

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Propuesta de Instrumentación para el Control de la Sostenibilidad y
Disponibilidad del Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Abangares**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Oscar Armando Fernández Hidalgo

Directora de Proyecto de Graduación:

Ing. Paola Vidal Rivera

Costa Rica

Febrero, 2020

Integrantes del comité asesor

Directora:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paola Vidal R.', written over a horizontal line.

Ing. Paola Vidal Rivera

Asesores:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Serrano Pacheco', written over a horizontal line.

Ing. Alberto Serrano Pacheco

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rafael Oreamuno Vega', written over a horizontal line.

Ing. Rafael Oreamuno Vega

Graduando:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Oscar Fdez H.', written over a horizontal line.

Oscar Armando Fernández Hidalgo

Fecha: 2020, febrero, 26.

El suscrito, Oscar Armando Fernández Hidalgo, cédula 1-1417-0147, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A82372**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Propuesta de Instrumentación para el Control de la Sostenibilidad y Disponibilidad del Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Abangares**, bajo la dirección de la **Ing. Paola Vidal Rivera**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N°6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

A toda mi familia,
a mi madre y abuelas que en paz descansen,
a todos mis compañeros que con sacrificio obtuvieron esta distinción
y a la Universidad de Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, dar gracias a Dios por haber finalizado esta etapa con éxito, por todas las experiencias, realidades y acontecimientos de este proceso que me forjaron como persona y como profesional.

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar, por el esfuerzo realizado, por los valores inculcados a lo largo de mi vida y principalmente ser parte de mi vida.

A mi novia María José, por toda la paciencia que me tuvo durante este proceso, tantos días de espera por pruebas, asignaciones, etc., pero sobre todo por todo el apoyo que me brindó todos estos años.

Le agradezco, no solo a la que fue directora de mi proyecto, sino una de las profesoras más influyentes y carismáticas de mi lapso como estudiante y formación como profesional, la Ing. Paola Vidal Rivera, por la iniciativa del tema, por su disposición cualquier día que fue necesario, por su ayuda, consejos y por compartir conmigo todo su conocimiento.

A los Ing. Alberto Serrano e Ing. Rafael Oreamuno por su disposición, comentarios y consejos brindados.

Agradecer también a la Municipalidad de Abangares, en la figura del Ing. Francisco Bogantes, por toda la información y ayuda brindada, sobre todo, por creer en este proyecto.

A mis compañeros y amigos de carrera: Diego, Inés, Mónica, Steven, José Pablo y Adrián, por tantos buenos y malos momentos que pasamos, por su actitud para acompañarme y soportarme, por aprender un poco de cada uno de ellos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.1.1 Problema Específico.....	1
1.1.2 Importancia	2
1.1.3 Ubicación Geográfica	5
1.1.4 Antecedentes	6
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Delimitación del problema.....	7
1.3.1 Alcance.....	7
1.3.2 Limitaciones.....	9
1.4 Marco teórico e hipótesis	11
1.4.1 Términos introductorios	11
1.4.2 Plan de control del recurso hídrico	12
1.4.3 Parámetros de evaluación de la calidad del agua.....	12
1.4.4 Principales parámetros físicos	13
1.4.5 Principales factores químicos	13
1.4.6 Principales factores biológicos.....	15
1.4.7 Reglamentos y Normativa Nacional de Interés	16
1.4.8 Hidrometeorología	17
1.4.9 Biogeología	18
1.4.10 Planes de Seguridad del Agua.....	18
1.4.11 Pasos para elaborar un PSA.....	19
1.4.12 Beneficios de un PSA	19
1.4.13 Análisis de Riesgo.....	21
1.4.14 Otros aspectos importantes	25
1.5 Metodología.....	26
1.5.1 Conceptualización de la investigación	26
1.5.2 Recopilación de información y estudio de las fuentes encontradas	26

1.5.3	Definición y análisis de indicadores de impacto	27
1.5.4	Propuesta de instrumentación	27
1.5.5	Cierre de proyecto	27
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA	29
2.1	Antecedentes históricos y generalidades del cantón	29
2.2	Ubicación y delimitación de la cueca	32
2.3	Características físicas generales.....	34
2.4	Características geológicas y topográficas.....	36
2.4.1	Elevaciones.....	36
2.4.2	Pendientes.....	39
2.4.3	Hidrografía.....	40
2.4.4	Suelos	41
2.4.5	Zonas de vida	45
2.5	Características climatológicas	48
2.5.1	Estaciones climatológicas	48
2.5.2	Temperatura	50
2.5.3	Brillo Solar	53
2.5.4	Precipitación	56
3.	ANÁLISIS DE USO DEL SUELO	58
3.1	Usos del suelo	59
3.1.1	Uso comercial	59
3.1.2	Uso residencial.....	59
3.1.3	Uso industrial.....	59
3.1.4	Áreas de extracción	59
3.1.5	Áreas verdes, deportivas y culturales	59
3.1.6	Áreas institucionales y comunales	59
3.1.7	Usos agropecuarios	60
3.1.8	Uso forestal	60
3.1.9	Sin uso definido.....	60
3.2	Uso del suelo según Plan Regulador de Abangares 2011 (no vigente).....	60
3.2.1	Bosque denso	60
3.2.2	Bosque abierto.....	60
3.2.3	Bosque ribereño	61

3.2.4	Reforestación	61
3.2.5	Pasto con árboles dispersos.....	61
3.2.6	Cultivos	61
3.2.7	Sustrato Herbáceo.....	62
3.2.8	Suelo Desnudo	62
3.3	Parte alta de la cuenca	65
3.4	Parte media de la cuenca.....	69
3.5	Parte baja de la cuenca	72
3.6	Uso del suelo poblacional, residencial y urbanístico	73
3.7	Instituciones Estatales y Privadas presentes en la zona	76
4.	ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA ZONA	79
4.1	Problemática de la cuenca del rio Abangares	80
4.2	Riesgos asociados a amenazas naturales.....	80
4.3	Riesgos antropogénicos	81
4.3.1	Ganadería	81
4.3.2	Minería	88
4.3.3	Agricultura	100
4.3.4	Residencial y Urbanismo	106
5.	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA	113
5.1	Resultados de muestreo	116
5.2	Análisis estadístico de los datos.....	121
5.3	Análisis de resultados	123
5.3.1	Sólidos disueltos.....	123
5.3.2	Color y turbiedad.....	124
5.3.3	Potencial de hidrógeno pH	126
5.3.4	Oxígeno disuelto.....	129
5.3.5	Conductividad	131
5.3.6	Temperatura	132
5.3.7	Nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal	133
5.3.8	Fósforo.....	135
5.3.9	Dureza	137
5.3.10	Alcalinidad	138
5.3.11	Coliformes fecales, escherichia coli y enterococcus faecalis	140

5.3.12	Resumen de clasificación de cada uno de los puntos de muestreo	142
6.	INSTRUMENTACIÓN Y PLAN DE CONTROL PARA MEJORAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA	143
6.1	Recomendaciones sobre instrumentación, acciones y procedimientos	143
6.1.1	Sistema de riego por goteo	143
6.1.2	Manejo de excretas	148
	Fuente: Construplaza, 2019	153
6.1.3	Prevención y manejo del sobrepastoreo.....	153
6.1.4	Control de turbiedad.....	154
6.1.5	Colocación de estaciones meteorológicas y fluviográficas	157
6.1.6	Programa de saneamiento.....	157
6.1.7	Minería	159
6.1.8	Mejoramiento de drenajes.....	160
6.2	Recomendaciones sobre plan de seguimiento y verificación	163
7.	ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD PRESENTE Y FUTURA	167
7.1	Estimación de la demanda de agua por actividad	167
7.1.1	Estimación de la demanda de agua poblacional.....	167
7.1.2	Estimación de la demanda de agua comercial	168
7.1.3	Estimación de la demanda de agua por ganadería.....	169
7.1.4	Estimación de la demanda de agua por agricultura.....	173
7.1.5	Estimación de la demanda de agua por minería	176
7.1.6	Estimación de demandas adicionales de agua	176
7.1.7	Estimación de la demanda total de agua para la cuenca del río Abangares	177
7.2	Estimación de la cantidad de agua (oferta) en la zona.....	177
7.3	Proyección del crecimiento poblacional y demás sectores	179
7.3.1	Estimación del crecimiento poblacional	180
7.3.2	Estimación del crecimiento comercial e industrial.....	180
7.3.3	Estimación del crecimiento turístico.....	181
7.3.4	Estimación del crecimiento del sector ganadero	181
7.3.5	Estimación del crecimiento del sector agrícola.....	181
7.4	Posibles escenarios futuros relacionados con la disponibilidad del recurso hídrico en la zona	182
7.4.1	Escenario #1: Crecimiento normal	183

7.4.2	Escenario #2: crecimiento acelerado poblacional, agropecuario y comercial	185
7.4.3	Escenario #3: modificaciones en los sistemas de riego para cultivo.....	188
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	194
8.1	Conclusiones	194
8.2	Recomendaciones	198
9.	FUENTES DE INFORMACIÓN PRELIMINAR	202
10.	INSTITUCIÓN INTERESADA EN EL PROYECTO Y POSIBILIDADES DE EJECUCIÓN 206	
11.	CONSTITUCIÓN DEL COMITÉ ASESOR.....	206

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Proyección de la población al 2025 para el cantón de Abangares.....	1
Cuadro 2. Características morfométricas de la cuenca del río Abangares	34
Cuadro 3. Distribución de áreas según tipo de suelo para la cuenca del río Abangares	44
Cuadro 4. Distribución de áreas según zonas de vida para la cuenca del río Abangares.....	48
Cuadro 5. Principales actividades económicas por distrito	63
Cuadro 6. Cantidad de personas dedicadas por actividad por distrito	63
Cuadro 7. Proyección de la población al 2025 para el cantón de Abangares.....	74
Cuadro 8. Densidad bruta de población del cantón de Abangares por distrito	74
Cuadro 9. Cantidad y estado de las viviendas por distrito.....	75
Cuadro 10. Infraestructura y cobertura educativa del cantón de Abangares	77
Cuadro 11. Organizaciones presentes en el cantón y función principal	78
Cuadro 12.Principales amenazas identificadas por distrito.....	80
Cuadro 13. Total de fincas avícolas por cantidad de animales y propósito	82
Cuadro 14. Total de fincas con ganado vacuno por cantidad de animales y tamaño del hato.....	82
Cuadro 15. Total de fincas con ganado porcino por cantidad de animales y tamaño del hato.....	82
Cuadro 16. Total de fincas con ganado vacuno por propósito.....	83
Cuadro 17. Cultivos de la zona, extensión y ubicación 2019	101
Cuadro 18. Efectos de la actividad agrícola en el recurso hídrico	102
Cuadro 19. Datos oficiales del año 2018 de los de residuos sólidos entregados por el cantón de Abangares. sin Colorado. al Relleno Sanitario Parque Industrial Tecno- Ambiente Miramar.....	108
Cuadro 20. Datos oficiales del año 2018 de los de residuos sólidos entregados por el distrito de Colorado al Relleno Sanitario Parque Industrial Tecno-Ambiente Miramar	110
Cuadro 21. Materiales valorizables por categoría Colorado 2018.....	110
Cuadro 22. Estimación de la población Abangares 2018 según método geométrico.....	111
Cuadro 23. Límites de aprobación de parámetros según reglamentos utilizados.....	114
Cuadro 24. Clasificación de los cuerpos de agua según su uso potencial	115
Cuadro 25.Comparación de resultados Gongolona época seca.....	116
Cuadro 26. Comparación de resultados Gongolona época lluviosa	117

Cuadro 27. Comparación de resultados Aguas Claras época seca	117
Cuadro 28. Comparación de resultados Aguas Claras época lluviosa	118
Cuadro 29. Comparación de resultados Marimba época seca.....	118
Cuadro 30. Comparación de resultados Marimba época lluviosa	119
Cuadro 31. Comparación de resultados Ecomuseo época seca	119
Cuadro 32. Comparación de resultados Ecomuseo época lluviosa	120
Cuadro 33. Comparación de resultados Higuierillas época seca	120
Cuadro 34. Comparación de resultados Higuierillas época lluviosa.....	121
Cuadro 35. Rangos de concentración de OD y consecuencias ecosistémicas.....	130
Cuadro 36. Clasificación según cantidad de oxígeno disuelto.....	130
Cuadro 37. Resultados de muestra del 5 de abril de 2019 (época seca)	140
Cuadro 38. Resultados de muestra del 15 de junio de 2019 (época lluviosa)	140
Cuadro 39. Clasificación de los puntos de muestreo según los reglamentos en cuestión	142
Cuadro 40. Estimación de la población de Abangares 2019 según método geométrico	167
Cuadro 41. Estimación de consumo de agua por distrito para uso doméstico.....	168
Cuadro 42. Estimación de consumo de agua por parte para uso doméstico	168
Cuadro 43. Consumo por categoría en metros cúbicos para el distrito de Las Juntas por día	169
Cuadro 44. Estimación de consumo comercial por distrito por día.....	169
Cuadro 45. Estimación de consumo de agua por parte para uso comercial	169
Cuadro 46. Consumo de agua por animal por día según propósito.....	170
Cuadro 47. Estimación de la demanda de agua por ganadería.....	172
Cuadro 48. Estimación de consumo de agua por parte para uso ganadero	172
Cuadro 49. Cálculo de la estimación de demanda por agricultura	175
Cuadro 50. Estimación de la demanda de agua por partes de agricultura	176
Cuadro 51. Sumatoria de estimaciones de demanda de agua.....	177
Cuadro 52. Sumatoria de demandas de agua por parte	177
Cuadro 53. Estimación del caudal aportado para la parte alta	178
Cuadro 54. Promedios mensuales para la parte alta en m ³ /s.....	178
Cuadro 55. Estimación del caudal aportado para la parte media	179
Cuadro 56. Promedios mensuales para la parte media en m ³ /s.....	179
Cuadro 57. Estimación del caudal aportado para la parte baja.....	179

Cuadro 58. Promedios mensuales para la parte baja e m ³ /s.....	179
Cuadro 59. Tasa de crecimiento geométrico poblacional.....	180
Cuadro 60. Tasa de crecimiento geométrico comercial e industrial.....	180
Cuadro 61. Tasa de crecimiento geométrico turístico.....	181
Cuadro 62. Tasa de crecimiento geométrico del sector ganadero	181
Cuadro 63. Tasa de crecimiento geométrico del sector agrícola.....	182
Cuadro 64. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte alta	183
Cuadro 65. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte media	184
Cuadro 66. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte baja	185
Cuadro 67. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte alta	186
Cuadro 68. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte media	187
Cuadro 69. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte baja	188
Cuadro 70. Estimación del consumo de agua por agricultura con modificación ideal en el sistema de riego.....	189
Cuadro 71. Estimación del consumo de agua por agricultura con modificación ideal en el sistema de riego por parte.....	190
Cuadro 72. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte alta	191
Cuadro 73. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte media.....	192
Cuadro 74. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte alta	193

