudo.

\*\*Nacientes de las que se tomaron muestras para el análisis de calidad de agua en laboratorio.

### 6.3.3 Análisis de los resultados

El mapa de cobertura de suelo entre ambas épocas climáticas descrito en la figura 54, muestra la predominancia del cambio de la cobertura boscosa (color morado) y pastizales (color café) a suelo desnudo en el área de influencia de las nacientes.

Los cuadros 39 y 40, señalan 16 nacientes con una mayor cobertura boscosa en época seca, las cuales presentan valores positivos de porcentaje; siendo la naciente N24 la que reporta un valor máximo del 13.81%. Este resultado se le puede atribuir al arrastre del error asociado a la clasificación supervisada de las imágenes satelitales y la extracción de información de las capas al utilizar la herramienta de intersección. La matriz de confusión de febrero 2019 (ver cuadro 35) correspondiente a la época seca, presenta un porcentaje de exactitud del usuario para la categoría bosque del 98.36%. Esto quiere decir, que el 98.36% de los píxeles se encuentran clasificados como bosque. El restante 1.64% se clasificó erróneamente entre las

otras categorías; en este caso, se clasificó como suelo desnudo. Por lo que hay probabilidad de que las intersecciones de las capas obtenidas, presenten píxeles que debido a la clasificación supervisada previa no estén clasificados de la manera deseada. En la época lluviosa, también existen píxeles clasificados incorrectamente, tal y como, se muestran en los porcentajes de exactitud del usuario en las matrices de confusión en los cuadros 36 y 37.

Por su parte, la totalidad de las nacientes presenta un incremento del suelo desnudo en la época seca, encabezando la lista de posiciones de cuadro 37; destacan las siguientes cinco nacientes: N11, N31, N29, N13y N36 (ver cuadro 37). La naciente N11 presenta el valor máximo de aumento de suelo desnudo de 64.46% en comparación con la naciente N3; la cual presenta el menor incremento de suelo desnudo en 0.14%.

De las 21 nacientes que presentan una disminución del porcentaje de cobertura boscosa descrita en los cuadros 39 y 40, la naciente N23 presenta valores altos de hierro (0.73 mg/L), turbiedad (11.8 UNT) y color aparente (164 U-Pt-Co) medidos durante la época seca (ver cuadro 27). Dichos valores pueden estar asociados con la disminución en área de bosque, ya que incrementa el área de suelo desnudo en 18.76% en ésta naciente. Las nacientes N16 y N1 también presentan una disminución en la cobertura boscosa (-0.17% y -1.55%) y un bajo incremento en el área de suelo desnudo (10.09% y 3.88%); lo cual es posible vincularlo con los altos valores de hierro (0.46 mg/L y 1 mg/L) y color aparente (27 U-Pt-Co y 67 U-Pt-Co) detectados en la época seca descritos en el cuadro 27.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

Se identificó y evaluó el estado actual de conservación y el nivel de impacto ambiental de 37 nacientes de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. En términos generales, el estado de la captación de las nacientes se considera regular, ya que dichas captaciones están construidas en concreto, pese a que solamente la naciente N5 posee tapa de concreto y la N26 promueve el caudal ecológico. Sin embargo, ninguna de las nacientes presenta protección de pluviales, acera perimetral y malla de protección con candado. Se determinó que se deben hacer mejoras a nivel de infraestructura para la captación y cercar los terrenos de las nacientes. Además, las visitas de campo y el mapeo de las zonas de protección delimitadas por la normativa legal vigente, evidencian que ninguna de las nacientes respeta los radios establecidos de 100 m y 200 m; ya que hay paso constante del ganado y el empleo de fertilizantes y agroquímicos.

Se caracterizaron 37 nacientes y un pozo en la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona. Las 37 nacientes son de régimen permanente y dos de ellas (N12 y N37) son de tipo suampo. Del total de nacientes identificadas, 22 de ellas se clasifican como concentradas y 15 como difusas; en función del tipo de afloramiento. Las nacientes identificadas en el área de estudio presentan potencial para reforzar los acueductos de la zona en función de su caudal y calidad de agua.

Se realizó la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de 15 muestras de agua de nacientes y 1 muestra de agua de pozo en función de dos normas nacionales y un reglamento técnico y se dictaron los potenciales usos del agua y medidas de conservación. Las 16 muestras de agua analizadas en laboratorio, oscilan entre la clase 1: sin contaminación, y clase 2: con contaminación incipiente; acorde lo estipulado en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Se determinó que los potenciales usos del agua corresponden a riego, consumo humano con tratamiento previo convencional, actividad industrial y pecuaria. Además, se estableció que la calidad

del agua en las 16 muestras analizadas de la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona, está influenciada por la mezcla de escorrentía superficial e intrusión de contaminación puntual por actividad humana. Se determinó que existe un mayor incremento de turbidez, color aparente debido a que las nacientes se comportan como aguas superficiales.

La naciente N5 ubicada en la finca N°8, presentó los valores más altos de nitrato (9.2 mg/L) y fósforo (11.1 mg/L) para la época lluviosa. Lo cual evidencia alta contaminación por la actividad agrícola, problemas de eutrofización, usos de fertilizantes fosfatados, descargas de aguas grises y al arrastre del suelo; en la parte alta de la microcuenca en estudio acorde con lo observado en el sitio.

En la época seca el material disuelto en el agua presenta un bajo grado de disolución, por lo que aumentan las concentraciones de los parámetros: alcalinidad, dureza y hierro. La alcalinidad incrementa en la época seca producto del aumento de la concentración de sustancias en el agua y la disminución en el caudal de las nacientes. Además, en esta época se observaron los valores más altos de hierro en el agua, con un valor máximo de 1.58 mg/L correspondiente al pozo.

En la época lluviosa se presenta un incremento en las concentraciones de fósforo y coloides debido al arrastre de sedimentos por la lluvia y la mala captación de las nacientes.

Acorde con la normativa técnica del LNA, las 15 nacientes y el pozo analizados requieren de un tratamiento de desinfección para abastecimiento humano dado que dieron positivo en *E.coli* y algún tipo de tratamiento de remoción para disminuir las concentraciones de hierro, color aparente y turbiedad.

Se efectuó un diagnóstico de las afectaciones en la zona de influencia de las nacientes en la microcuenca de los ríos Boston y Gongolona mediante la relación entre los análisis de calidad de agua y los cambios en la cobertura vegetal de la época lluviosa (octubre 2018) con respecto a la época seca (febrero 2019). Se evidencia un incremento del área de suelo desnudo en 6.027 km<sup>2</sup> correspondiente a la época seca. Para la época lluviosa, la cobertura boscosa en la microcuenca de estudio era de aproximadamente 1.2 ha más que en la época seca; por lo que

dicha cobertura ayuda a la estabilización de la temperatura al proteger las nacientes de agua. Las nacientes N23, N16, N1 y N2 presentaron una disminución en el porcentaje de cambio de cobertura boscosa y un incremento en el porcentaje de suelo desnudo; lo cual se relaciona con altos valores de los parámetros de calidad: turbiedad, hierro y color aparente. Sin embargo, las nacientes más afectadas debido al aumento en suelo desnudo son: N11, N31, N29, N13y N36.