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de uso del suelo de la cuenca del Río Abangares.....	3
Figura 2. Demanda para riego de la cuenca del Río Abangares.....	4
Figura 3. Ubicación de la cuenca del Río Abangares	5
Figura 4. Metodología para el análisis de riesgos.....	22
Figura 5. Diagrama de metodología	28
Figura 6. División administrativa del cantón de Abangares	31
Figura 7. Distritos abarcados por la cuenca en estudio	32
Figura 8. Mapa modelo de delimitación de la cuenca del río Abangares.....	33
Figura 9. Mapa modelo de elevaciones de la cuenca del río Abangares	37
Figura 10. Distribución porcentual de área acumulada que supera cada cota de elevación.....	38
Figura 11. Mapa modelo de pendientes de la cuenca del río Abangares	39
Figura 12. Mapa modelo de hidrografía de la cuenca del río Abangares.....	40
Figura 13. Mapa modelo de tipos de suelo de la cuenca del río Abangares	43
Figura 14. Mapa modelo de zonas de vida de la cuenca del río Abangares	47
Figura 15. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas y fluviográficas.....	49
Figura 16. Mapa modelo de temperatura media de la cuenca del río Abangares.....	50
Figura 17. Mapa modelo de temperatura máxima de la cuenca del río Abangares	51
Figura 18. Mapa modelo de temperatura mínima de la cuenca del río Abangares.....	52
Figura 19. Mapa modelo de brillo solar de la cuenca del río Abangares	54
Figura 20. Horas promedio de brillo solar del país.....	55
Figura 21. Mapa modelo de precipitación de la cuenca del río Abangares.....	56
Figura 22. Mapa modelo de uso de la tierra de la cuenca del río Abangares	58
Figura 23. Confluencia río Gongolona y Aguas Claras, división entre parte alta y parte media	64
Figura 24. Ruta Nacional 1, división entre la parte media y la parte baja.....	65
Figura 25. Variedad de cultivos en análisis por finca.....	66
Figura 26. Cantidad de fincas por rango de extensión en hectáreas.....	67
Figura 27. Desarrollo comercial de la zona, costado de Supermercado Bolpa.....	71
Figura 28. Red de caminos presentes en el cantón de Abangares	76
Figura 29. Rastra utilizada en el proceso por minero de Abangares.....	91

Figura 30. Depósito artesanal de lamas utilizado por los mineros de Abangares.....	93
Figura 31. Conducción de los relaves desde las rastras hasta la fosa	94
Figura 32. Análisis estadístico de la variable turbiedad en la estación Marimba	122
Figura 33. Análisis de varianza de la variable turbiedad para la estación de Marimba	122
Figura 34. Análisis de representatividad del modelo. Valor del p estadístico.....	123
Figura 35. Escala del Ph.....	127
Figura 36. Sistema de riego por goteo a pequeña escala	148
Figura 37. Proceso de construcción e instalación de un biodigestor.....	152
Figura 38. Ejemplo de barrera flexible para desprendimiento de materiales.....	155
Figura 39. Barreras de protección fijas	155
Figura 40. Desarenador convencional.....	156
Figura 41. Sedimentador convencional	156

RESUMEN

La cuenca del río Abangares es de suma importancia para nuestro país debido a su posición estratégica, cerca de principales puertos, fronteras y ciudades en desarrollo, además, sus diferentes pisos latitudinales y condiciones climáticas, propician el desarrollo de bastas actividades socioeconómicas. La misma, presenta una marcada estacionalidad, durante la estación seca se presenta un déficit de recursos hídricos, además de un notorio deterioro de su calidad y sostenibilidad. Razón por la cual, es necesario evaluar la cuenca cualitativa y cuantitativamente, así como gestionar un plan de control, monitoreo y sistematización de la misma que garantice su disponibilidad y sostenibilidad a corto y largo plazo.

Luego de una división de la cuenca en parte alta, media y baja, se analizó el uso del suelo de cada zona, sus principales actividades socioeconómicas, los riesgos asociados a dichas actividades y los principales focos de contaminación.

Con la ayuda de las bases de datos del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Ingeniería Civil y el Centro de Investigación y Estudios para el Desarrollo Sostenible (CIEDES), de la Universidad de Costa Rica, se caracterizó la cuenca y se analizaron los principales parámetros de calidad del agua, mediante el muestreo de cinco puntos importantes de la cuenca. Parámetros físicos, químicos y biológicos son comparados con la normativa nacional vigente.

Se calcula una demanda estimada del recurso hídrico, asociada a tasas de crecimiento de los sectores productivos más importantes: poblacional, comercial, industrial, turístico, ganadero y agrícola. Para estimar la oferta, se utilizan como referencia, los balances hídricos del proyecto de graduación de Angie Araya Lescouffair del año 2015, que lleva por nombre "Integración del balance hídrico de la red fluvial de la cuenca del río Abangares, Guanacaste". Una vez establecidas, tanto la oferta como la demanda, se proponen tres escenarios a futuro para analizar la disponibilidad del recurso a futuro.

Por último, se plantean una serie de recomendaciones para la reducción del consumo y contaminación, mediante la instrumentación de la cuenca, secuencia de medición de variables importantes y la implementación de nuevos sistemas en las distintas actividades socioeconómicas.

Ing. Paola Vidal Rivera

Escuela de Ingeniería Civil

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 Problema Específico

La cuenca del Río Abangares cuenta con una extensión superficial de 300,1 km² y cubre gran parte del cantón, solo un 5% de esta área se encuentra en el distrito de Manzanillo de la Provincia de Puntarenas. El cantón de Abangares es el número 7 de la provincia de Guanacaste, se divide en 4 distritos, Juntas, Sierra, San Juan y Colorado, que es su conjunto conforman un área superficial de 675,8 km² y una población total de 18.512 habitantes (INEC, 2011), tiene un índice de desarrollo humano de 0,77, y se ubica en el puesto 37, con respecto a los 81 cantones de Costa Rica, además, en términos del índice de pobreza humana IPH 24,42 ocupa el puesto 73 a nivel nacional (PNUD/UCR, 2016).

La falta del recurso hídrico, para satisfacer las demandas de las actividades sociales, económicas y ambientales, ha hecho que se haya visto disminuida la inversión en la zona en proyectos de desarrollo turístico y actividades económicas, esto provocado por la falta de un debido control, seguimiento y sistematización de la disponibilidad del recurso. Una de las causas de la escasez del recurso hídrico es la demanda por parte de sus habitantes, el siguiente cuadro refleja que la población del cantón de Abangares para el año 2025 va a aumentar en un 11,6% (INEC, s.f.), lo que implica una mayoría de personas que dependen del agua para su supervivencia y actividades de desarrollo.

Cuadro 1. Proyección de la población al 2025 para el cantón de Abangares

Distrito	Población		% Aumento
	Censo 2011	Proyección 2025	
Juntas	9 621	10 602	10,2
Sierra	2 525	2 895	14,7
San Juan	1 662	1 897	14,1
Colorado	4 704	5 257	11,8
Total	18 512	20 651	11,6

Fuente: INEC, s.f.

Además del problema con la escasez del recurso hídrico, se deben plantear las causas del deterioro de su calidad y sostenibilidad. En la parte media de la cuenca se encuentra el distrito de Juntas, que presenta la mayor parte de la población del cantón y la mayoría de centros de reunión, desarrollo urbano y comercial, por ende, representa la mayor demanda de agua y la mayor producción de aguas residuales de la zona, donde no se cuenta con plantas de tratamiento, y el manejo se realiza por medio de tanques sépticos, que en la mayoría de los casos no funcionan adecuadamente o descargan sus aguas residuales directamente a cualquier quebrada o derivación del Río Abangares.

Por otra parte, la actividad minera que se lleva a cabo en la parte alta de la cuenca, se realiza sin control alguno y sin ningún acato a la Reforma al Código de Minería de 2002, lo que podría provocar el ingreso de metales pesados como el mercurio al cauce del río, así como la acumulación de sedimentos debido a los trabajos de extracción con herramienta básica, maquina pesada o explosión. Las actividades agrícolas y ganaderas son parte del ingreso económico de la zona, las cuales se realizan sin regulación alguna sobre la cantidad y el tipo de fertilizantes y plaguicidas que deberían utilizar. En la parte baja de la cuenca, debido al efecto de la escorrentía, se han presentado valores elevados de dureza, conductividad y metales como el hierro y cobre, además los vecinos han acusado que el agua para consumo tiene un sabor salado, en ocasiones es turbia y presenta sólidos disueltos.

1.1.2 Importancia

Una de las mayores particularidades que presenta la cuenca del Río Abangares es su variedad climatológica, producto de su proximidad tanto a llanuras costeras como a serranías de la Cordillera de Tilarán, lo cual se refleja en un rango de elevaciones mayor a 1000 m. La principal diferencia con otras cuencas que presentan esta característica, como las que se ubican en la Cordillera de Talamanca, es que la cuenca del Abangares tiene población importante y representativa en todos sus pisos altitudinales, como se presenta dicha división en el cuadro 1. Esto genera una amplia gama de actividades socioeconómicas, el ejemplo más marcado se presenta en los distintos tipos de ganadería, de leche en las zonas altas y frías del distrito de Sierra y el Norte de Juntas, y de engorde en las zonas bajas y calientes del distrito de Colorado. Esta diferencia de climas está ligada también a distintos regímenes de precipitación, lo cual,

sumado a los distintos usos de la tierra, genera importantes discrepancias en cuanto a las necesidades específicas de agua potable y para riego de cada región, y en cuanto al nivel de satisfacción de estas necesidades.

Como se mencionó anteriormente, el recurso hídrico es fundamental para las actividades económicas y de desarrollo para una región, en el cantón de Abangares, según la cantidad de personas dedicadas a la actividad, las más importantes son la agricultura, ganadería, pesca, minería, comercio al por mayor y al por menor y la industria, si se toma en cuenta empresas de gran magnitud de la zona baja como CEMEX y COONAPROSAL.

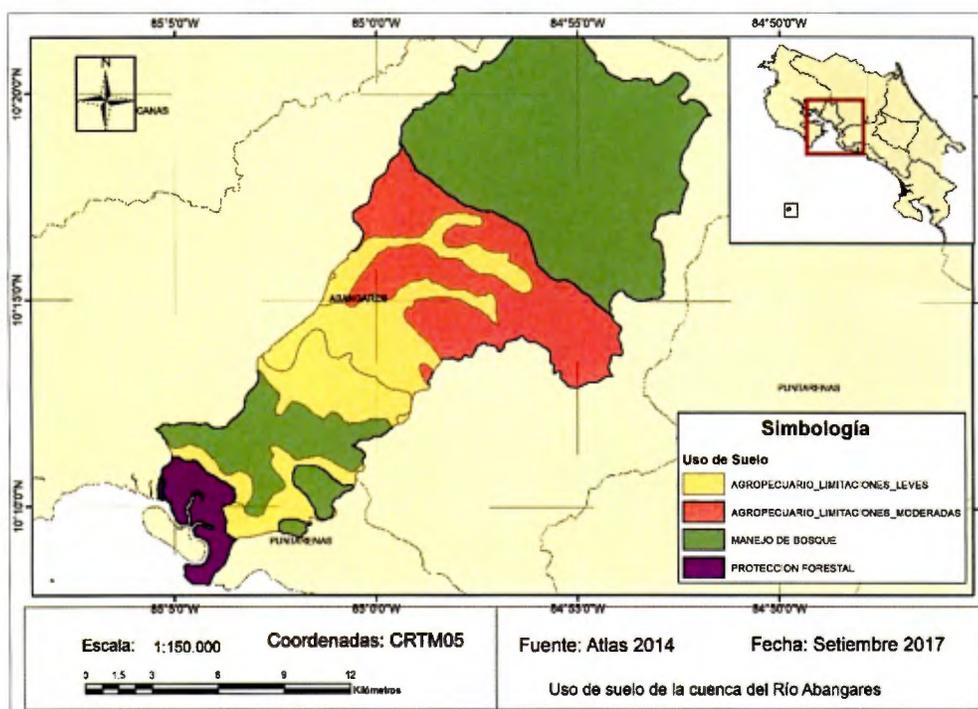


Figura 1. Mapa de uso del suelo de la cuenca del Río Abangares
Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2014

Reflejando la mayor demanda del recurso hídrico en actividades de riego para pasto, frutas como la papaya, sandía, mango y cítricos, ganadería equina y bovina, la producción de cemento en la parte industrial y el uso doméstico tanto rural como urbano. En la figura 2 se delimita la parte inferior de la cuenca donde el recurso hídrico es utilizado en su mayoría para riego, se señalan, además, puntos o lugares específicos donde se centran las actividades

socioeconómicas que dependen, se desarrollan y generan la mayor demanda de riego. Por otra parte, el uso del suelo debe ser acorde al clima y la topografía de la zona, además de esto, la regulación de las actividades ya mencionadas es necesaria para no incurrir en variaciones de la capa vegetal y los ecosistemas, así como cambios en la recarga y el flujo de caudal de los ríos, que afecten la disponibilidad del recurso hídrico.

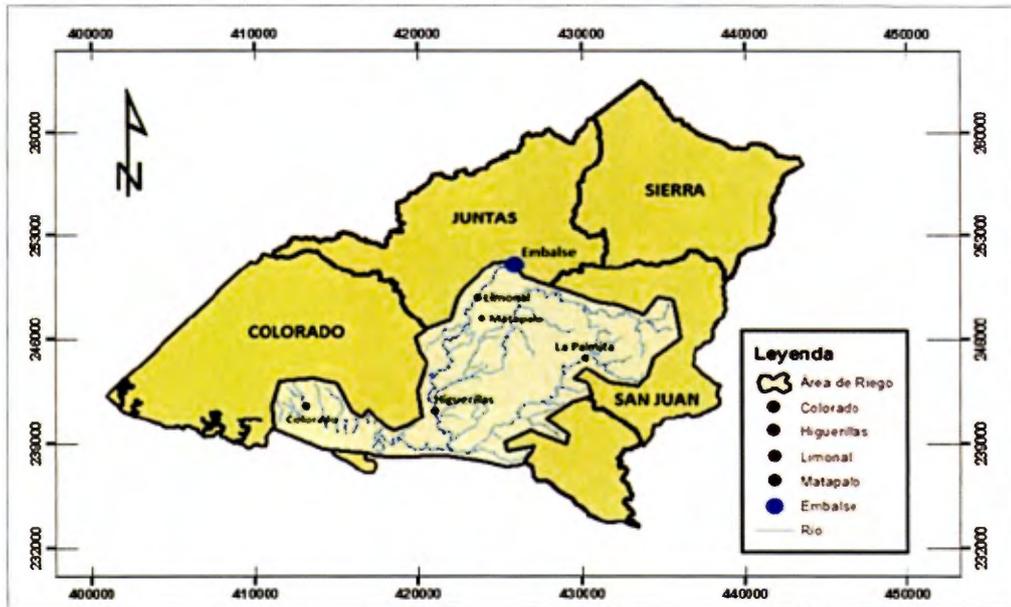


Figura 2. Demanda para riego de la cuenca del Río Abangares
Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2008

La cuenca del Río Abangares posee una ubicación estratégica debido a la cercanía con puntos de interés como el Puerto Caldera, el Golfo de Nicoya, la frontera con Nicaragua, y ciudades en vías de desarrollo acelerado como Liberia, que a su vez cuenta con el Aeropuerto Internacional Daniel Oduber, por lo que es una zona de alto interés para el desarrollo turístico, comercial y urbanístico.

Tanto el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA, las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos Alcantarillados Sanitarios ASADA's, municipalidades locales, acueductos rurales y demás entes operadores son responsables de un abastecimiento suficiente y adecuado de agua potable con la calidad exigida según la ley.