Debido al trabajo en conjunto por parte de varios actores tales como: la comunidad, MINAE-SINAC, Municipalidad de Abangares y la Universidad de Costa Rica se lograron crear alianzas estratégicas, lo que permitió el levantamiento de las nacientes y el análisis de calidad con el fin de determinar sus posibles usos.

No fue posible determinar la existencia de diferencias significativas entre las muestras para cada estación climática, dado que el diseño experimental propuesto solamente determinó las diferencias significativas del conjunto de las 16 muestras comparando su valor para cada uno de los 22 parámetros analizados durante la época lluviosa con respecto a la época seca.

## 7.2 Recomendaciones

Para el caso de las nacientes que presentaron valores altos de turbiedad y color aparente se propone mejorar la captación, protección de pluviales y la conducción de las mismas; con el fin de evitar el arrastre de sólidos.

Se recomienda dar un seguimiento mensual a los aforos y muestreos con el fin de identificar los posibles puntos de contaminación.

Es recomendable la cloración como tratamiento indispensable para el tratamiento de las muestras de agua que dieron positivo al indicador *E.coli* para aquellas nacientes que se vayan a utilizar para consumo humano; acorde con los lineamientos que establezca el ente operador.

Se propone la evaluación de más parámetros que no fueron analizados, tales como cloruros, fluoruros, metales pesados, presencia de cationes y aniones, entre otros; ya que el laboratorio no cuenta con la capacidad de equipos y monetaria. Los cuales aportan un análisis más exhaustivo de la calidad del agua de las nacientes muestreadas.

Se recomienda realizar un análisis de componentes principales (ACP) con el fin de determinar una posible correlación de la materia orgánica y los nutrientes: nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal y fósforo; predominantes en la actividad agrícola.

Para poder determinar si existen diferencias significativas entre las muestras para una misma estación climática, se recomienda cambiar el diseño experimental a un muestreo temporalmente espaciado, de al menos una vez al mes con réplicas y enfocarlo en aquellas nacientes prioritarias en función de la ubicación, caudal y calidad.

Recomendar a los propietarios a establecer un perímetro de seguridad alrededor de las nacientes con el fin de evitar algún tipo de contaminación puntual producto de las especies de fauna que transitan a lo largo de la zona boscosa.

Evaluar la posibilidad de realizar estudios hidrogeológicos en la microcuenca de estudio con el fin de determinar el origen de la acidez del agua y para efectos de delimitar las zonas de

protección acorde con metodologías tales como: radio fijo arbitrario, radio fijo calculado y mapeo hidrogeológico.

Es recomendable identificar las zonas de recarga de cada una de las nacientes para su protección.

Se sugiere realizar pruebas de infiltración en campo y muestreos de suelo en cada naciente, con el fin de caracterizar más afondo la zona de estudio en función de la permeabilidad del suelo y asociar dichos resultados con el régimen de variaciones de caudal.

Se recomienda iniciar con el proceso para concesionar cada una de las nacientes identificadas, ya que son un bien de dominio público.

Se recomienda implementar talleres y capacitaciones por parte del MINAE-SINAC a la comunidad en temas ambientales acerca de la importancia de respetar los límites de protección de nacientes, mejoras en la captación y concientizar en el manejo adecuado de agroquímicos con el fin de disminuir la incidencia de parámetros de calidad de agua tales como: turbiedad y color aparente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Mundial de la Salud-OMS. Notas descriptivas: Agua. 2017.
2. Organización de las Naciones Unidas-ONU. Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento: Situación 2017. Objetivo 6. Agua Limpia y Saneamiento: Situación 2017. 2018.
3. Mora Rodriguez F. El agua, un recurso vulnerable y finito esencial para el desarrollo de Costa Rica. *Ambientico*. 2016;(260).
4. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030 [Internet]. San José, Costa Rica: AyA; 2016. Disponible en: <https://www.aya.go.cr>
5. Herrera Murillo J. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2017. Uso y estado de los recursos: recurso hídrico. Costa Rica; 2017.
6. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas. Calidad del agua en sus diferentes usos en Guanacaste-Costa Rica. 2011.
7. Mora-Alvarado DA, Mata-Solano A, Sequeira-Barquero MA. Actualización de los criterios de calidad del agua de pozos y nacientes para potabilización en Costa Rica. *Rev Tecnol en Marcha*. noviembre de 2016;29(3):85–98.
8. Quirós Soto G. Diagnóstico del estado actual de los acueductos de Tres Amigos, Candelaria y Campos de Oro, San Rafael y La Cruz ubicados en la parte alta de la cuenca del río Abangares, y propuestas para su mejoramiento. Universidad de Costa Rica; 2016.
9. Lutgens FK, Tarbuck EJ. Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física. octava. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.; 2005.
10. Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH). Dirección de aguas: listado de concesiones de la cuenca del río Abangares [Internet]. [citado el 6 de enero de 2020]. Disponible en: <http://mapas.da.go.cr/mapnew.php>
11. Villón Béjar M. Hidrología. segunda ed. Lima, Perú: Editorial Villón; 2002.
12. Laboratorio Nacional de Aguas. Clasificación de potenciales fuentes de abastecimiento subterráneas y subsuperficiales en Costa Rica. 2019.
13. Fetter CW. Chapter 3. Properties of Aquifers. En: *Applied Hydrogeology*. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall; 2001.
14. Mihelcic JR, Zimmerman JB. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño. Alfaomega. México. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.; 2012. 720 p.
15. Bolaños-Alfaro JD, Cordero-Castro G, Segura-Araya G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada

por el hombre , en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). 2017;30(4).

16. Vidal Rivera P. Apuntes de Laboratorio de Análisis Ambiental I. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica; 2018.

17. Rodríguez Zamora J. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Rev Pensam Actual. 2009;9(12–13):125–34.

18. Presidencia de la República. Reglamento para la Calidad del Agua Potable No 38924-S [Internet]. San José, Costa Rica; 2015 [citado el 4 de julio de 2019]. Disponible en: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=101480&strTipM=TC)

19. Brown TL, LeMay HE, Bursten BE, Murphy CJ. Química, la ciencia central. decimoprim. México: PEARSON EDUCACIÓN; 2009.

20. Von Sperling M. Principios del tratamiento biológico de aguas residuales. En: Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño; 2012.

21. Orozco Jaramillo A. Bioenergía de aguas residuales: Teoría y diseño. Colombia: ACODAL; 2005.

22. Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. San José, Costa Rica; 2007.