Por las razones expuestas anteriormente, es fundamental priorizar los riesgos y zonas de mayor impacto con una debida instrumentación de la cuenca del Río Abangares, para proveer un control y seguimiento riguroso que proteja el recurso, tanto en cantidad como calidad, y mantenga su disponibilidad a largo plazo, máxime si en la zona no ha entrado en vigencia el Plan Regulador propuesto desde el año 2011.

1.1.3 Ubicación Geográfica

La cuenca del Río Abangares se ubica al este de la provincia de Guanacaste, cuenta con una extensión superficial de 300,1 km² y cubre gran parte del cantón de Abangares, solo un 5% de esta área se encuentra en el distrito de Manzanillo de la Provincia de Puntarenas. Limita al norte con el cantón de Tilarán, al sur con Puntarenas y el Golfo de Nicoya, al noreste con el cantón de Cañas y suroeste con el Golfo de Nicoya.

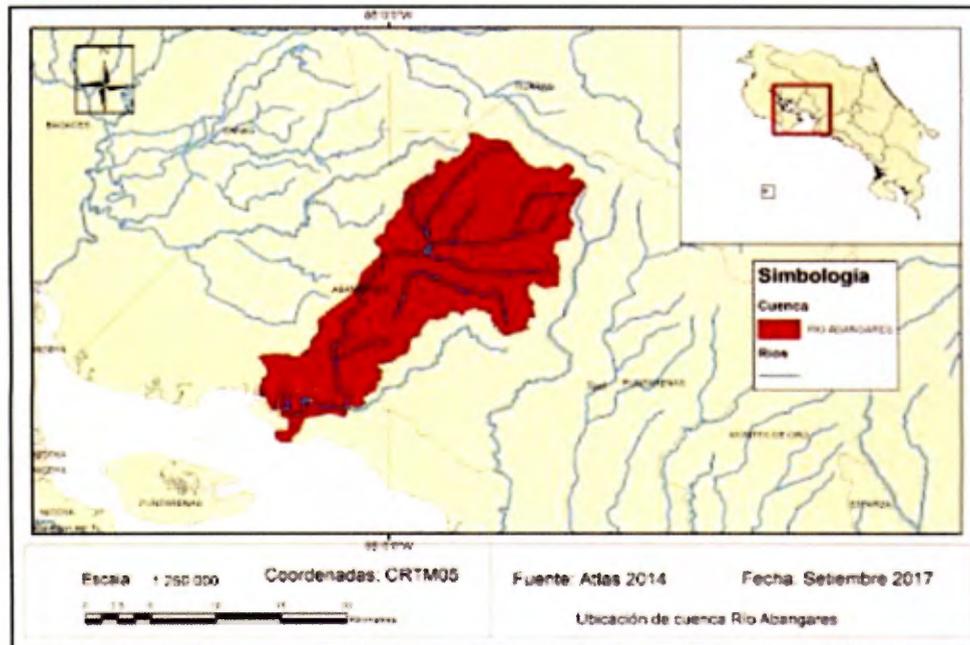


Figura 3. Ubicación de la cuenca del Río Abangares
Fuente: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2014

1.1.4 Antecedentes

En febrero del año 2012 se firmó el convenio Abangares – Universidad de Costa Rica en conjunto con el Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES), llamado “Manejo integrado de los recursos hidráulicos de la cuenca del Río Abangares”, mediante el cual, se han instalado estaciones meteorológicas, pluviográficas y otros indicadores climáticos. El creador de dicha iniciativa es el M.Sc. Rafael Oreamuno Vega, también participan profesores, investigadores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil, que trabajan para brindar al cantón de Abangares, una gestión integral del recurso hídrico.

Proyectos finales de graduación de estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica vinculadas con el tema:

- 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, por María Alejandra González Malavasi.
- Caracterización y evaluación física, química y bacteriológica de la calidad del agua de la parte baja del Río Abangares, por Irene Barrasa Rodríguez.
- Integración del balance hídrico de la red fluvial de la cuenca del río Abangares, Guanacaste, por Angie Araya Lescouffair.
- Evaluación de las fuentes superficiales de la red fluvial del río Abangares para el refuerzo del acueducto de la ciudad de Las Juntas, por Dario Rodríguez.
- Estudio exploratorio sobre la exposición al mercurio que poseen las personas trabajadoras de la minería artesanal de oro y sus familias, en una cooperativa de Las Juntas de Abangares, Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo 2015-2016, por Nathalie Verónica Fernández Villalobos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Establecer un plan de medición, control y seguimiento del recurso hídrico en la cuenca del Río Abangares, que garantice su calidad y disponibilidad a corto y largo plazo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los principales riesgos e impactos que generan el uso del suelo y las actividades socioeconómicas en la cuenca del Río Abangares
- Analizar las condiciones actuales y futuras del recurso hídrico en la zona mediante la utilización de indicadores de impacto físicos, químicos y biológicos
- Proponer una adecuada y efectiva instrumentación de la cuenca, que ofrezca información suficiente sobre metodología, frecuencia de medición, análisis de datos recopilados y secuencia de acción según prioridad e importancia
- Estimar los costos de la instrumentación de forma preliminar

1.3 Delimitación del problema

1.3.1 Alcance

El estudio comprende la totalidad de la cuenca del Río Abangares, desde la parte alta que colinda con el distrito de Monteverde, hasta la desembocadura del río en el Golfo de Nicoya en el distrito de Manzanillo de la Provincia de Puntarenas, ya que la parte baja se ve afectada por las actividades que se realizan en la parte alta y media.

Se va a analizar el recurso hídrico tanto en calidad como en cantidad, basándose en la caracterización de las distintas actividades socioeconómicas, el uso del suelo y la gestión y priorización de riesgos, para la debida instrumentación de la cuenca por zona, con el fin de obtener las condiciones actuales de la cuenca mediante indicadores ambientales y poder realizar proyecciones sobre la disponibilidad y sostenibilidad del recurso a largo plazo. Dicho

análisis es de vital importancia si tomamos en consideración que las diferentes actividades económicas que se desarrollan en la zona tienen un impacto directo sobre el cauce del río, ya que los vertidos producto de estas prácticas en su mayoría terminan en quebradas o diferentes afluentes del río. Además, se estudiarán las condiciones de uso de suelo en las zonas aledañas con el fin de determinar las áreas más vulnerables y los posibles focos de contaminación, priorizando su secuencia de acción y conservación para establecer si la fuente es apta para el consumo humano y qué alcance proyecta en cuanto a su disponibilidad.

Algunos de los parámetros a utilizar como indicadores del impacto ambiental son la presencia de sólidos totales, que evidencian la cantidad de sedimentos y materia orgánica presentes en el agua, la presencia de metales pesados como el hierro, cobre y mercurio, que además de las consecuencias negativas en la salud humana, también incluyen bastas complicaciones a los sistemas hidráulicos y las tuberías de abastecimiento. Debido a la gran cantidad de naturaleza, amplios pastizales y sectores forestales que concentran la actividad fotosintética, así como el desgaste y disolución de las rocas, principalmente calizas, por su traslado en el lecho de los ríos, es necesaria la implementación del uso de variables como la alcalinidad y dureza. Además, para caracterizar el agua sobre su uso para consumo, reúso y vertido en diferentes cuerpos receptores, son necesarios parámetros de control como el potencial de hidrógeno (ph), la temperatura, oxígeno disuelto y la conductividad.

Cabe destacar que la mayoría de estos parámetros van a estar sujetos a la normativa nacional respectiva, de forma que se utilizará como base para obtener rangos de cantidades permitidas el "Reglamento para la Calidad del Agua Potable", el "Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales" y el "Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales".

Se utilizarán variables climáticas como la precipitación, evapotranspiración y temperatura que muestren la información requerida de la cantidad presente del recurso, así como las pérdidas que se generan en la cuenca.

Por último, resaltar que para esta investigación no se realizarán mediciones de los parámetros descritos anteriormente, se trabajará con los existentes en las bases de datos del

departamento de Ingeniería Ambiental e Ingeniería de Recursos Hidráulicos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, así como el Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES), aunque existe la posibilidad de realizar o repetir alguna prueba si se evidencia la falta de algún dato importante, o la presencia de algún tipo de sesgo por la forma y el momento de la medición. Las variables climáticas serán tomadas de las estaciones pluviográficas ya existentes en la zona.

1.3.2 Limitaciones

Una de las principales limitaciones de la presente investigación, es que para el cantón de Abangares no se ha aprobado el Plan Regulador que se propuso desde octubre del año 2010, donde se exponen temáticas como el ordenamiento territorial, actividades económicas y productivas que permiten la subsistencia de la población local, la producción agropecuaria, agroindustrial, los polos de desarrollo turístico y el manejo adecuado de las áreas de conservación y el análisis integrado de los paisajes y las zonas de vida. Sin la presencia de dicho Plan Regulador, no existe certeza sobre las actividades que se desarrollarán a futuro, por lo tanto, de los controles que deben establecerse para cada actividad y uso de suelo.

Debido a la poca disponibilidad del recurso hídrico en épocas secas, surge la iniciativa de la construcción de una serie de embalses de almacenamiento de agua, iniciando con el más grande de ellos en la parte media de la cuenca, en el sector conocido como Marimba, con un volumen de almacenamiento aproximado de 6 000 000 m³, y un área de espejo aproximada de 700 000 m², con el objetivo de satisfacer la demanda presente y futura de abastecimiento de agua potable y agua para actividades productivas como agricultura, ganadería, industria, comercio y recreación, para los habitantes de la parte baja de la cuenca. Lo cual, hasta el momento, es únicamente una fuerte propuesta a las autoridades competentes, por lo que, para esta investigación, tomando en cuenta que se tienen que hacer proyecciones a futuro de la disponibilidad del recurso hídrico, se parte de la primicia de que la construcción del embalse es un hecho, sin tener bases sólidas sobre la certeza de dicha información. Por otra parte, la creación de un embalse promueve el almacenamiento y estancamiento del agua por periodos

considerables de tiempo, lo que promueve la eutrofización y por ende el crecimiento de la capa vegetal superficial y el incremento de la materia orgánica en el agua, lo que inyecta nuevas variables e incertidumbre a los datos ya establecidos como indicadores de los posibles impactos.

Como parte del proyecto del "Manejo integrado de los recursos hidráulicos de la cuenca del Río Abangares", del convenio del CIEDES/UCR con la municipalidad del cantón de Abangares, se colocaron estaciones fluviográficas de medición de caudal, precipitación, evapotranspiración y temperatura, con la limitante de que las series de datos son muy cortas, solo se cuenta con una estación que contabiliza datos desde el 2012 y las demás desde el año 2015. Para el análisis de variables climáticas se debe contar con series de datos lo más representativas posible, con consecutivos de datos de hasta 20 años de medición que permitan el cálculo de promedios y desviaciones estándar que disminuyan los sesgos y aumente su confiabilidad. En esta investigación al contar con series de datos de máximo 5 años no se cuenta con una representatividad y confiabilidad adecuada, además de que se encuentran sesgados por la cantidad de tiempo que llevan recopilándose.

Lo mismo sucede con los registros de datos de los parámetros necesarios para analizar la calidad del agua en la cuenca, se cuenta con registros de únicamente unos 5-6 años y de forma intermitente, ya que no todos los puntos de muestreo se realizaron exactamente todos los meses durante esos últimos años, así como toda la lista de parámetros necesarios, o algunos registros se extraviaron con el cambio de sede del Laboratorio de Ingeniería Ambiental al nuevo edificio de Ingeniería en Finca 2.

Otra de las limitaciones encontradas en la realización del presente proyecto, es que se utilizan balances hídricos viejos, en concreto, del proyecto de graduación realizado por Angie Araya Lescouflair en el año 2015, que lleva por nombre "Integración del balance hídrico de la red fluvial de la cuenca del río Abangares, Guanacaste". Si bien los análisis y calibraciones realizadas en dicho proyecto son correctos y perfectamente revisados y autenticados, los mismos no cuentan con la validación de una debida instrumentación en campo.

Por último, luego de realizar la investigación correspondiente en las entidades encargadas de los registros de riego para la zona de Abangares, tales como Dirección de Aguas, Distrito de Riego Arenal-Tempisque, Ministerio de Agricultura y Ganadería, etc. No se obtienen datos actualizados sobre el riego para los diferentes cultivos, por lo que el mismo se calcula en base al Manual Técnico del Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional y Departamento de Aguas en su capítulo primero de "*dotaciones de agua para calcular las necesidades de las solicitudes de aprovechamiento de aguas*" del año 2004, que es el método que se encuentra vigente.

1.4 Marco teórico e hipótesis

1.4.1 Términos introductorios

Como bien se indica en las secciones anteriores, el tema fundamental de dicha investigación es lo relacionado al recurso hídrico, tanto en calidad como cantidad. Para ello es necesario el entendimiento y manejo de ciertos conceptos fundamentales como los indicados a continuación.

El agua es uno de los recursos más importantes para la proliferación de vida en el planeta, tanto por su consumo por los seres vivos como su gran auge en las actividades cotidianas, económicas y de subsistencia del ser humano. El agua potable, es toda agua que, empleada para ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos establecidos en las normas nacionales de cada país, normas que, para efecto, serán fijadas por los reglamentos nacionales de calidad de agua potable, control de vertidos de aguas residuales y evaluación de cuerpos superficiales.

El área de influencia directa definida para el trabajo de investigación es la Cuenca del Río Abangares, entendiendo por el concepto de cuenca, un área de terreno delimitada por los bordes y las cumbres de montañas, de tal modo, que su interior tiene forma de cavidad, como un gran embudo, de forma que recoge toda el agua de la lluvia y la transporta hacia un

determinado punto a través de los ríos y quebradas, un único sistema de drenaje natural. Mientras que una subcuenca es una unidad mínima de planificación dentro de la cuenca, debido a su pequeña extensión territorial, a tal punto, que puede estar formada por un pequeño río o riachuelo tributario.

Para dichos análisis, también es necesaria la identificación de distintos puntos críticos de control, los cuales se definen como puntos en un proceso o en un equipamiento, donde su falla puede resultar en un peligro a la salud pública o que puede provocar una interrupción del suministro. En dichos puntos se debe tomar en cuenta el caudal que pasa en momentos determinados, definido a su vez, como la cantidad de agua que se mide en un tiempo dado a la salida de una presa, en una sección de un río, a la entrada de tanque, o que se extrae de un pozo, o cualquier tipo de desfogue de agua. Generalmente se expresa en litros por segundo (l/s), metros cúbicos por hora (m³ /h) o galones por minuto (gpm).

1.4.2 Plan de control del recurso hídrico

El objetivo fundamental de la presente investigación se basa en la creación de un plan de control del recurso hídrico en la cuenca del Río Abangares, el cual se define como una serie de acciones y procedimientos a realizar, para garantizar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico a corto y largo plazo. Mediante la identificación de los principales riesgos e impactos que generan el uso del suelo y las distintas actividades socioeconómicas realizadas en la zona, el análisis de las condiciones actuales y futuras del sitio de estudio, utilizando como base, la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos que permitan una caracterización y sirvan como indicadores de la calidad del recurso.

1.4.3 Parámetros de evaluación de la calidad del agua

La calidad asociada a una fuente de agua particular está en función de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales, son indicadores asociados a factores naturales como las condiciones climáticas, topográficas y geológicas, y factores antropogénicos como las actividades socio-económicas, además, son importantes indicadores para determinar la calidad de un determinado cuerpo de agua y permiten hacer la comparación entre dos o más fuentes.

1.4.4 Principales parámetros físicos

Son de gran importancia para poder determinar si el agua de una fuente es apta para el consumo humano u otro uso, y el tipo de tratamiento que debe aplicarse para ser utilizada. La reglamentación nacional e internacional utiliza estos parámetros para evaluar las aguas en estudio y para determinar índice de calidad.

El agua al estar en contacto con diferentes agentes (aire, suelo, subsuelo, vegetación, tuberías, alcantarillas, etc.) incorporan parte de estos por disolución o arrastre. La cantidad de sólidos totales presentes en el agua representa estrictamente toda aquella materia orgánica sólida presente en el agua, más teóricamente, su definición hace referencia al residuo que permanece después de la evaporación o secado del agua a una temperatura que varía entre 103 y 105°C. Mientras que los sólidos volátiles hacen referencia únicamente a la presencia de materia orgánica en el agua, ya sea de uso doméstico, industrial y en lodos de cualquier tipo, y los sólidos disueltos comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos), pequeñas cantidades de materia orgánica y en algunas ocasiones gases disueltos que están disueltas en el agua.

Dos de las propiedades físicas más importantes en la calidad y estética del agua son el color y la turbiedad. El color está asociado generalmente a la cantidad de materia orgánica presente, así como la solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y arcillas. Por su parte, la turbiedad de una muestra de agua es la reducción de su transparencia ocasionada por el material articulado en suspensión, este material puede consistir de arcillas, limos, plancton o material orgánico finamente dividido que se mantiene en suspensión por su naturaleza coloidal o por la turbulencia que genera el movimiento.

1.4.5 Principales factores químicos

Las características químicas del agua pueden preverse según las condiciones hidrogeológicas de los tipos de substratos por los que viaje o se almacene la misma, ya que ésta se cargará de sales en función de la composición y la solubilidad de los materiales de dicho substrato. Las aguas que discurren por zonas calizas, caracterizadas por rocas muy solubles, se cargarán fácilmente de carbonatos y otras sales, los cursos de agua que discurren sobre substratos

cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá en cantidad apreciable la sílice. Por último, recorrido del agua a través de tuberías, la hace propensa a que se cargue con metales pesados como el hierro y el cobre, los cuales, en un principio, no son dañinos para la salud del ser humano, pero si se consumen de forma crónica y en cantidades considerables, pueden desarrollarse enfermedades graves.

La composición química natural de las aguas puede verse alterada por actividades humanas, tales como agrícolas, ganaderas e industriales, principalmente. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertidos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados. Estas incorporaciones ocasionan la degradación de la calidad del agua provocando diferentes efectos negativos para el ser humano y el medio ambiente.

Las propiedades químicas más sobresalientes como indicadores de la calidad del agua son la alcalinidad, dureza, potencial de hidrógeno ph, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura.

La alcalinidad se puede definir como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones y no solo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Está relacionada directamente con la dureza, que representa la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua.

Tanto el ph, como la temperatura, conductividad y oxígeno disuelto son parámetros de control, sus cantidades y combinaciones en el lecho de cualquier cuerpo de agua se relacionan directa e indirectamente con la contaminación que esté presente. El pH (potencial Hidrogeno) es una forma convencional de expresar mediante una escala numérica, el grado de acidez, alcalinidad, o neutralidad de una sustancia cualquiera, o sea, nos indica que tan ácida o básica es una sustancia. En aguas residuales, principalmente cuando se trata de tratamientos biológicos, el

pH debe controlarse y mantenerse dentro de un rango favorable para el desarrollo y desempeño adecuado de los organismos que intervienen en el proceso. (Vidal, 2016)

La temperatura del agua es un parámetro de mucha importancia debido a su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. También interfiere de forma directa en las reacciones bioquímicas y enzimáticas de los microorganismos que participan en el tratamiento de las aguas residuales. (Vidal, 2016). Por su parte, la conductividad mide indirectamente el grado de contaminación de las aguas, ya que a mayor conductividad la contaminación aumenta, además, está estrecha y directamente relacionada con la temperatura, ya que el aumento de 1 grado Celsius aumentará en un 2 a 3% la conductividad, por ende, la contaminación.

Ocurre lo contrario con el oxígeno disuelto, ya que entre mayor sea su cantidad, mejor es la calidad del agua, ya que el oxígeno es el encargado de degradar la materia orgánica que está presente en el agua. En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas.

1.4.6 Principales factores biológicos

Los factores biológicos a estudiar en el agua, se deben principalmente a la presencia de bacterias y coliformes. Se debe conocer la forma de estos patógenos hídricos y determinar su presencia y origen, la magnitud y oscilación de su número, el curso de su ciclo vital y el índice de su supervivencia. Los coliformes fecales son los más peligrosos para la salud, por ende, los que se deben erradicar de forma significativa. Son un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales. Su presencia indica que el agua de su pozo está contaminada con excremento o desechos de alcantarillas, y tiene el potencial de causar enfermedades.

La eutrofización es un proceso biológico, natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica

produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.). Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas.

1.4.7 Reglamentos y Normativa Nacional de Interés

En el apartado anterior, se describieron los parámetros físicos, químicos y biológicos que afectan la calidad del agua, la legislación de nuestro país establece una serie de reglamentos que sirven como instrumento para la gestión de dicha calidad del agua, mediante el establecimiento de cantidades máximas y mínimas de las diferentes variables y políticas de corrección. Algunos de los reglamentos más importantes se citan a continuación:

1.4.7.1 *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*

Este reglamento tiene por objetivo establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua en beneficio de la salud pública. Establece cuatro niveles de control de calidad del agua.

1.4.7.2 *Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales*

Este reglamento será de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional en relación con el manejo de las aguas residuales, que independientemente de su origen sean vertidas o reusadas. Tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales.

1.4.7.3 *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*

Este Decreto tiene como objetivo fundamental reglamentar los criterios y metodología que serán utilizados para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales y que ésta permita su clasificación para los diferentes usos que pueda darse a este bien. La metodología y criterios de evaluación y clasificación contemplados en este reglamento, se

aplicará a todos los cuerpos de agua superficiales del país. Clasifica las aguas en cinco diferentes clases, según rangos de cantidades del parámetro en estudio.

1.4.8 Hidrometeorología

Una vez definidos los parámetros utilizados para dar una conclusión sobre la calidad del agua, se procede a realizar el análisis cuantitativo, el cual nos indicará la disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad y nos brindará las pautas adecuadas para realizar proyecciones de su disponibilidad en el futuro.

Este estudio cuantitativo se realiza mediante variables hidrometeorológicas como la precipitación, temperatura, evapotranspiración e infiltración, las cuales son de suma importancia en el ejercicio y evaluación de cualquier balance hídrico.

La precipitación permite ver cuánta agua está ingresando a la cuenca, y junto con otros parámetros, permite conocer la cantidad de agua que llega directamente a los ríos de la cuenca. La medición es volumétrica y luego los resultados se transforman a milímetros, gracias a que los pluviómetros son graduados. De esta manera se sabe con exactitud el volumen llovido por unidad de área. (Aparicio, 1997). Por su parte, medir la temperatura que se presenta en la región ayuda a pronosticar distintos eventos que se dan del lugar. Además, la temperatura controla parámetros como la evapotranspiración y la tasa de evaporación del lugar, lo cual es importante porque está relacionado con la precipitación.

La infiltración consiste en la penetración del agua, que escurre por entre las capas permeables del suelo hasta hallar una impermeable, lo cual tiene como consecuencia reducir la erosión de los suelos y disminuir las inundaciones, alimentando las aguas subterráneas y nutriendo a las plantas, generando a su vez las pérdidas de caudal. La infiltración se puede medir de diferentes formas, dependiendo del uso que se le quiera dar a la información, pero siempre será la diferencia entre la precipitación y la escorrentía.

Por último, la evapotranspiración es una variable de suma importancia para balances hídricos, demanda de riego y modelos hidrológicos. Se mide por medio de un lisímetro, el cual contiene un tanque sobre el que se pone suelo y un cultivo. Cuando no hay precipitación, se mide la humedad directamente del suelo. Se suele medir la evapotranspiración potencial, y esto se

hace poniendo un cultivo de referencia en la parte de arriba del tanque, y a este se da agua y suelo sin ninguna limitación. (Aparicio, 1997).

1.4.9 Biogeología

La presente investigación tiene como alcance espacial, el área delimitada por la cuenca del Río Abangares, una cuenca hidrográfica es una unidad espacial claramente definida en el paisaje global, que permite considerarla como el espacio drenado por un sistema fluvial. El ámbito de ese espacio depende de su jerarquización, así una cuenca estrictamente es aquella unidad cuyo flujo hídrico es drenado directamente al mar. (INVU, 2010). En ella se distinguen diferentes tipos de suelos, los cuales se agrupan en diferentes asociaciones de acuerdo con características de textura, mineralogía y génesis. Estas características definen la capacidad de infiltración de un suelo, su capacidad de retener y almacenar humedad y con ello converge el potencial de un suelo de producir y sostener la escorrentía superficial. La permeabilidad es la capacidad que tiene un suelo de permitir el paso o penetración de fluidos a través de las masas.

Para poder establecer un plan de control del recurso hídrico en cualquier zona, es necesaria la identificación de los riesgos e impactos que pueda generar el uso del suelo, que se define como toda aquella actividad que se realice para utilizar la tierra para el desarrollo de actividades socioeconómicas, por ejemplo: uso urbano, uso agrícola, uso forestal, etc. Y que dicha cobertura del suelo incluye todos los elementos físicos, tanto naturales como antropogénicos, presentes en la superficie de la Tierra ejemplo: bosques, asfalto, pastos, etc.

1.4.10 Planes de Seguridad del Agua

De acuerdo a la necesidad de mejoría en la calidad del agua para consumo humano, el saneamiento básico e higiene, personal y público, así como la obtención de sistemas de agua potable mucho más eficientes y efectivos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) desarrolló los Planes de Seguridad del Agua (PSA) como una herramienta que puede mejorar la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento. Según la Organización Panamericana de la Salud, un Plan de Seguridad del Agua es *"un instrumento vivo hecho a la medida de cada prestador del servicio, ya que se adapta a las particularidades de cada sistema y a cada localidad, así como ayuda a mejorar la Operación y Mantenimiento del Sistema"*.

Se basan en el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, mediante un sistema que identifica, evalúa y controla riesgos significativos para la seguridad del agua para consumo humano, con el fin de garantizar sistemáticamente la seguridad y aceptabilidad del agua de consumo suministrada por un sistema de abastecimiento.

1.4.11 Pasos para elaborar un PSA

Para elaborar un Plan de Seguridad del Agua de la mejor forma posible, involucrando a la mayoría de usuarios y afectados, se recomienda seguir los pasos que se describen a continuación:

- Involucrar y comprometer a la comunidad de forma proactiva y conformar el equipo del Plan de Seguridad del Agua (PSA), donde se sientan tomados en cuenta y se escuchen sus propuestas y decisiones.
- Una vez debatido sobre propuestas y peticiones de todos los involucrados, identificar los objetivos de la comunidad y establecer metas de protección de la salud.
- Describir de forma fácil e interactiva el sistema comunal de agua, sin necesidad de tecnicismos ni conceptos avanzados, en otras palabras, la explicación esté al alcance de todos.
- Identificar peligros potenciales y eventos peligrosos que atenten contra cualquier cuerpo de abastecimiento de agua o sistemas de conducción y desfogue.
- Evaluar los riesgos potenciales para la salud pública según los peligros ya identificados y determinar medidas de control y seguimiento.
- Gestionar un plan de mejoramiento gradual y revisión periódica planificada para el PSA.
- Elaborar y documentar procedimientos administrativos y establecer programas de apoyo.

1.4.12 Beneficios de un PSA

Un Plan de Seguridad del Agua detecta las posibles eventualidades negativas asociadas tanto a la calidad del agua, como situaciones que pueden producir alguna afectación a toda la infraestructura relacionada y al servicio que se brinda a la comunidad en cuestión, además, es una herramienta muy útil en la gestión de riesgos sanitarios, ambientales, tecnológicos,

económicos y para la sostenibilidad de sistemas de agua, ya que su correcta implementación permite:

- Identificar las amenazas naturales en todo el sistema.
- Identificar los componentes del sistema que necesitan inversión para su mejoría y correcto funcionamiento.
- Identificar aspectos administrativos que inciden en la adecuada operación y mantenimiento del sistema.
- Presupuestar o gestionar recursos para hacer reparaciones y actividades específicas que mejoren la infraestructura del sistema de agua.

Por otra parte, la aplicación de los PSA también se traduce en grandes beneficios para los usuarios como los siguientes:

- Preparación para responder ante un evento o amenaza que pueda incrementar la vulnerabilidad del sistema en aspectos estructurales y operacionales, así como eventos que atenten contra la vida misma.
- Mejoría de la calidad de agua en la fuente de abastecimiento debido a las actividades de prevención, control y seguimiento del recurso.
- Acceso rápido a información veraz en casos de emergencia, sobre los peligros y riesgos a que está expuesto su sistema.
- Simplificación en la toma de decisiones, al estar definidas en consenso las medidas que se deben implementar para corregir los peligros y disminuir los riesgos.
- Se promueve y se brinda una ayuda extra al prestador del servicio para cumplir con las disposiciones de la legislación vigente en lo referente a la calidad del agua para consumo humano.
- Priorización de las necesidades de inversión para realizar mejoras sostenibles en la infraestructura de los sistemas, así como un análisis para la incorporación de nuevos componentes para mejorar la calidad del agua en la época de lluvia cuando se les incrementa la turbiedad y la cantidad de sedimentos.

- Contribuye a la sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento ya que en la medida que se reduce la contaminación en la fuente, habrá reducción de costos en la potabilización del agua.
- Contribuye a mejorar la economía familiar, porque además de que se mejora el servicio, se aumenta la confianza en el agua del acueducto y se evita el gasto en compra de agua embotellada.

1.4.13 Análisis de Riesgo

Para poder realizar un análisis eficaz y lograr conclusiones sobre el estado actual y futuro del recurso hídrico en la cuenca del Río Abangares, es necesario el análisis de los riesgos a los que están sometidas las diferentes zonas de la cuenca, para dicho análisis se estará utilizando la herramienta canadiense, también utilizada por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, llamada Protocolo de Ingeniería PIEVC para la Evaluación de Vulnerabilidad de Infraestructuras y Adaptación al Cambio Climático.

El objetivo fundamental de dicho protocolo es describir un proceso para evaluar las respuestas de los componentes de las infraestructuras ante los impactos del cambio climático, para el siguiente trabajo de investigación, la metodología también será aplicada en distintos puntos de control a lo largo de la cuenca, no solamente en infraestructura. La información obtenida mediante el proceso de evaluación ayudará a los prestadores del servicio, usuarios e involucrados a incorporar eficazmente la adaptación al cambio climático en el diseño, el desarrollo y la gestión de sus infraestructuras actuales y futuras, por otra parte, las observaciones, conclusiones y recomendaciones derivadas de la aplicación de este protocolo proporcionan un marco conceptual para apoyar la toma de decisiones acertadas sobre el funcionamiento, mantenimiento, planeamiento y desarrollo de las infraestructuras, así como una herramienta de identificación de los puntos a lo largo de la cuenca más vulnerables y que necesitan instrumentación para la toma de datos periódica.