23. Pérez López E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Tecnol en Marcha. 2016;29(3):3–14.

24. Trabado Sagot A. Elaboración de un perfil de la calidad del agua del río Abangares desde la confluencia del río Aguas Claras y la quebrada Gongolona, hasta el puente de la Ruta Nacional 1. [San José, Costa Rica]: Univeridad de Costa Rica; 2014.

25. Garita Ramírez P, Núñez Chaverri M, Ruiz Arguedas M. Análisis del riesgo de contaminación de diez nacientes utilizadas por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia para el abastecimiento de agua potable. [Costa Rica]: Universidad de Costa Rica; 2006.

26. Apucusi Vargas CP. Caracterización fisicoquímica, hidrológica y ecológica de las aguas subterráneas de los distritos de Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya, Pocsi, Yarabamba y Sabandia de la provincia de Arequipa [Internet]. [Arequipa, Perú]: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; 2019. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8666>

27. Calvo Sandí MJ, Mora Barrantes A. Impacto del uso industrial de la tierra en la calidad del agua del sistema acuífero ubicado en la Zona de Reserva de Puente de Mulas.

[Costa Rica]: Universidad de Costa Rica; 2010.

28. Fallas Williams F, Hernández Gómez C, Martén Araya E. Determinación del riesgo de contaminación del agua para consumo humano y los efectos en la salud de la población abastecida por la Asociación Administradora del Sistema de Acueducto y Alcantarillado Comunal (ASADA) de San Gabriel de Aserrí, para plantear. [Costa Rica]: Universidad de Costa Rica; 2013.
29. Ley N° 7575: Ley Forestal. San José, Costa Rica; 1996.
30. Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. Ley N°276: Ley de Aguas. San José, Costa Rica; 1942.
31. Araya Lescouflair A. Integración del balance hídrico de la red fluvial de la cuenca del río Abangares , Guanacaste. Universidad de Costa Rica; 2014.
32. González Malavasi MA. Evaluación de la calidad del agua de fuentes potenciales para la ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable de Las Juntas de Abangares, Costa Rica. Universidad de Costa Rica; 2013.
33. Žáček V, Vorel T, Kycl P, Huapaya S, Mixa P, Grygar R, et al. GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA HOJA 3246-II MIRAMAR, COSTA RICA. Rev Geológica América Cent. 2012;47:7–54.
34. Denyer P, Aguilar T, Alvarado GE. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DE LA HOJA BARRANCA, COSTA RICA. Rev Geológica América Cent. 2003;29:105–25.
35. Instituto de Desarrollo Rural-INDER. Plan de Desarrollo Rural Territorial Abangares-Cañas-Bagaces-Tilarán 2016-2021. 2016.
36. Solano J, Villalobos R. Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica [Internet]. Instituto Meteorológico Nacional. [citado el 6 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalización+climática+de+Costa+Rica>
37. Ramírez P. Estudio Meteorológico de los Veranillos en Costa Rica [Internet]. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Instituto Meteorológico Nacional. Costa Rica; [citado el 6 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Estudio+sobre+veranillos+en+Costa+Rica>
38. Centro de Investigaciones y Estudios en Desarrollo Sostenible (CIEDES). Resumen anual y mensual de la estación San Rafael. 2019.
39. Fallas Araya JE, Porras JP. Guía básica para la delimitación de cuencas hidrográficas. Universidad de Costa Rica;
40. Serrano Pacheco A. Notas del curso IC-0808 Hidrología. Universidad de Costa Rica; 2011.

41. Organización Panamericana de la Salud. Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales. Lima; 2004.
42. Centro de Investigaciones y Estudios en Desarrollo Sostenible (CIEDES). Resumen anual y mensual de las estaciones meteorológicas: Las Juntas y CINDEA(periodo 2012-2019). 2020.
43. APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20a ed. Washington,DC, USA.: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation; 1998.
44. Mena Ceciliano Ó. Elaboración de un perfil de contaminación para conocer el estado actual de la cuenca del Río Siquiares. Universidd de Costa Rica; 2015.
45. Beita Sandí W. Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Universidad de Costa Rica; 2008.
46. FACSA. La dureza del agua [Internet]. 2017 [citado el 10 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>
47. Bernier V R, Alfaro V M. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Boletín INIA [Internet]. 2006;151:46. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33824.pdf>
48. Freeze RA, Cherry JA. Groundwater contamination. En: Groundwater [Internet]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.; 1979. Disponible en: [http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/wp-content/uploads/Freeze\\_and\\_Cherry\\_1979-smaller.pdf](http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/wp-content/uploads/Freeze_and_Cherry_1979-smaller.pdf)
49. Reynolds Vargas J, Fraile Merino J. Presente y futuro de las aguas subterráneas en el Valle Central. En: Blanco Peña K, Morera Beita C, editores. Recurso hídrico en la zona norte de Heredia: La experiencia de la UNA [Internet]. primera. Heredia: Universidad Nacional; 2013. p. 238. Disponible en: <http://www.documentos.una.ac.cr/handle/unadocs/2332>
50. Reynolds Vargas J. Las aguas subterráneas de Costa Rica: un recurso en peligro. En: Blanco Peña K, Morera Beita C, editores. Recurso hídrico en la zona norte de Heredia: La experiencia de la UNA [Internet]. primera. Heredia: Universidad Nacional; 2013. Disponible en: <http://www.documentos.una.ac.cr/handle/unadocs/2332>
51. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics. 1977;33(1):159–74.

## **ANEXOS**

Características morfológicas de la cuenca del río Abangares y sus dos subcuencas: Boston y Gongolona.

Cuadro A41. Generalidades morfológicas de la cuenca del río Abangares y las subcuencas de los ríos Boston y Gongolona.

Cuenca/ Característica	Abangares	Gongolona	Boston
Área (km <sup>2</sup> )	302.55	15.29	7.32
Perímetro (km)	107.60	19.52	13.32
Longitud del cauce principal (km)	66.55	6.41	5.40
Índice de compacidad	1.75	1.41	1.39
Elevación máxima (m.s.n.m)	1180.00	1180.0	1100.00
Elevación mínima (m.s.n.m)	0.00	400.00	400.00
Elevación media (m.s.n.m)	265.07	815.10	694.24
Índice de pendiente	0.14	0.32	0.36
Pendiente media del cauce (%)	1.77	12.18	12.96
Rectángulo equivalente:			
L (km)	47.42	7.80	5.27
l (km)	6.38	1.96	1.39
Orden de cauces	4	3	1
Longitud total de cauces (km)	346.45	14.73	5.40
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1.15	0.96	0.74

Fuente: Datos extraídos de Araya (31)