Para evaluar la vulnerabilidad de una infraestructura al cambio climático, los usuarios deben hacer énfasis en los siguientes aspectos:

- la infraestructura;
- el clima (histórico, reciente y proyectado);
- las respuestas históricas y proyectadas de la infraestructura al clima.

Por otra parte, se define una metodología de acción y secuencia para el análisis de riesgo según sus diferentes opciones, como se puede observar en la siguiente figura:

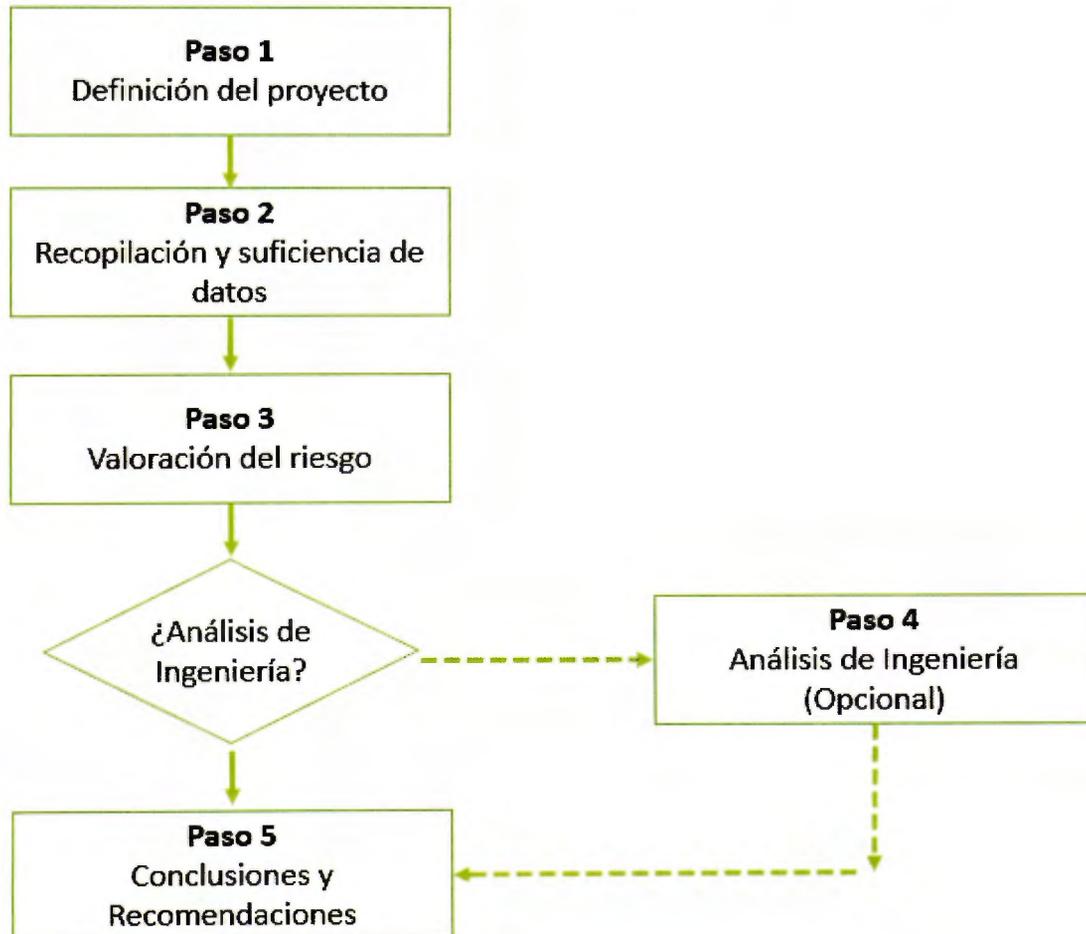


Figura 4. Metodología para el análisis de riesgos

1.4.13.1 *Pasos de la metodología de análisis de riesgo*

1.4.13.1.1 *Paso 1: Definición del proyecto*

En este paso se prepara una descripción general, ya sea de la zona o la infraestructura que se quiera analizar, en la que se contemplan aspectos como: ubicación, registro histórico del clima, antigüedad, carga, ciclo de vida, entre otros factores relevantes. Además, se identifican los documentos y fuentes de información principales y los usuarios definen las condiciones de contorno para la evaluación de vulnerabilidad.

1.4.13.1.2 *Paso 2: Recopilación y suficiencia de los datos*

Se identifica y define con mucha mayor claridad las zonas que se van a evaluar y los factores particulares del clima que se tomarán en cuenta, así como el detalle de los componentes físicos de la infraestructura (cantidad, ubicación, materiales, antigüedad, importancia y condición). El Paso 2 es un proceso interdisciplinario que requiere conocimientos técnicos en ingeniería, climatología, operaciones, mantenimiento y gestión. Los usuarios deben asegurarse de que la combinación correcta de conocimientos esté representada en el equipo de evaluación o mediante consultorías con otros profesionales durante la implementación de la evaluación.

1.4.13.1.3 *Paso 3: Valoración del riesgo*

En el Paso 3 los usuarios identificarán las interacciones entre la infraestructura, el clima y otros factores que podrían causar vulnerabilidad. El Protocolo requiere que los usuarios identifiquen cuáles zonas tienen probabilidad de ser sensibles a los cambios en parámetros particulares del clima. Se requerirá que evalúen esta sensibilidad en el contexto de las expectativas de desempeño y otras exigencias, también los usuarios realizarán una valoración del riesgo de la vulnerabilidad al cambio climático. Las interacciones identificadas se evaluarán con base en los criterios profesionales del equipo evaluador y dicha valoración del riesgo identificará áreas claves de preocupación.

En esta etapa, los usuarios también deben evaluar la disponibilidad y calidad de los datos. Si los criterios profesionales identifican una vulnerabilidad potencial que requiere datos que no están disponibles al equipo de evaluación, el Protocolo requiere que los usuarios revisen el

paso 1 y 2 para adquirir y refinar los datos a un nivel suficiente para realizar la valoración del riesgo.

1.4.13.1.4 *Paso 4: Análisis de ingeniería*

Este paso es opcional. No toda interacción requiere análisis de ingeniería. Normalmente, los usuarios pueden designar elementos o áreas para el Paso 4 cuando se considera que un análisis adicional más enfocado resolvería mejor el perfil del riesgo.

Los casos especiales, son los casos donde existe cierta duda en su evaluación y recomendación, se analizan con el paso 4 del protocolo, es decir, son elementos que requieren un análisis de ingeniería más profundo y exhaustivo, el equipo de trabajo determina que es necesario profundizar con el análisis de un elemento o aspecto específico. Por ejemplo: la capacidad estructural, donde se analizaría el diseño, la instalación, problemas y desgastes por uso y antigüedad, así como la condición bajo estándares de operación y mantenimiento adecuados que buscan una infraestructura resiliente.

La decisión de realizar el análisis de ingeniería depende fundamentalmente de la disponibilidad del presupuesto, la profundidad del estudio requerido y las restricciones de programación del proyecto. Es razonable que los usuarios identifiquen trabajo adicional que no se puede concluir dentro del cronograma del proyecto y citar ese trabajo como parte de las recomendaciones que surgen del estudio.

En esta etapa los usuarios deben hacer una evaluación final de la disponibilidad y calidad de los datos. Si, en su criterio profesional, la calidad de los datos o su incertidumbre no apoyan conclusiones claras derivadas del análisis de ingeniería, el Protocolo instruye a los usuarios a repasar el Paso 2 para adquirir y refinar los datos a un nivel suficiente para realizar un análisis de ingeniería robusto.

1.4.13.1.5 *Paso 5: Recomendaciones y conclusiones*

Se proporcionan recomendaciones con base en el trabajo completado en los Pasos 1 a 4, tales como:

- Acciones correctivas.
- Acciones administrativas.

- Monitoreo y reevaluación.
- Vacíos en los datos disponibles o en la calidad de los datos que requieren trabajo adicional.
- Planes de secuencia de trabajo.

1.4.14 Otros aspectos importantes

1.4.14.1 *Plan Regulador*

Es una ley que ordena el desarrollo de un cantón, para garantizar un lugar seguro y agradable donde vivir. Sirve para identificar los problemas que se tienen en el territorio de todo un cantón y sus distritos. Busca una mejor distribución de las actividades en la zona, un mejor y racional uso de las tierras y recursos naturales, un aumento equitativo de la infraestructura con la inversión pública del gobierno local y un mejor acceso a los servicios que mejore la calidad de vida de todos los ciudadanos. (UNA, 2010)

1.4.14.2 *Ordenamiento territorial*

El concepto de ordenación u ordenamiento del territorio es esencialmente un término geográfico. Caracteriza los procesos de investigación y análisis de los espacios territoriales para facilitar la identificación y la clasificación de los componentes morfológicos y ambientalesecológicos que integran físicamente un espacio regional definido. Esto permite establecer relaciones concretas entre el territorio y sus recursos y las actividades de la población que se ubica en ellos o que en una forma u otra los utiliza o aprovecha. (INVU, 2010)

1.5 Metodología

Se plantean cinco diferentes etapas de trabajo para concluir con suma eficiencia los objetivos impuestos en esta investigación. A continuación, se describen las actividades pertenecientes a cada etapa.

1.5.1 Conceptualización de la investigación

Esta etapa es de suma importancia ya que define y delimita la finalidad de la investigación, se concentra en establecer los objetivos y el alcance del proyecto, así como en caracterizar generalmente y de forma preliminar la zona en donde se va desarrollar la investigación, en este caso, la cuenca del Río Abangares.

1.5.2 Recopilación de información y estudio de las fuentes encontradas

Esta segunda etapa comprende todo lo relacionado a la información bibliográfica pertinente a la investigación. En primera instancia, se revisarán los distintos proyectos de graduación referentes al estudio de la cuenca del Río Abangares, con ayuda de las bases de datos de la Universidad de Costa Rica, con el fin de evaluar los antecedentes históricos y las metodologías de trabajo existentes.

Las principales fuentes de información serán los departamentos de Ingeniería Ambiental y Recursos Hidráulicos, así como el Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES), que proveerán la información necesaria sobre posibles indicadores de impacto físicos, químicos y biológicos de la cuenca, así como bases de datos de las variables climáticas a considerar.

Se realizará una búsqueda exhaustiva de la normativa nacional correspondiente al recurso hídrico, así como lo relacionado con la regulación del ordenamiento territorial y actividades socioeconómicas del sector.

Por otra parte, se realizará una gira al cantón de Abangares que permita la familiarización con la zona de estudio, el análisis preliminar de posibles puntos de control y la ubicación de las estaciones pluviográficas existentes. Además, se plantea una pequeña visita a la municipalidad local, con el fin de conocer sus necesidades y las situaciones que consideren de inmediata intervención.

1.5.3 Definición y análisis de indicadores de impacto

Se definen los parámetros físicos, químicos y biológicos que se utilizarán para la identificación de riesgos y para dar una conclusión sobre el estado actual de los distintos sectores de la cuenca, en términos de calidad. La cantidad y disponibilidad del recurso hídrico se tomará en cuenta utilizando variables climáticas como la precipitación, el caudal, evapotranspiración y temperatura.

Además, se realizará el análisis de todos estos indicadores con el fin de no solo obtener información sobre el estado actual de la cuenca, sino poder realizar proyecciones de la calidad y disponibilidad del recurso a largo plazo.

En esta etapa se tiene prevista una segunda visita al sitio de estudio, por si existe evidencia de datos faltantes de los indicadores de impacto o si algunos de estos se encuentran sesgados de una u otra forma. Por lo cabe la posibilidad de repetir alguna prueba de laboratorio que se considere necesaria.

1.5.4 Propuesta de instrumentación

Una vez obtenida una calificación de los diferentes sectores de la cuenca, se plantea la secuencia de acción e intervención a corto, mediano o largo plazo según el diagnóstico final de su estado y su importancia.

Se propone la instrumentación de las diferentes zonas dependiendo del uso del suelo, de los indicadores presentes y los rangos de cantidades de estos, así como un presupuesto preliminar de los costos asociados a dicha instrumentación, que considerarán entre otras cosas, la compra de sensores de medición y mano de obra especializada para su colocación.

1.5.5 Cierre de proyecto

En el cierre del proyecto se realiza la confección del informe final, detallando una serie de conclusiones y recomendaciones que identifiquen el cumplimiento de los objetivos impuestos y que ayuden a un mejor entendimiento de las teorías y procedimientos utilizados.

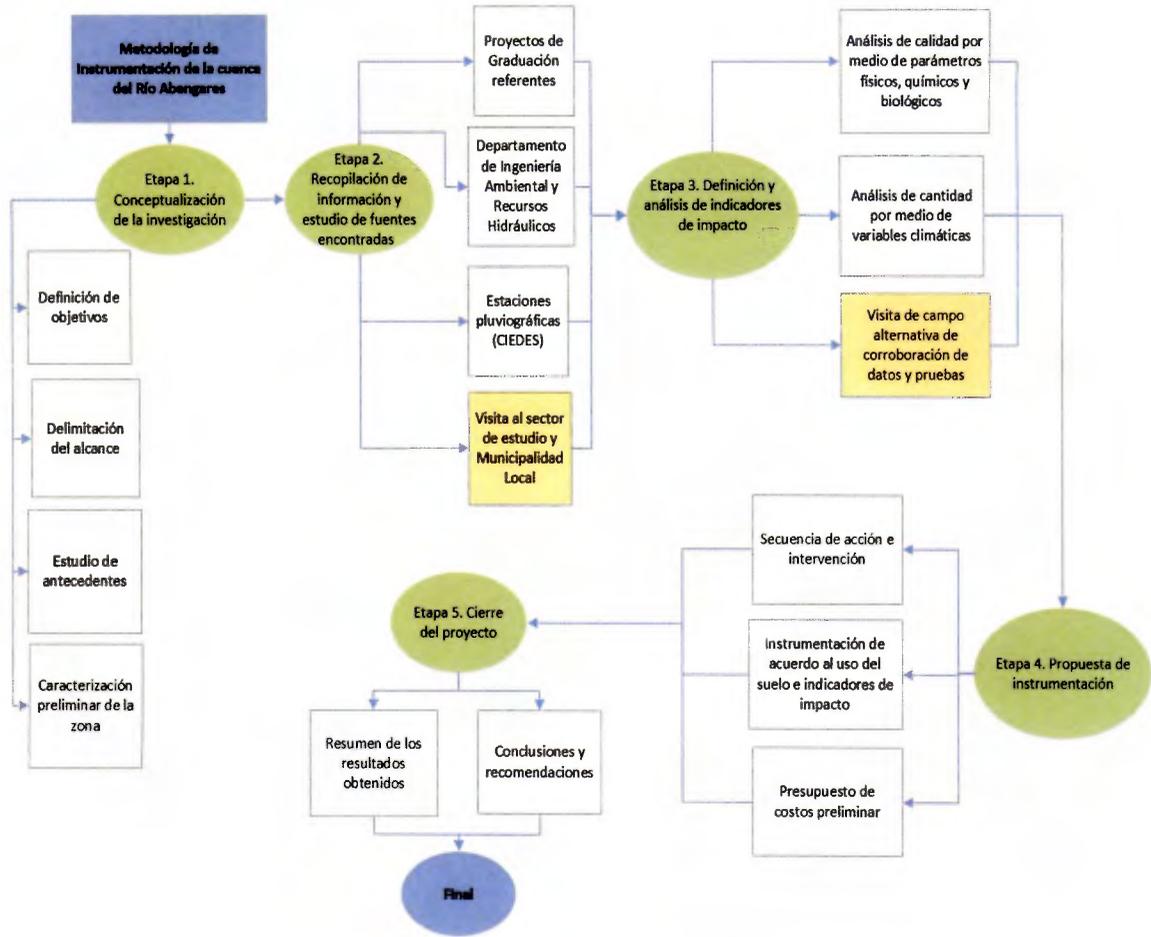


Figura 5. Diagrama de metodología

2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

2.1 Antecedentes históricos y generalidades del cantón

En el periodo de la historia nacional denominado como época precolombina, el territorio que actualmente corresponde al cantón de Abangares, estuvo habitado por indígenas del llamado grupo de los corobicíes. La historia del cantón de Abangares, está muy relacionada con el auge minero en la explotación predominantemente de oro, en el año 1885 don Juan Vicente Acosta Chávez oriundo del cantón de San Ramón de la provincia de Alajuela, tomó posesión de la mina de oro que había descubierto tiempo atrás, la cual la llamó Tres Hermanos e inició sus operaciones en 1887, la cual, dos años después fue adquirida por una compañía inglesa. La influencia de extranjeros se hizo sentir profundamente en el hoy cantón de Abangares como consecuencia del descubrimiento de las minas de oro, las condiciones de trabajo impuestas en la explotación minera fueron muy duras, originando una alta mortalidad por enfermedades y situaciones de seguridad inadecuadas, que en 1912 provocaron la primera huelga obrera en el país.

Respondiendo a las necesidades de una población con muy rápido crecimiento, un grupo organizado de vecinos, gestionaron la apertura de una escuela la cual se instaló en 1888 en el terreno que hoy ocupa el Gimnasio Municipal. En el Distrito de La Sierra también se abrió una escuela, que al principio fue financiada por la Compañía Minera y posteriormente por el Gobierno. Por su parte, en el poblado de las Juntas, hubo un cementerio, donde está ubicada la Escuela Central, abarcando otros terrenos aledaños, y posteriormente se trasladó dónde está actualmente, ya que era prioridad en aquel entonces, activar las actividades comerciales ampliando la llamada Calle del Comercio. En el aspecto religioso debemos señalar, que siendo muchas familias del Valle Central y dadas sus creencias, pronto los llevó a construir una pequeña Ermita la cual era visitada esporádicamente por el Presbítero Luis Leipold, cura párroco de Cañas.

En el gobierno de don Alfredo González Flores, el 4 de junio de 1915, en la Ley nº 13, se erigió como cantón número siete de la provincia de Guanacaste, con cuatro distritos y se designó como cabecera la población de las Juntas. Por su parte, en La Sierra, la compañía tenía

funcionando un hospital muy bien instalado, cuyo primer médico fue el Dr. Edgar Montealegre Iglesias, quien se destacó por su labor humanitaria entre los mineros, según consta en las actas municipales de 1916, también fue contratado por la Primera Municipalidad del Cantón, para que visitara a los enfermos de las Juntas, cuatro veces al mes, con un salario de 100 colones mensuales.

El alumbrado público se inauguró en 1918, con carburas grandes de farol, para su mantenimiento la municipalidad pagaba un farolero, este nuevo servicio se logró por medio de un contrato entre la Municipalidad y los señores Celín Meckbel Ayub y Hall Meckbel Carom, quien fue el primer Diputado por el cantón de Abangares. Con los años se hizo necesario construir una nueva Escuela, que se inauguró en 1931, en el lugar que ocupa actualmente la Escuela Central. La Iglesia fue una nueva meta de los pobladores, con sus contribuciones, a lo largo de muchos años, se logró construir entre 1952 y 1957, año en que se inauguró.

En 1942 fue creada la Unidad Sanitaria, dicho centro de Salud se estableció con ayuda del Servicio Cooperativo de Los Estados Unidos, posteriormente fue creado el Centro Rural de Asistencia Dr. Edgar Montealegre Iglesia que daba atención preventiva, curativa y tenía una sección internamientos: pediatría, medicina de mujeres, de hombres, sala de maternidad y servicios de urgencias las veinticuatro horas del día. Fue demolido y en 1982 se edificó la moderna estructura que hoy funge como tal.

En 1961 como una necesidad se construyó el Colegio Técnico Profesional Agropecuario de Abangares, que prestó servicios a todo el cantón. Actualmente se cambió la especialidad a Colegio Técnico Profesional(CTP) y ofrece seis carreras técnicas en su horario diurno: Ejecutivo para Centros de Servicios, Contabilidad, Electrónica, Turismo Rural, Turismo Ecológico e Informática en Soporte. Y en la sección nocturna: Electrónica, Secretariado Ejecutivo e Informática en Software. El 1 de julio de 1965 se inauguró la primera Clínica de la CCSS, para dar atención a la población asegurada.

El cantón de Abangares es el séptimo de la provincia de Guanacaste, situado a 10° a 16° latitud noroeste y 85° latitud oeste. Fue creado mediante decreto número 13, el 4 de junio de 1915 y limita con los siguientes centros de población:

- Este: San Ramón y Puntarenas
- Norte: Tilarán
- Sur: Puntarenas
- Noroeste: Cañas
- Suroeste: Golfo de Nicoya.

El cantón de Abangares está dividido políticamente en cuatro distritos:

- Distrito Primero: Las Juntas, tiene un área geográfica de 229.35 Km².
- Distrito Segundo: La Sierra con un área geográfica de 141.47 Km².
- Distrito Tercero: San Juan con un área geográfica de 109.17 Km².
- Distrito Cuarto: Colorado con un área geográfica de 195.77 Km².

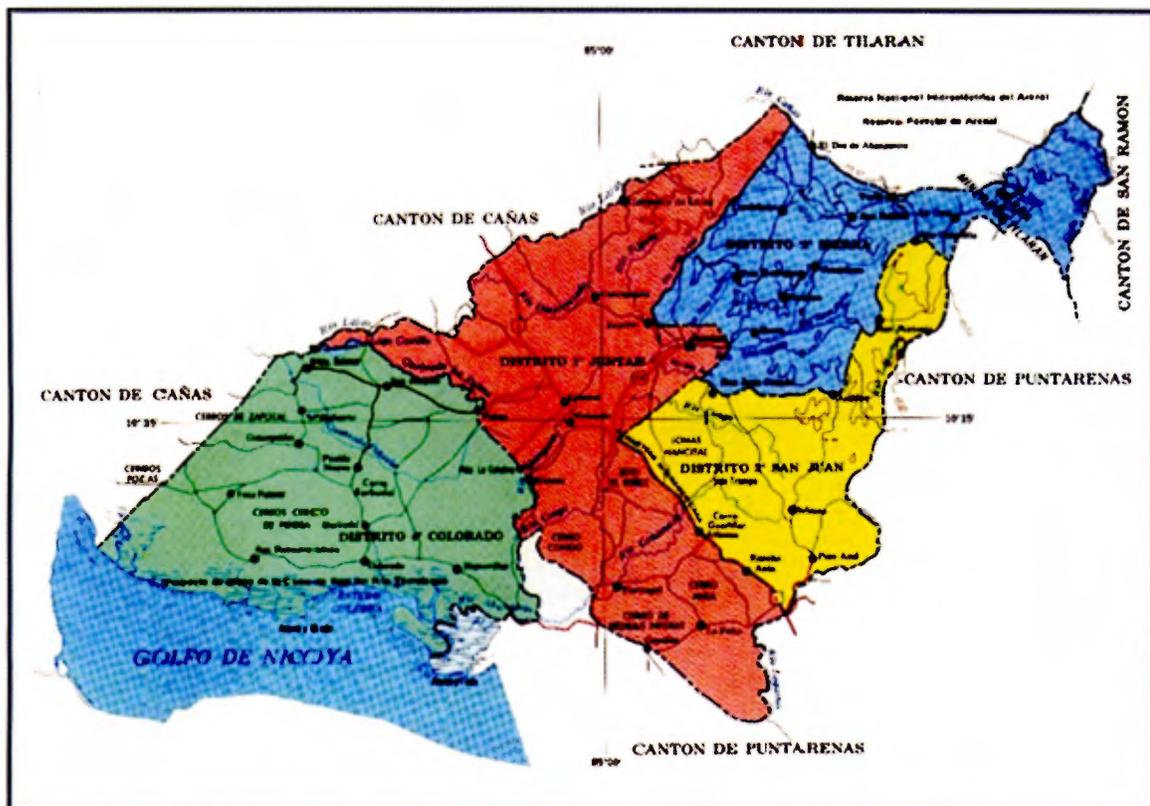


Figura 6. División administrativa del cantón de Abangares
Fuente: Estrategia Desarrollo Económico Local, 2010

2.2 Ubicación y delimitación de la cuenca

Es denominada "Cuenca Hidrológica No. 21 Río Abangares y Otros", perteneciente a la Vertiente del Pacífico, se ubica al este de la provincia de Guanacaste, cuenta con una extensión superficial de 301 km² y cubre gran parte del cantón de Abangares, abarcando los distritos de Sierra, Juntas, San Juan y Colorado, solo un 5% de esta área se encuentra en el distrito de Manzanillo de la Provincia de Puntarenas. Cabe destacar que para la delimitación de la cuenca se tomó como referencia principal el proyecto de graduación de Araya 2014. Se toma como punto de control el sector más bajo de la cuenca en el distrito de Colorado, en la desembocadura del río Abangares en el Golfo de Nicoya.

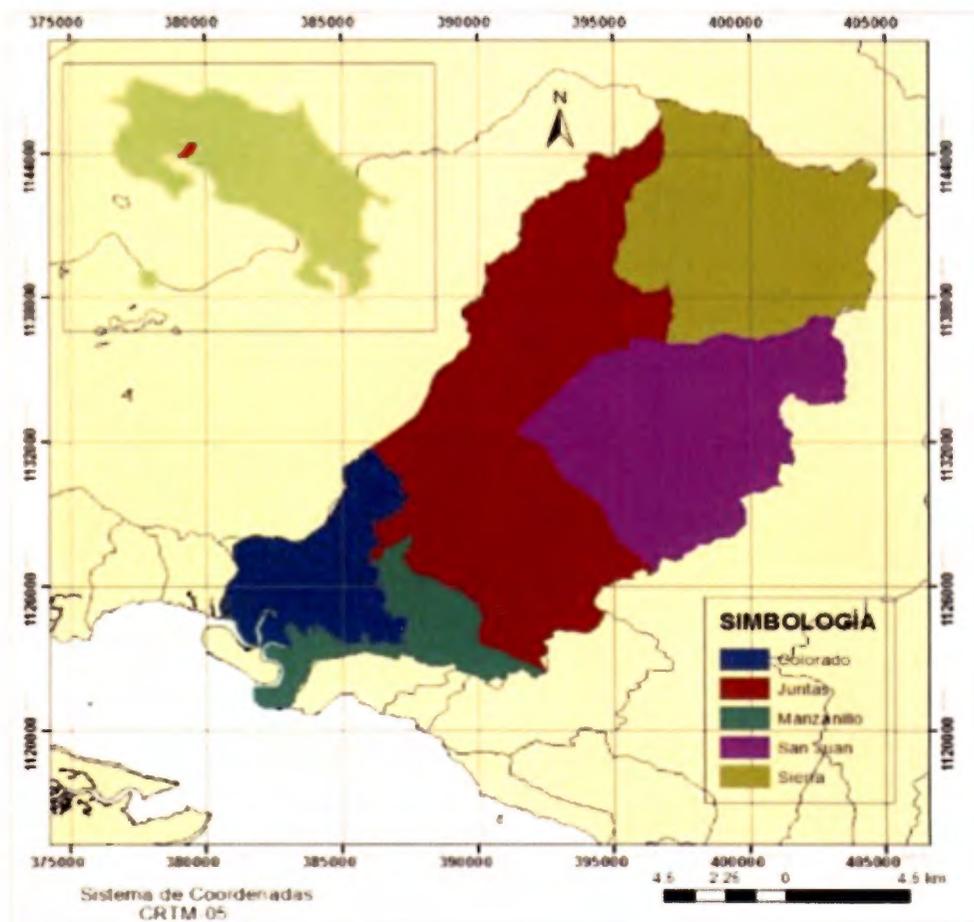


Figura 7. Distritos abarcados por la cuenca en estudio
Fuente: ITCR, 2008

El área de estudio para el siguiente trabajo de investigación comprendida en la cuenca se encuentra geográficamente entre las latitudes 380493,6 m y 405646,7 m y las longitudes 1120906,4 m y 1146229,9 m del sistema de coordenadas CRTM-05.

Abangares limita al norte con el cantón de Tilarán y al suroeste con el Golfo de Nicoya, condición que refleja la diferencia de altitudes, las cuales van desde los 0 a los 1400 metros sobre el nivel del mar, condición que desarrolla una serie de microclimas y características climáticas que promueven abundantes usos del suelo y actividades socioeconómicas.

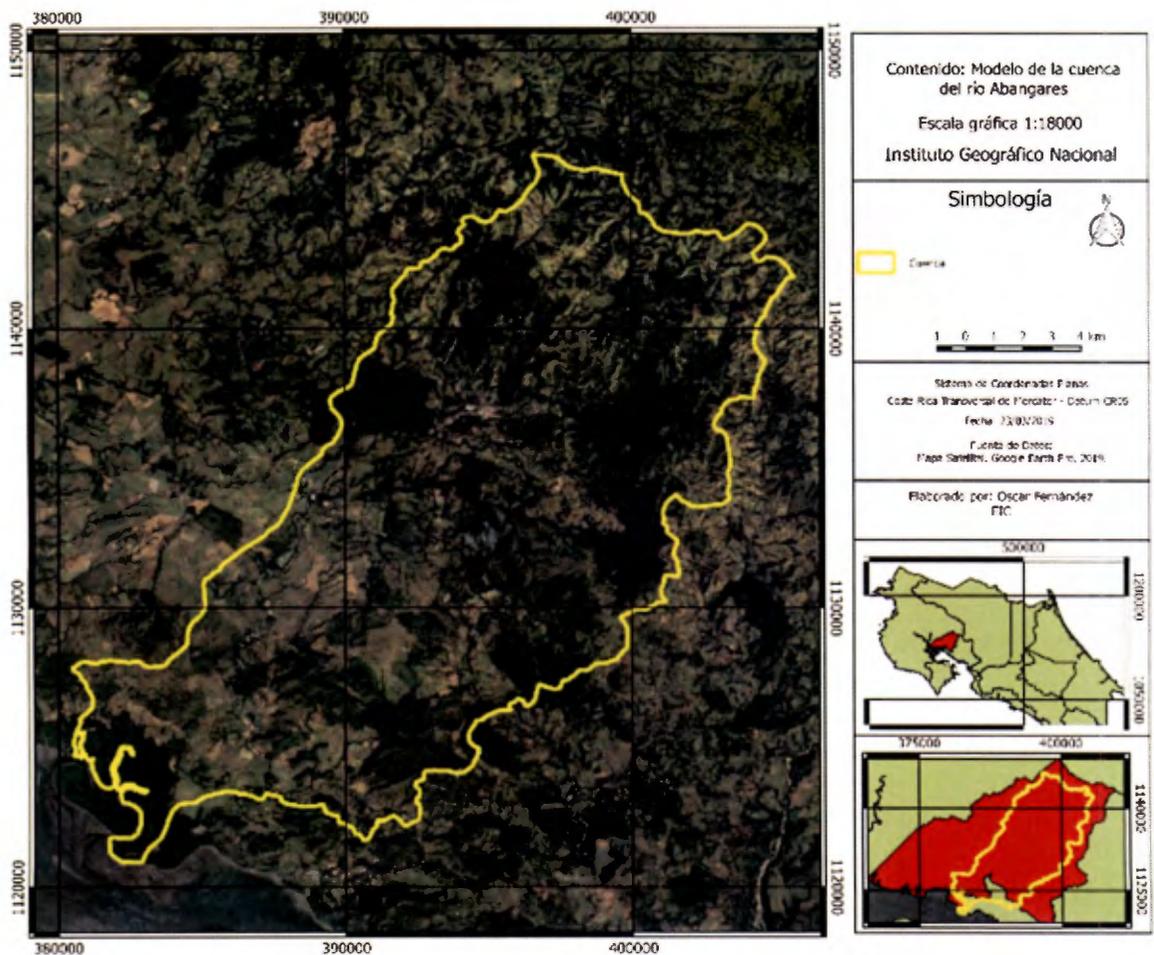


Figura 8. Mapa modelo de delimitación de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

2.3 Características físicas generales

Utilizando la información del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se delimita la cuenca del río Abangares y se obtienen las siguientes características físicas.