## Guía para la descripción de un manantial



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



### GUIA PARA LA DESCRIPCIÓN DE UN MANANTIAL

Número del manantial: \_\_\_\_\_ Nombre del manantial: \_\_\_\_\_

Coordenadas georeferenciadas: \_\_\_\_\_ latitud, \_\_\_\_\_ longitud  
Hoja cartográfica: \_\_\_\_\_ Escala: \_\_\_\_\_

Altitud: \_\_\_\_\_ msnm. Fecha de visita: \_\_\_\_\_  
Cuenca: \_\_\_\_\_ Subcuenca: \_\_\_\_\_ Microcuenca: \_\_\_\_\_

Provincia: \_\_\_\_\_ Cantón: \_\_\_\_\_ Distrito: \_\_\_\_\_

Dirección exacta: \_\_\_\_\_

El Manantial esta: \_\_\_\_\_ captado \_\_\_\_\_ no captado

Descripción de la captación: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Use como guía:

- MUY BUENO (Malla de protección con candado, con tapa, candado en la tapa, captación de cemento, sin fuga, pintada, caudal ecológico, desviación de aguas pluviales, rotulación preventiva y de vigilancia, área alrededor limpia de basura)
- BUENO (Con tapa, candado en la tapa, captación de cemento, sin fugas, desviación de aguas pluviales)
- REGULAR (Con tapa, captación de cemento)
- MALO (Captación rústica sin seguridad)

Uso Actual del Agua: \_\_\_\_\_ Consumo Humano, \_\_\_\_\_ Agropecuario  
\_\_\_\_\_ Agroindustrial, \_\_\_\_\_ Riego, \_\_\_\_\_ Industrial  
\_\_\_\_\_ Comercial, Otro: \_\_\_\_\_

Poblados abastecidos: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Caudal reportado del manantial: \_\_\_\_\_ l/s, Referencia: \_\_\_\_\_

Telefax: (506) 2225-1884

[cicg@geologia.ucr.ac.cr](mailto:cicg@geologia.ucr.ac.cr)

SANJA Los Profesores (carretera a Sabalilla) de Guacacama 50 m N y 200 m W., Casa #13.

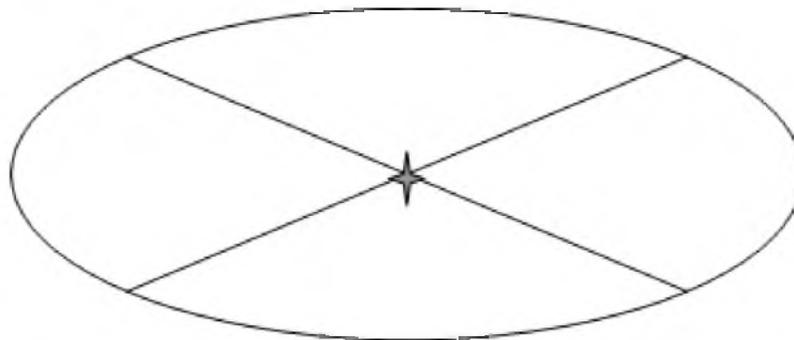
Datos de aforo realizado: N.1: \_\_\_\_\_ l/s, N.2: \_\_\_\_\_ l/s

N.3: \_\_\_\_\_ l/s, N.4: \_\_\_\_\_ l/s, N.5: \_\_\_\_\_ l/s

Promedio: \_\_\_\_\_ l/s.

Especifique si el aforo realizado corresponde a: \_\_\_\_\_ captación, \_\_\_\_\_ efluente, \_\_\_\_\_ Otro

Determine la distancia del manantial a cultivos, bosque, pasto, infraestructura u otros, dentro de los 100 metros de radio. Especifique el tipo de cultivo: café, caña, helechos, chile, bosque (primario, secundario), tacotal o charral.



Describe si el Manantial presenta alguna amenaza antrópica o natural eminente: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Presente y describa fotos del manantial.

Ubique este manantial en un mapa topográfico e inclúyalo en la base de datos correspondiente.

Investigador: \_\_\_\_\_, Proyecto \_\_\_\_\_

Marc E. Arias Salguero, Director, 2009

Telefax: (506) 2225-1884

[cicg@geologia.ucr.ac.cr](mailto:cicg@geologia.ucr.ac.cr)

Barra Los Profesores (paralelo a Barro Colorado) de Glaceros de Kila 50 m N y 200 m W, Casa #12.

Precipitación mensual y anual para las dos estaciones meteorológicas: San Rafael y Campos de Oro

Cuadro A42. Datos de precipitación mensual y anual para la estación San Rafael. Años: 2014-2019

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
TOTAL MENSUAL Y ANUAL DE PRECIPITACIÓN

Estación: San Rafael      Latitud Norte: 1143858.286m      Longitud Este: 403728.914m      Altura Elipsoidal: 1097.075m      Lluvia en mm

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2014	-	0,2	0,4	26,0	148,0	115,8	148,4	170,2	523,4	487,6	128,2	105,8	<b>1854,0</b>
2015	93,6	24,0	6,6	2	2,4	207,6	129,6	68,8	373,6	524,8	318,6	23,2	<b>1774,8</b>
2016	11,4	62,8	13,8	67,2	112,4	174	165,2	164,4	317,6	432,2	117,8	126,4	<b>1765,2</b>
2017	44	0,8	4	61,2	507	235,8	330,4	209	605,8	597,8	135,2	25,4	<b>2756,4</b>
2018	0,4	0	0,8	0	-	-	79,6	87	137,2	422,2	46,6	5,8	<b>779,6</b>
2019	0,8	5,4	1,8	0	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>8,0</b>
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0,0</b>
TOT	150,2	93,2	27,4	156,4	769,8	733,2	853,2	699,4	1957,6	2464,6	746,4	286,6	8938,0
MED	30,0	15,5	4,6	26,1	192,5	183,3	170,6	139,9	391,5	492,9	149,3	57,3	1276,9
D.S.	35,6	23,5	4,9	30,1	185,7	104,6	113,7	83,8	242,5	247,6	110,1	52,7	1040,5
C.V.	1,2	1,5	1,1	1,2	1,0	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,9	0,8

Mes con faltante de datos

Fuente: Datos suministrados por el CIEDES(42)

Cuadro A43. Datos de precipitación mensual y anual para la estación Campos de Oro. Años: 2015-2019

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
TOTAL MENSUAL Y ANUAL DE PRECIPITACIÓN

Estación: Campos de Oro      Latitud Norte: 1145580.317m      Longitud Este: 399662.922m      Altura Elipsoidal: 1085.24m      Lluvia en mm

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2015			0	0	0	169	96	57,8	102,2	174,4	281	75,2	955,6
2016	5,2	14,2	0,2	83,6	169,6	350,6	139	318,4	359,2	558,4	225,6	74	2298
2017	12,8	2,8	4,6	44,6	517,6	179,2	69,6	208,2	90,4	118,6	97,2	22,2	1367,8
2018	2,8	0,8	1,6	5,8	13,8	18,2	88,6	133,4	86	470,6	58,4	16,2	896,2
2019	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
TOT	20,8	17,8	6,4	134	701	717	393,2	717,8	637,8	1322	662,2	187,6	5517,6
MED	5,2	4,45	1,6	33,5	175,25	179,25	98,3	179,45	159,45	330,5	165,55	46,9	919,6
D.S.	5,3	6,1	1,8	34,7	207,3	140,2	55,6	126,5	132,1	239,4	118,0	34,7	871,1
C.V.	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,9

Mes con faltante de datos

Fuente: Datos suministrados por el CIEDES(42)

Precipitación mensual y anual para las dos estaciones meteorológicas: Las Juntas y CINDEA

Cuadro A44. Datos de precipitación mensual y anual para las estaciones: Las Juntas y CINDEA. Años: 2012-2017.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN DESARROLLO SOSTENIBLE  
TOTAL MENSUAL Y ANUAL DE PRECIPITACIÓN

Estación 1: Las Juntas                      Latitud Norte: 1137038.906m                      Longitud Este: 394361.466m                      Altura Elipsoidal: 147.853m                      Lluvia en mm (2012-2017)  
Estación 2: CINDEA                      Latitud Norte: 1137196.811m                      Longitud Este: 394278.677m                      Altura Elipsoidal: 146.923m

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2012	-	0,0	0,0	37,0	255,6	267,6	53,8	240,0	343,2	291,4	19,0	2,2	<b>1509,8</b>
2013	0,0	0,0	4,2	60,6	232,8	282,0	129,2	307,0	492,4	419,6	118,6	0,8	<b>2047,2</b>
2014	0,0	0,0	0,0	42,2	155,4	159,8	81,2	127,2	308,0	405,8	97,0	3,4	<b>1380,0</b>
2015	2,6	0,0	0,0	21,2	58,0	125,0	110,0	93,6	38,8	343,6	253,6	3,8	<b>1050,2</b>
2016	0,0	0,2	0,0	88,6	345,8	355,8	149,8	261,8	296,4	339,8	169,6	66,4	<b>2074,2</b>
2017	8,4	3,0	0,0	70,6	382,6	176,0	202,5	252,0	326,0	496,6	100,8	21,6	<b>2040,1</b>
2018	10,0	0,0	0,0	84,0	255,7	250,7	100,1	138,5	220,9	562,5	56,1	0,2	<b>1678,6</b>
2019	0,0	0,0	0	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>6,9</b>
TOT	11,0	3,2	4,2	320,2	1430,2	1366,2	726,5	1281,6	1804,8	2296,8	758,6	98,2	10101,5
MED	2,2	0,5	0,7	53,4	238,4	227,7	121,1	213,6	300,8	382,8	126,4	16,4	1683,6
D.S.	3,4	1,2	1,7	24,6	120,1	88,1	52,5	83,8	146,9	72,9	78,9	25,7	432,5
C.V.	1,5	2,3	2,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,2	0,6	1,6	0,3

Fuente: Datos suministrados por el CIEDES(42)

Muestra de cálculo de los aforos volumétricos realizados en la zona de estudio.

Cuadro A45. Aforo volumétrico de la naciente N36 en la Finca N° 1 Hersan Soto.

<b>Nombre Naciente</b>	N36	<b>Volumen del recipiente (L)</b>	8,7
<b>Fecha del aforo</b>	10/11/2018	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>0,235</b>
Prueba		Tiempo llenado del recipiente (s)	
1		37,00	
2		37,00	
3		37,00	
4		37,00	
5		37,00	
<b>Promedio (s)</b>		<b>37,00</b>	

Resultados de campo

Cuadro A46. Resultados del Multiparámetros de las 37 nacientes y 1 pozo.

Nº Fincas	Propietario	Naciente	Valores Multiparámetros-EPOCA LLUVIOSA 2018								Valores Multiparámetros-EPOCA SECA 2019							
			pH	%DO	ppp DO	µSkm	ppm Tds	FNU	°C	psi	pH	%DO	ppp DO	µSkm	ppm Tds	FNU	°C	psi
12	Albino Morera	N1	7,06	20,10	1,57	337	168	2,0	24,87	13,906	6,97	5,00	0,37	392	196	0,0	24,98	13,868
		N2	4,89	53,60	4,30	136	68	0,0	23,44	13,885	4,82	38,20	3,05	131	66	0,00	23,32	13,849
		N3	7,20	56,30	4,53	161	80	0,0	22,77	13,879	6,68	38,90	3,07	168	84	1,00	23,39	13,851
		N4*	No datos								No datos							
11	Daniel Montero	N19	6,77	39,80	3,15	82	41		22,46		6,05	67,10	5,16	100	50	0,00	22,6	13,127
		N20	6,4	30,30	2,34	64	32		22,1		5,92	64,40	4,92	86	43	1,00	22,47	13,007
		N21	7,12	36,20	2,82	58	29		21,77		6,53	72,60	5,59	76	38	1,10	22,02	13,012
10	Eduardo Solano	N13	7,61	45,70	3,58	121	61		22,32		7,4	32,70	2,58	122	61	0,00	21,89	13,219
		N14	7,06	50,20	3,98	69	35	1,8	21,61		7,37	37,10	2,95	86	43	0,40	20,79	13,126
		N15	7,36	46,00	3,56	97	48		22,88		7,28	34,30	2,68	115	57	0,00	22,4	13,235
9	Lindor Rodríguez	N8	7,6	50,80	3,96	123	62	3,8	23,33		7,53	38,70	3	223	111	0,00	23,59	13,467
		N9	7,52	45,40	3,51	105	33	0,1	22,8		6,7	28,00	2,2	176	88	0,00	22,24	13,374
8	Ovidio Fernández	N5	6,84	56,40	4,37	47	24	0,0	22,13	13,108	7,14	38,70	2,96	118	59	0,00	22,65	13,134
		N6	6,74	46,70	3,61	16	8	14,9	22,09	13,066	6,14	36,40	2,74	63	31	0,0	23,45	13,081
		N7	6,93	52,8	4,08	16	8	0,0	21,57	13,042	7,11	39,7	3,13	58	29	1,5	21,18	13,069
7	Yenory Arguedas	N10	6,69	37,4	2,90	145	72	0	22,04	13,16	7,06	20,5	1,60	175	87	0,0	22,24	13,210
		N11	7,13	50,7	3,94	145	73	13,3	22,08	13,144	7,02	34,1	2,61	171	85	0,0	23,43	
		N12*	No datos								No datos							
6	Freddy Villalobos	N34	6,92	43,1	3,37	192	96	0	22,44	13,317	7,09	86,2	6,69	242	121	1,2	22,55	13,181
		N35	6,74	35,3	2,67	111	55	1	23,9	13,367	6,33	63,1	4,61	143	71	2,3	25,78	13,265
5	Gustavo Zamora	N16	6,89	37,5	2,96	115	57	0	21,85	13,346	6,85	26,5	2	141	71	3,1	21,96	13,367
		N17	7,42	50	3,98	74	37	9,8	21,51	13,348	6,9	27,5	2,19	130	65	0,5	21,84	13,356
		N18	6,63	53,3	4,14	64	32	0	22,85	13,331	6,89	30,5	2,45	107	54	14,4	22,82	13,344

Cuadro A47. Resultados del Multiparámetros de las 37 nacientes y 1 pozo (continuación).