Cuadro 2. Características morfométricas de la cuenca del río Abangares

Parámetro	Unidad	Valor
Área de drenaje	A (km ²)	300,890
Perímetro de la cuenca	P (km)	107,330
Longitud total de los cauces de agua	ΣL (km)	345,833
Longitud del cauce principal	L (km)	45,216
Forma de la cuenca		
- Índice de compacidad	I _G	1,745
- Factor de forma	K _f	0,147
Rectángulo equivalente		
- Lado mayor	L _{re} (km)	47,766
- Lado menor	l _{re} (km)	6,299
Elevación promedio de la cuenca	(msnm)	268,600
Elevación media de la cuenca	(msnm)	602,800
Elevación máxima de la cuenca	(msnm)	1205,600
Elevación mínima de la cuenca	(msnm)	0,000
Índice de pendiente	I _p	0,065
Pendiente ponderada de la cuenca	(%)	
Pendiente del cauce principal		
- Pendiente media	S ₁	2,31%
- Pendiente media ponderada	S ₂	0,11%
- Pendiente de Taylor y Schwarz	S ₃	1,61%
Sistemas de drenaje		
- Número de orden		5
- Densidad de drenaje	D _d (km/km ²)	1,150

La morfometría de una cuenca es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos, resulta de gran utilidad permitiendo determinar la semejanza de los flujos, así como compenetrar todas las diferentes variables para evaluar su funcionamiento y gestiones de aprovechamiento y control.

Como se observa en el cuadro anterior, el área total de drenaje de la cuenca es de 300 kilómetros cuadrados, lo que representa un 42 % aproximadamente del área total del cantón de Abangares. La longitud total de los cauces pertenecientes a la cuenca es de 346 kilómetros, siendo el río Abangares el cauce principal con una longitud de 45 kilómetros.

El índice de Compacidad, propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio, permite tener una idea de la forma que posee la cuenca. En este caso, el coeficiente da un valor de 1,745, un valor relativamente alto que se ubica en el límite superior de lo que representa una cuenca oblonga o alargada, lo que significa que es mucho más larga que ancha, lo que se evidencia y se afirma con la medición del rectángulo equivalente, donde el largo supera por casi 8 veces el ancho.

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de los cauces de la cuenca y su área total, este parámetro refleja el grado de desarrollo de la red hidrográfica, que en nuestro caso tiene un valor de 1,15 km de río cartografiado por cada kilómetro cuadrado de terreno. Según establece Aparicio (1997), la densidad de drenaje puede tomar valores desde 0,5 a 3,5 km/km², donde el valor menor corresponde a una cuenca con drenaje pobre y el mayor a una cuenca con un drenaje excepcional. Siendo 1,15 km/km² el valor en cuestión, el drenaje está más cercano al límite pobre que al límite excepcional, lo que refleja insuficiente capacidad de drenaje y por consiguiente un retardo en su respuesta hidrológica ante eventos abruptos como tormentas convectivas durante la época lluviosa. Otra causa probable de la baja densidad de drenaje, es que en la zona existen ríos que son intermitentes, por lo que en época seca la longitud total de sus cauces se reduce hasta en un 25 %, situación que empobrece el drenaje considerablemente.

2.4 Características geológicas y topográficas

2.4.1 Elevaciones

La cuenca del río Abangares y sus debidos centros poblacionales presentan elevaciones que van desde los 0 msnm al suroeste de la zona a los 1400 msnm al noreste, siendo el rango entre 0 y 300 m.s.n.m. el que mayoritariamente se presenta en la cuenca y denominada zona baja. Presenta tres zonas geográficas bien definidas:

Zona alta: Comprende elevaciones que van desde los 700 m.s.n.m. hasta las zonas más altas con 1.400 m.s.n.m. con clima fresco y frío que en algunas épocas del año alcanzan una temperatura de 13° centígrados.

Zona media: Comprendida entre los 300 y 700 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 22° centígrados.

Zona baja: Comprendida entre los 0 y 300 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 30° centígrados.

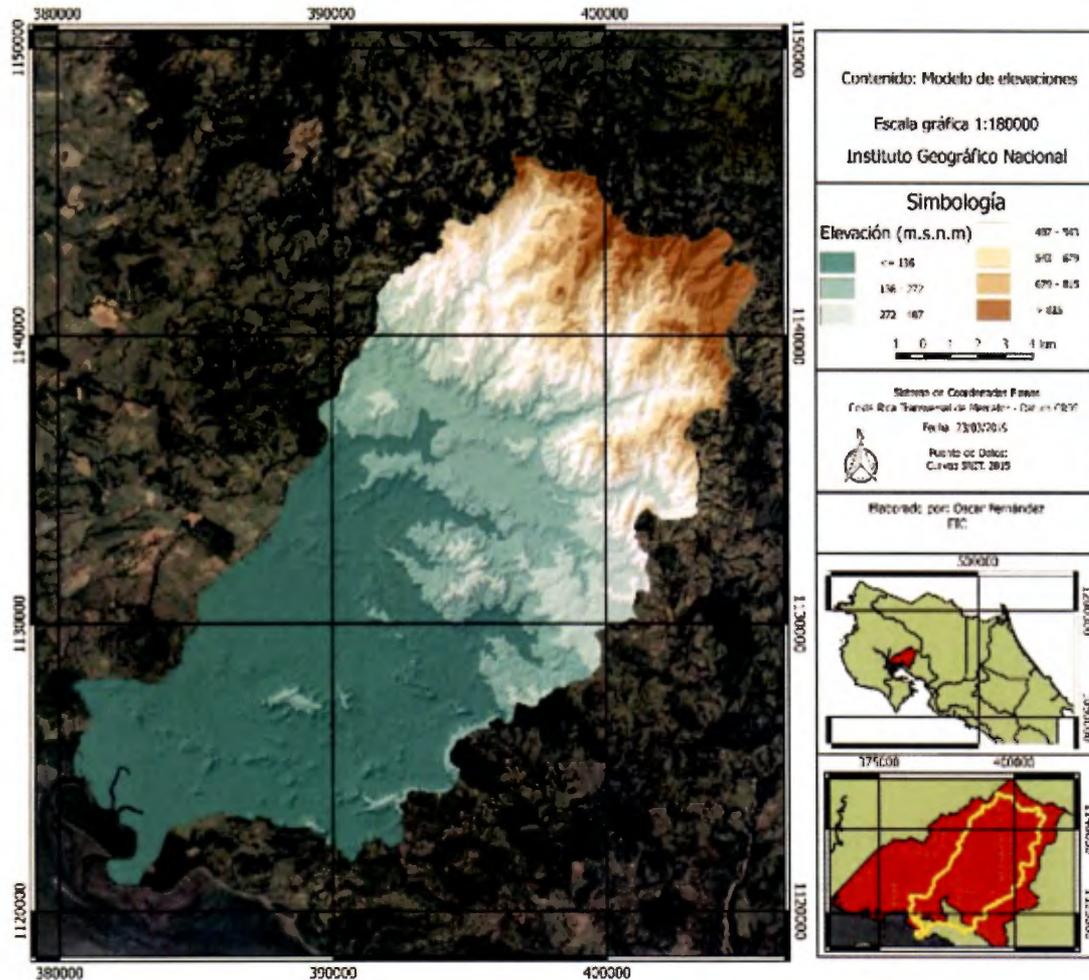


Figura 9. Mapa modelo de elevaciones de la cuenca del río Abangares
 Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

Según datos del Instituto Geográfico Nacional, del mapa anterior se pueden observar las diferentes y más marcadas variaciones en la elevación de la cuenca. Los colores verdes representan las elevaciones más bajas, siendo el color verde oscuro la categoría de menor elevación (0 – 136 m.s.n.m.), que en su mayoría se encuentran en el distrito de Colorado y las cercanías de la desembocadura del Golfo de Nicoya. Los colores cafés representan las elevaciones más altas, siendo el color café oscuro la categoría de mayor elevación (< 815 m.s.n.m.), dichas elevaciones se encuentran en su mayoría en el distrito de Sierra, limitando

con la Cordillera de Tilarán y pueden llegar hasta los 1400 m.s.n.m. en los sectores más elevados como Monteverde.

Cabe destacar que las diferencias topográficas alrededor de la cuenca además de definir tres zonas bien marcadas, provocan una serie de microclimas que facilitan el desarrollo de diferentes usos del suelo y actividades socioeconómicas.

Curva Hipsométrica de la cuenca del río Abangares

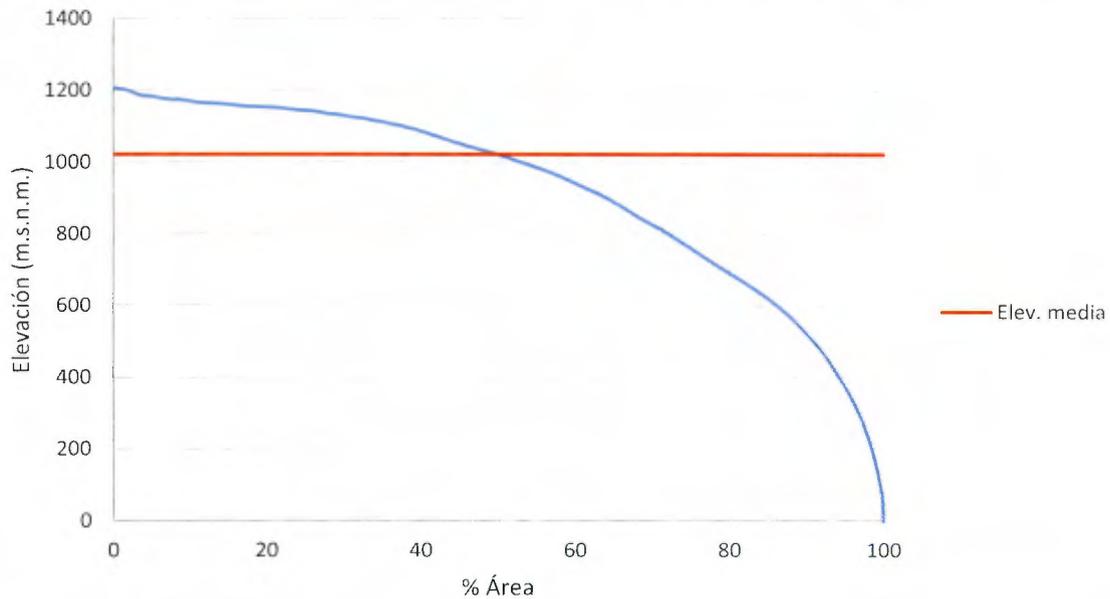


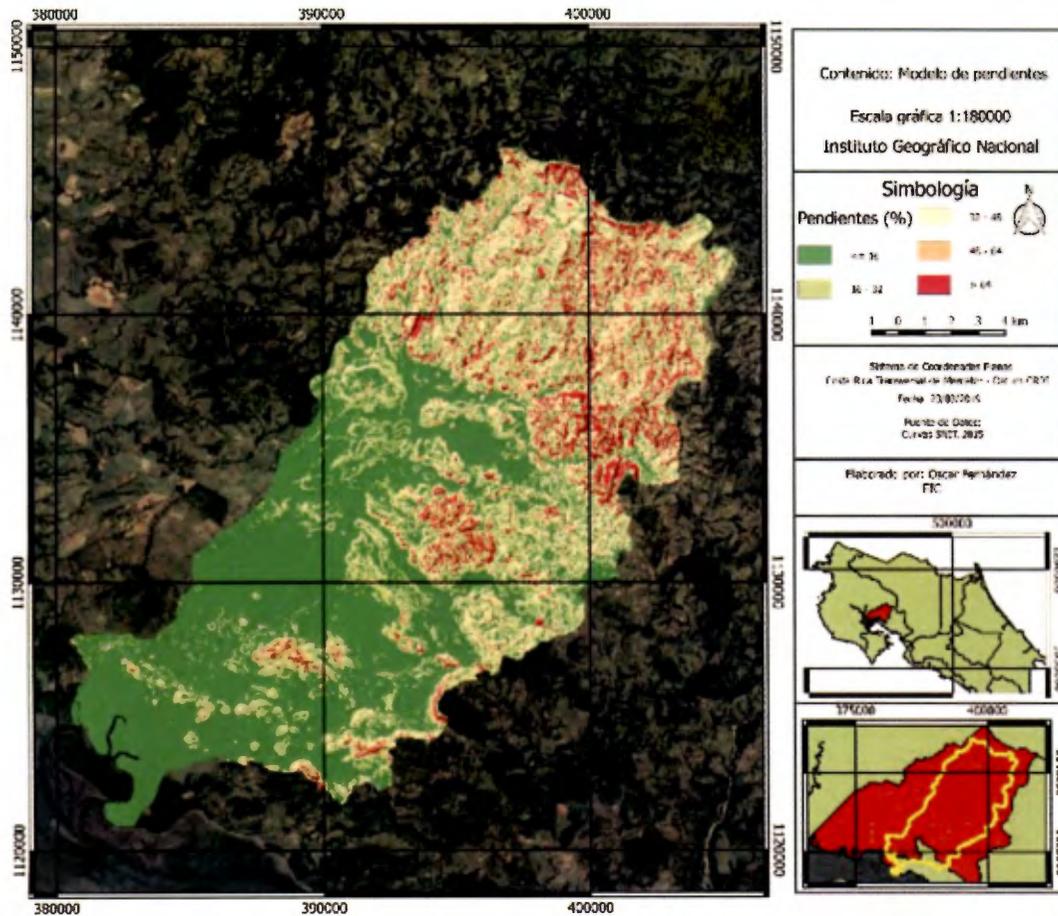
Figura 10. Distribución porcentual de área acumulada que supera cada cota de elevación

La curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca que existe por encima de cierta cota determinada. Una curva hipsométrica de concavidad hacia arriba, indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas y lo contrario indica valles profundos y sabanas planas. En nuestro caso se presenta una concavidad hacia abajo, lo que representa valles profundos y sabanas planas con gran capacidad erosiva.

2.4.2 Pendientes

En el siguiente mapa de pendientes de la cuenca, podemos observar que existe una relación meramente proporcional con la variable de elevación, ya que conforme aumenta la elevación se observa también un incremento en el porcentaje de las pendientes, el cual es mucho más marcado en las proximidades de los cauces de los ríos.