Nº Finca	Propietario	Naciente	Valores Multiparámetros-EPOCA LLUVIOSA 2018								Valores Multiparámetros-EPOCA SECA 2019							
			pH	%DO	ppp DO	µSkm	ppm Tds	FNU	°C	psi	pH	%DO	ppp DO	µSkm	ppm Tds	FNU	°C	psi
4	Ramón Vega	N27	7,1	53,3	4,13	126	63	0	21,6 2	13,048	6,96	67,8	5,2	135	68	0	22,27	12,956
		N28	6,54	36,6	2,82	134	67	0	21,8 7	13,051	6,05	50,3	3,84	205	103	0	22,22	12,927
		N29	7,1	46,2	3,57	2,09	104	0	22,5 7	13,233	7,14	68,1	5,24	317	158	0	22,62	13,139
		N30	6,67	33,7	2,56	171	86	0	21,5 4	13,049	6,67	50,3	3,82	203	101	0	22,36	12,946
		N31	7,9	47,3	3,67	192	96	0	22,3 4	13,237	6,94	61,5	4,77	295	147	0	22,84	13,143
		N32	5,92	40,3	3,12	33	17	0	21,1 3	12,99	5,48	58,8	4,51	54	27	0	21,67	12,869
		N33*	No datos								No datos							
POZO	No datos								6,33	34,5	2,74	147	73	109	20,87	13,099		
3	Eduardo Montero	N24	6,22	24,3	1,91	61	31	0	21,8 7	13,142	5,77	41,9	3,02	117	58	0	25,99	13,068
		N25	6,96	44,7	3,52	151	75	4,2	22,3 1	13,293	6,6	58	4,44	263	131	0	23,17	13,2
		N26	6,58	52,8	4,09	126	63	0	22,3 4	13,181	6,24	72,9	5,56	208	104	0	22,95	13,092
2	María Eugenia Montero	N22	6,32	31,7	2,52	63	31	0	21,7 2	13,085	5,75	56,2	4,3	111	56	0	22,25	12,972
		N23	6,42	46,6	3,66	64	32	0	21,5 1	13,071	6,42	75,4	5,81	99	50	3,8	21,96	12,975
1	Hersán Soto	N36	7,22	72,8	5,78	149	74	1,7	21,1 1	13,154	6,79	75,9	5,89	99	50	10,5	21,52	12,997
		N37*	No datos								No datos							

Resultados de laboratorio

Cuadro A48. Cronograma de los muestreos fisicoquímicos y microbiológicos.

Nomenclatura de las muestras	Muestreo parámetros fisicoquímicos		Muestreo parámetros microbiológicos	
	Época lluviosa 2018	Época seca 2019	Época lluviosa 2018	Época seca 2019
<b>N21</b>	25/10/2018	18/02/2019	18/12/2018	18/02/2019
<b>N32</b>	27/10/2018	12/02/2019	18/12/2018	12/02/2019
<b>N16</b>	29/10/2018	27/01/2019	<b>Falta de transporte apto (doble tracción)</b>	27/01/2019
<b>N24</b>	30/10/2018	18/02/2019	18/12/2018	18/02/2019
<b>N13</b>	26/10/2018	04/02/2019	18/12/2018	04/02/2019
<b>N34</b>	27/10/2018	12/02/2019	18/12/2018	12/02/2019
<b>Pozo</b>	27/10/2018	24/02/2019	18/12/2018	24/02/2019
<b>N23</b>	30/10/2018	18/02/2019	18/12/2018	18/02/2019
<b>N10</b>	27/10/2018	27/01/2019	18/12/2018	27/01/2019
<b>N5</b>	29/10/2018	04/02/2019	18/12/2018	04/02/2019
<b>N8</b>	26/10/2018	04/02/2019	18/12/2018	04/02/2019
<b>N27</b>	27/10/2018	12/02/2019	18/12/2018	12/02/2019
<b>N33</b>	27/10/2018	27/01/2019	<b>No había nadie en la casa</b>	27/01/2019
<b>N1</b>	04/11/2018	27/01/2019	<b>Falta de transporte apto (doble tracción)</b>	27/01/2019
<b>N2</b>	04/11/2018	27/01/2019		27/01/2019
<b>N36</b>	10/11/2018	12/02/2019	10/11/2018	12/02/2019

Cuadro A49. Cálculo de los sólidos totales, volátiles y fijos en las muestras de la época lluviosa del 2018.

Nomenclatura de las muestras	Sólidos Totales (g) en 100 mL			Sólidos Filtrables (g) en 100 mL			Sólidos Fijos (g) en 25 mL		
	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)
<b>N21</b>	117,753	117,761	0,008	81,192	81,197	0,005	22,893	22,893	0
<b>N32</b>	114,137	114,139	0,002	88,422	88,425	0,003	21,085	21,086	0,001
<b>N16</b>	97,589	97,606	0,017	110,358	110,376	0,018	22,890	22,894	0,004
<b>N24</b>	119,353	119,358	0,005	72,563	72,573	0,01	23,627	23,628	0,001
<b>N13</b>	72,63	72,641	0,011	81,091	81,101	0,01	26,200	26,201	0,001
<b>N34</b>	92,277	92,293	0,016	81,022	81,042	0,02	22,555	22,558	0,003
<b>Pozo</b>	92,34	92,346	0,006	113,233	113,238	0,005	22,283	22,285	0
<b>N23</b>	92,662	92,673	0,011	113,842	113,849	0,007	22,344	22,344	0
<b>N10</b>	88,426	88,440	0,014	88,419	88,431	0,012	24,565	24,567	0,002
<b>N5</b>	112,616	112,629	0,013	103,793	103,803	0,01	21,085	21,085	0
<b>N8</b>	73,621	73,640	0,019	113,854	113,870	0,016	22,557	22,560	0,003
<b>N27</b>	109,811	109,823	0,012	72,980	72,989	0,009	30,730	30,732	0,002
<b>N33</b>	73,655	73,666	0,011	71,726	71,735	0,009	35,014	35,013	0
<b>N1</b>	108,762	108,796	0,034	111,840	111,868	0,028	22,284	22,290	0,006
<b>N2</b>	72,674	72,688	0,014	69,738	69,748	0,01	23,630	23,636	0,006
<b>N36</b>	85,718	85,729	0,011	88,468	88,473	0,005	23,638	23,639	0,001

Cuadro A50. Cálculo de los sólidos totales, volátiles y fijos en las muestras de la época seca del 2019.

Nomenclatura de las muestras	Sólidos Totales (g) en 100 mL			Sólidos Filtrables (g) en 100 mL			Sólidos Fijos (g) en 25 mL		
	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)	Peso inicial (g)	Peso final(g)	Valor reportado (g)
<b>N21</b>	92,739	92,751	0,012	85,725	85,736	0,011	30,727	30,730	0,003
<b>N32</b>	85,726	85,729	0,003	81,242	81,244	0,002	30,728	30,727	0
<b>N16</b>	73,704	73,719	0,015	92,708	92,723	0,015	22,902	22,905	0,003
<b>N24</b>	81,248	81,257	0,009	92,362	92,367	0,005	24,463	24,462	0
<b>N13</b>	73,072	73,079	0,007	88,485	88,492	0,007	26,195	26,195	0
<b>N34</b>	72,624	72,647	0,023	81,091	81,111	0,02	35,063	35,065	0,002
<b>Pozo</b>	88,467	88,488	0,021	85,748	85,757	0,009	26,203	26,205	0,002
<b>N23</b>	81,097	81,115	0,018	88,463	88,47	0,007	22,922	22,924	0,002
<b>N10</b>	74,136	74,151	0,015	72,612	72,622	0,01	22,605	22,603	0
<b>N5</b>	74,157	74,167	0,01	71,781	71,790	0,009	23,637	23,639	0,002
<b>N8</b>	88,458	88,478	0,02	85,759	85,768	0,009	35,073	35,070	0
<b>N27</b>	88,487	88,495	0,008	117,755	117,759	0,004	22,581	22,585	0,004
<b>N33</b>	81,232	81,245	0,013	92,322	92,329	0,007	22,933	22,936	0,003
<b>N1</b>	112,644	112,676	0,032	113,883	113,909	0,026	26,213	26,213	0
<b>N2</b>	113,899	113,901	0,002	112,673	112,679	0,006	24,609	24,607	0
<b>N36</b>	85,751	85,756	0,005	113,258	113,265	0,007	24,607	24,608	0,001

Cuadro A51. Resultados de los sólidos totales, filtrables, fijos, volátiles, suspendidos, disueltos y coloides de las muestras en la época lluviosa del 2018.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>Sólidos Filtrables (mg/L)</b>	<b>Sólidos Fijos (mg/L)</b>	<b>Sólidos volátiles (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	<b>Sólidos disueltos (ppmTds) Multiparámetros</b>	<b>Coloides (mg/L)</b>
<b>N21</b>	80	50	0	80	30	29	21
<b>N32</b>	20	30	40	0	0	17	13
<b>N16</b>	170	180	160	10	0	57	123
<b>N24</b>	50	100	40	10	0	31	69
<b>N13</b>	110	100	40	70	10	61	39
<b>N34</b>	160	200	120	40	0	96	104
<b>Pozo</b>	60	50	0	60	10	-	50
<b>N23</b>	110	70	0	110	40	32	38
<b>N10</b>	140	120	80	60	20	72	48
<b>N5</b>	130	100	0	130	30	24	76
<b>N8</b>	190	160	120	70	30	62	98
<b>N27</b>	120	90	80	40	30	63	27
<b>N33</b>	110	90	0	110	20	-	90
<b>N1</b>	340	280	240	100	60	168	112
<b>N2</b>	140	100	240	0	40	68	32
<b>N36</b>	110	50	40	70	60	74	0

Cuadro A52. Resultados de los sólidos totales, filtrables, fijos, volátiles, suspendidos, disueltos y coloides de las muestras en la época seca del 2019.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Sólidos Totales (mg/L)</b>	<b>Sólidos Filtrables (mg/L)</b>	<b>Sólidos Fijos (mg/L)</b>	<b>Sólidos volátiles (mg/L)</b>	<b>Sólidos Suspendidos (mg/L)</b>	<b>Sólidos disueltos (ppmTds) Multiparámetros</b>	<b>Coloides (mg/L)</b>
<b>N21</b>	120	110	120	0	10	38	72
<b>N32</b>	30	20	0	30	10	27	0
<b>N16</b>	150	150	120	30	0	71	79
<b>N24</b>	90	50	0	90	40	58	0
<b>N13</b>	70	70	0	70	0	61	9
<b>N34</b>	230	200	80	150	30	121	79
<b>Pozo</b>	210	90	80	130	120	73	17
<b>N23</b>	180	70	80	100	110	50	20
<b>N10</b>	150	100	0	150	50	87	13
<b>N5</b>	100	90	80	20	10	59	31
<b>N8</b>	200	90	0	200	110	111	0
<b>N27</b>	80	40	160	0	40	68	0
<b>N33</b>	130	70	120	10	60	-	70
<b>N1</b>	320	260	0	320	60	196	64
<b>N2</b>	20	60	0	20	0	66	0
<b>N36</b>	50	70	40	10	0	50	20

Cuadro A53. Nitrógeno como nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal en las muestras de la época lluviosa del 2018.

<b>Nomenclatura de la Naciente</b>	<b>Nitritos NO2-N (mg/L)</b>	<b>Nitrato NO3-N (mg/L)</b>	<b>Nitrógeno Amoniacal NH3-N(mg/L)</b>
<b>N21</b>	0,002	1,3	0,02
<b>N32</b>	0,001	1,2	0
<b>N16</b>	0,003	1,3	0
<b>N24</b>	0,002	1,1	0,01
<b>N13</b>	0,002	0,8	0,02
<b>N34</b>	0,003	1,2	0
<b>Pozo</b>	0,002	2	0
<b>N23</b>	0,005	1,3	0
<b>N10</b>	0,001	1,6	0
<b>N5</b>	0,003	9,2	0,06
<b>N8</b>	0,003	0,7	0
<b>N27</b>	0,002	1,1	0
<b>N33</b>	0,003	0,9	0
<b>N1</b>	0,002	1,1	0
<b>N2</b>	0,001	0,8	0
<b>N36</b>	0,003	0,6	0,03

Cuadro A54. Nitrógeno como nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal en las muestras de la época seca del 2019.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Nitritos NO<sub>2</sub>-N (mg/L)</b>	<b>Nitrato NO<sub>3</sub>-N (mg/L)</b>	<b>Nitrógeno Amoniacal NH<sub>3</sub>-N(mg/L)</b>
<b>N21</b>	0,002	1,2	0,03
<b>N32</b>	0,003	1,2	0,01
<b>N16</b>	0,003	0,8	0
<b>N24</b>	0,002	1,3	0
<b>N13</b>	0,004	1,2	0
<b>N34</b>	0,002	1,2	0
<b>Pozo</b>	0,002	0	0,42
<b>N23</b>	0,004	0,7	0,08
<b>N10</b>	0,003	1,3	0
<b>N5</b>	0,002	1,3	0
<b>N8</b>	0,004	1,4	0
<b>N27</b>	0,004	1	0,01
<b>N33</b>	0,002	1,3	0
<b>N1</b>	0,001	0,9	0,02
<b>N2</b>	0,002	0,8	0
<b>N36</b>	0,004	1,1	0,03

Cuadro A55. Hierro y fósforo en las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Fósforo PO4 (mg/L)</b>	<b>Hierro (mg/L)</b>
N21	0,36	0
N32	0,11	0,07
N16	0,52	0
N24	0,32	0
N13	0,4	0,07
N34	0,12	0
Pozo	0,16	0
N23	0,22	0
N10	0,23	0
N5	11,1	0
N8	0,29	0
N27	0,19	0
N33	0,3	0,44
N1	0,23	0
N2	0,07	0,04
N36	0,31	0,29

Cuadro A56. Hierro y fósforo en las muestras tomadas en la época seca del 2019.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Fósforo PO4 (mg/L)</b>	<b>Hierro (mg/L)</b>
<b>N21</b>	0,33	0,23
<b>N32</b>	0,28	0
<b>N16</b>	0,63	0,46
<b>N24</b>	0,3	0,31
<b>N13</b>	0,54	0
<b>N34</b>	0,21	0,61
<b>Pozo</b>	0,35	1,58
<b>N23</b>	0,27	0,73
<b>N10</b>	0,41	0,06
<b>N5</b>	0,56	1,19
<b>N8</b>	0,38	0
<b>N27</b>	0,31	0
<b>N33</b>	0,51	0,94
<b>N1</b>	0,47	1
<b>N2</b>	0,19	0,6
<b>N36</b>	0,38	0

Cuadro A57. Alcalinidad y dureza en las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	<b>Dureza (mg/L)</b>
<b>N21</b>	58	65
<b>N32</b>	20	20
<b>N16</b>	80	50
<b>N24</b>	55	45
<b>N13</b>	65	50
<b>N34</b>	110	112
<b>Pozo</b>	60	41
<b>N23</b>	45	36
<b>N10</b>	105	93
<b>N5</b>	60	50
<b>N8</b>	85	65
<b>N27</b>	90	70
<b>N33</b>	90	70
<b>N1</b>	155	193
<b>N2</b>	0	55
<b>N36</b>	55	40

Cuadro A58. Alcalinidad y dureza en las muestras tomadas en la época seca del 2019.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	<b>Dureza (mg/L)</b>
<b>N21</b>	60	71
<b>N32</b>	35	29
<b>N16</b>	80	65
<b>N24</b>	65	45
<b>N13</b>	80	63
<b>N34</b>	134	176
<b>Pozo</b>	60	107
<b>N23</b>	50	45
<b>N10</b>	95	80
<b>N5</b>	75	60
<b>N8</b>	140	95
<b>N27</b>	85	70
<b>N33</b>	85	70
<b>N1</b>	195	190
<b>N2</b>	5	47
<b>N36</b>	69	57

Cuadro A59. Turbidez y color aparente de las muestras tomadas en la época lluviosa del 2018.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Color Aparente PtCo</b>
<b>N21</b>	1,1	3
<b>N32</b>	1,23	0
<b>N16</b>	0,86	2
<b>N24</b>	1,73	0
<b>N13</b>	1,15	3
<b>N34</b>	0,4	0
<b>Pozo</b>	0,4	2
<b>N23</b>	1,24	7
<b>N10</b>	0,19	0
<b>N5</b>	0,48	0
<b>N8</b>	2,05	22
<b>N27</b>	0,3	2
<b>N33</b>	0,47	3
<b>N1</b>	0,93	6
<b>N2</b>	1,53	8
<b>N36</b>	2,41	20

Cuadro A60. Turbidez y color aparente de las muestras tomadas en la época seca del 2019.

<b>Nomenclatura de la naciente</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Color Aparente PtCo</b>
<b>N21</b>	1,33	47
<b>N32</b>	0,42	29
<b>N16</b>	1,3	27
<b>N24</b>	0,28	8
<b>N13</b>	0,99	1
<b>N34</b>	0,35	0
<b>Pozo</b>	65,9	550
<b>N23</b>	11,8	164
<b>N10</b>	0,55	25
<b>N5</b>	0,3	0
<b>N8</b>	1,02	14
<b>N27</b>	0,76	0
<b>N33</b>	0,36	21
<b>N1</b>	4,08	67
<b>N2</b>	0,91	24
<b>N36</b>	2,54	0

Cuadro A61. Clasificación asignada para cada parámetro de las muestras de la zona de estudio durante la estación lluviosa mediante la normativa técnica del LNA.

		Nomenclatura de la naciente																			
		Categoría asignada para cada parámetro de la naciente																			
		Valores Límite	Categoría por incumplimiento	N21	N32	N16	N24	N13	N34	Pozo	N23	N10	N5	N8	N27	N33	N1	N2	N36		
Parámetro	<i>E.coli</i> *	Positiva	B	B	B	-	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	-	-	-	-	
	Color Aparente (U-Pt-Co)	15	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	
	Conductividad (μS/cm)	1000	D	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	
	Dureza total (mg/L)	400	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Hierro (μg/L)	300	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	
	Nitratos (mg/L)	50	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Nitritos (mg/L)	0,10	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	C	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	A	-	A	C	A
	Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000	D	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A	A	A	-	A	A	A	
	Turbiedad (UNT)	5	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

\*Indicador microbiológico de contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia

Cuadro A62. Clasificación asignada para cada parámetro de las muestras de la zona de estudio durante la estación seca mediante la normativa técnica del LNA.

			Nomenclatura de la naciente															
			N21	N32	N16	N24	N13	N34	Pozo	N23	N10	N5	N8	N27	N33	N1	N2	N36
Parámetro	Valores Límite	Categoría por incumplimiento	Categoría asignada para cada parámetro de la naciente															
	<i>E.coli</i> *	Positiva	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Color Aparente (U-Pt-Co)	15	C	C	C	C	A	A	A	C	C	C	A	A	A	C	C	C	A
Conductividad (µS/cm)	1000	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dureza total (mg/L)	400	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Hierro (µg/L)	300	C	A	A	C	C	A	C	C	C	A	C	A	A	C	C	C	A
Nitratos (mg/L)	50	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitritos (mg/L)	0,10	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
pH	$5,50 \leq x \leq 8,50$	C	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A	C	A
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1000	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	-	A	A	A
Turbiedad (UNT)	5	C	A	A	A	A	A	A	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A

\*Indicador microbiológico de contaminación fecal determinado cualitativamente en laboratorio como presencia o ausencia