En el punto más bajo de la cuenca, en el distrito de Colorado, se observan pendientes muy bajas distinguidas con un color verde oscuro que abarcan un rango del 1 al 16%, en las partes más elevadas y próximas a los cauces de los ríos se pueden distinguir con un color rojo, pendientes mayores al 64% y que pueden llegar hasta el 80%.



2.4.3 Hidrografía

El territorio cuenta con una amplia red hidrográfica conformada por la cuenca del río Abangares que desemboca a la vertiente del Pacífico. Adicionalmente se identifican en la zona varias subcuencas de importancia, tales como la de Limonal Viejo, río Boston, río Gongolona y río Aguas Claras.

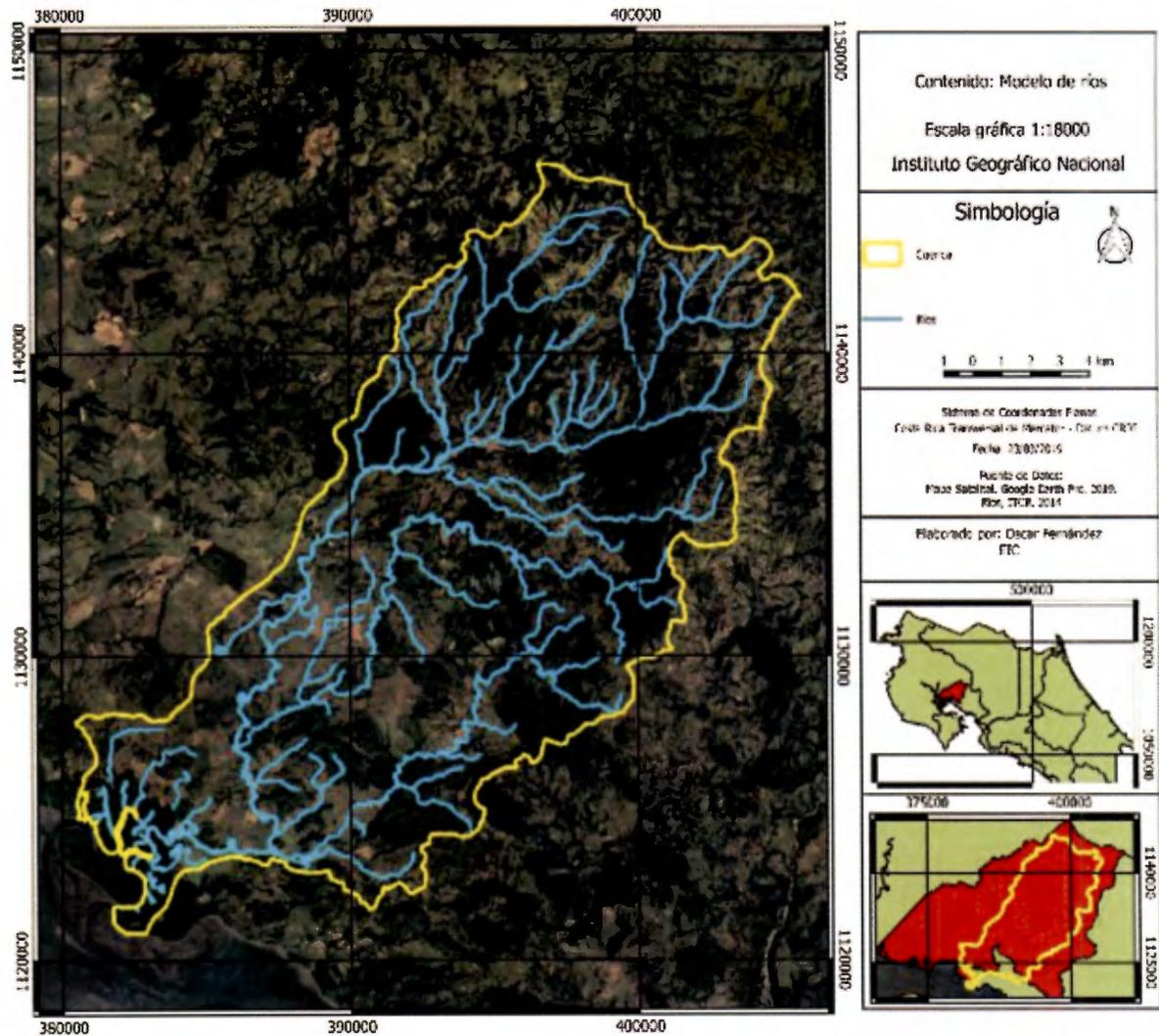


Figura 12. Mapa modelo de hidrografía de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

La figura anterior muestra la totalidad de la red hidrográfica la cuenca delimitada del Río Abangares, así como sus diferentes subcuencas. El número de orden de cauces determina la ramificación del cauce principal en la cuenca. Aquellos cauces que no poseen afluentes son de orden 1, la confluencia de dos cauces de igual número resulta en un número de orden mayor que el de sus afluentes y un cauce formado por la confluencia de dos cauces de diferente número de orden mantiene el mayor número. En este caso el número de orden de cauces es 5.

2.4.4 Suelos

La cuenca del río Abangares está formada geológicamente en su mayoría por rocas volcánicas del Mioceno (23 a 5 Ma) correspondientes al Grupo Aguacate y a la Formación Monteverde. El Grupo Aguacate está compuesto primordialmente por coladas de andesita y basalto, aglomerados, brechas y tobas. La mayoría de las rocas están muy alteradas hidrotermalmente y en varios lugares se encuentran mineralizaciones de oro, parte de las razones del desarrollo minero de la zona. La forma del terreno actual es el resultado de procesos geomorfológicos que actuaron sobre los distintos tipos de rocas en función de los diferentes tipos de climas, por lo que existe una relación en función del tiempo de la estructura, vegetación y suelo, que han dado como resultado a que en la cuenca se presenten dos unidades geomorfológicas llamadas formas de origen volcánico y formas de sedimentación aluvial.

Las formas de origen volcánico presentes en la zona son llamadas "Lomeríos de fuerte pendiente en Sierra Minera de Tilarán y pertenecen a la unidad de "Cordillera de Tilarán y Montes del Aguacate". Se encuentra en la mayor parte de la cuenca, a partir de las poblaciones de Sierra, Ángeles y Concepción hacia el norte de la misma y en el cerro Botadero (localizado a 2 km al sureste de la ciudad de Juntas aproximadamente). Presenta un relieve fuerte en toda su extensión, laderas con pendientes cercanas a los 30 grados, los fondos de los valles son angostos, apenas unos metros más anchos que el cauce, y las cimas de las lomas y cerros también suelen ser angostas, pero redondeadas por la presencia de ceniza y coladas de lava en posición horizontal.

Los tipos de rocas que más sobresalen son lavas, brechas, tobas e ignimbritas, cubiertas de cenizas, sobre todo en las tierras altas. Como se estableció anteriormente, la mayor parte de las rocas pertenecen al Grupo Aguacate, las tierras de formas más redondeadas corresponden a la Formación Monteverde. Estas formas se deben a la actividad volcánica, tanto efusiva como intrusiva, los conos por los cuales se produjo tal actividad están muy disectados y es muy probable que el inicio de la actividad haya sido fisural y ésta se fue cubriendo por otros depósitos y por los mismos materiales expelidos.

Una descripción de los tipos de suelos de la cuenca apoyará a la planificación del uso de la tierra y a las posibles prácticas de conservación de los mismos. Utilizando los mapas de tipos de suelo, uso de suelo y capacidad de uso de suelo se puede obtener una buena idea de la capacidad para retener agua de los suelos de la región.

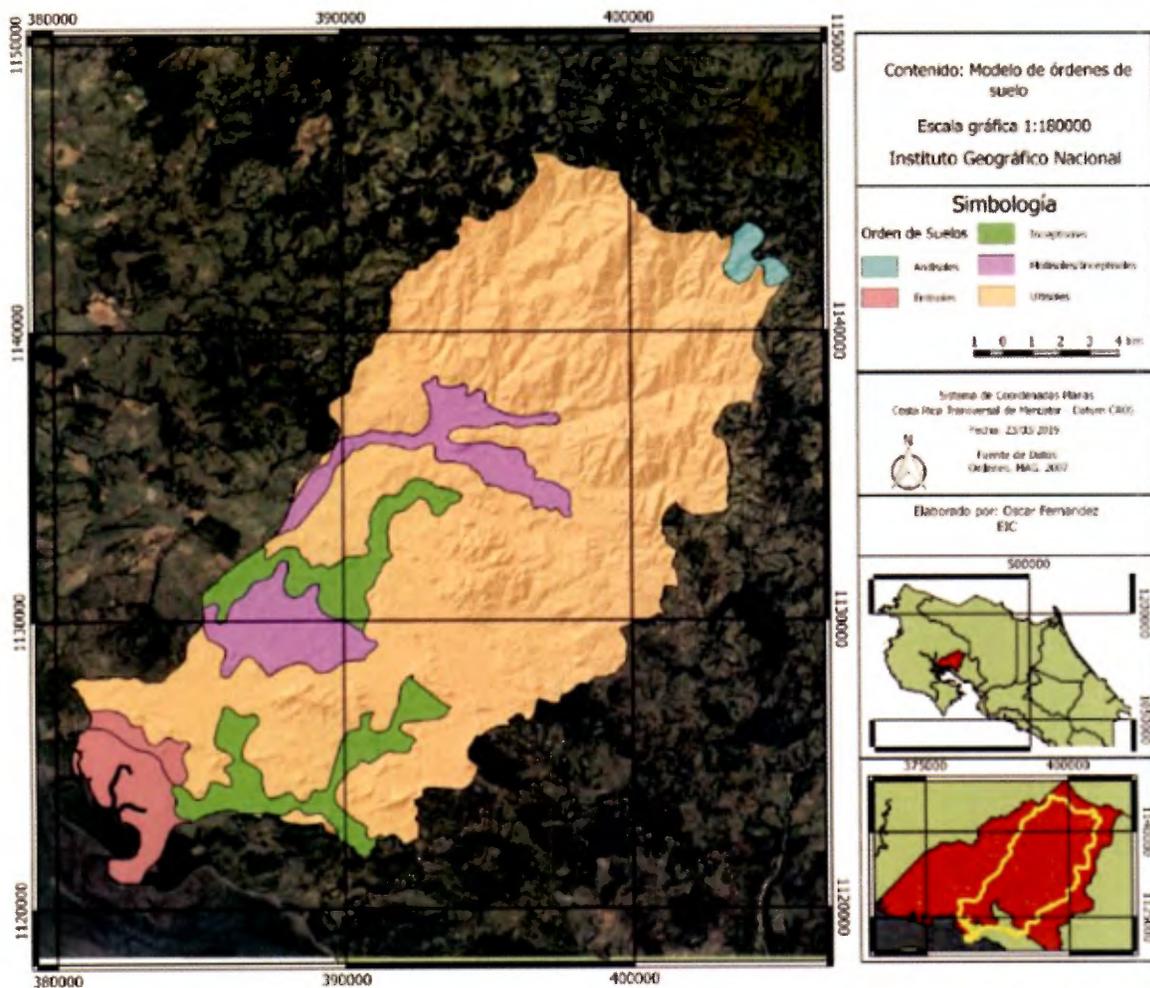


Figura 13. Mapa modelo de tipos de suelo de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

Cuadro 3. Distribución de áreas según tipo de suelo para la cuenca del río Abangares

Tipo de suelo	Características	Área (km ²)	% Área
Ultisoles	Suelo con un horizonte argílico (20% de aumento en el contenido de arcillas en la sección de control) con menos de un 35% de saturación de bases en la sección de control. Generalmente profundos, bien drenados de color rojo o amarillo y relativa baja fertilidad.	203,14	67.5%
Andisoles	Suelos con horizonte argílico con más de un 35% de saturación de bases. Similar al orden ultisol excepto por su alta fertilidad potencial.	61,92	20.6%
Mollisoles	Suelo con horizonte A profundo y pH alto. Con un epipedón mólico (alta acumulación de materia orgánica. Suaves cuando secos y más de un 50% de saturac. de bases)	26,46	8.8%
Inceptisoles	Suelo joven con horizonte B cámbico (apenas se forma un B), sin otro horizonte diagnóstico.	5,41	1.8%
Entisoles	Presentan el menor desarrollo; es decir, no es posible distinguir la secuencia de horizontes definidos el perfil. Se presentan en terrenos escarpados, que poseen pendientes mayores al 60%, presentan poca profundidad radicular, exceso de humedad, inundaciones frecuentes y son susceptibles a la erosión hídrica y eólica.	4,01	1.3%

Fuente: CIENTEC, 2007, IGN, 2019.

Los ultisoles en particular se presentan principalmente en la parte media de la cuenca, los alfisoles en las partes bajas y especialmente en las altas, en las posiciones más altas de las pendientes, en donde se presentan procesos de rejuvenecimiento, y son sometidas a constante lixiviación. En condiciones generales los dos órdenes de suelos predominantes en Abangares (alfisoles y ultisoles) presentan agregados estables en estructuras granulares, lo que les confiere a estos suelos una condición física excelente, en particular a lo que se refiere a su drenaje natural. En su composición mineralógica se da la predominancia de arcillas 1:1 (principalmente caolinita) y óxidos de Hierro y Aluminio, formación de puentes de Hidrógeno en las arcillas, y propicia que las partículas se agreguen entre sí dando estructuras más desarrolladas.

En cuanto a sus propiedades nutricionales, las buenas condiciones de agregados de estos suelos representan condiciones ideales para la lixiviación de nutrimentos, especialmente las bases (Calcio, Magnesio, Potasio) lo que conduce a acentuados problemas de acidez, especialmente los ultisoles. Los materiales arcillosos de estos suelos al unirse unos con otros,

restringen su superficie específica y ofrecen una muy pobre capacidad de intercambio de cationes efectiva, lo que reduce su fertilidad. Al ser suelos ácidos, aparte de los problemas directos de toxicidad de Aluminio y en menor grado de Manganeso, también presentan problemas de disponibilidad de Fósforo por fijación del mismo al Hierro y al Aluminio. Como no se presentan buenas condiciones para la acumulación de materia orgánica, y los nitratos se pierden muy fácilmente por lavado, la disponibilidad de Nitrógeno es siempre baja.

Muchos de los microelementos son solubles en medios ácidos, lo que permite su pérdida por lavado. En lo particular, los suelos alfisoles tienen un horizonte argílico con más de un 35% de saturación de bases, similar al orden ultisol excepto por su alta fertilidad potencial. Estos se presentan en un régimen de humedad ústico, y normalmente se saturan durante la época lluviosa. Son suelos bien desarrollados y contienen un horizonte B con alto contenido de arcillas. Los alfisoles en su mayoría son suelos de vocación forestal que tienen fertilidad natural relativamente alta, permitiendo actividades forestales y agrícolas, pero el exceso de humedad los convierte en suelos de difícil manejo agrícola. (Plan Regulador Abangares, 2011)

2.4.5 Zonas de vida

2.4.5.1 *Bosque muy húmedo premontano*

También se le llama bosque tropical pluvial premontano. Se caracteriza por una precipitación superior a los 4000 mm anuales, sin embargo, en algunas partes del país sobrepasan los 7000 mm en promedio anual. Esta zona de vida se ubica en la Cordillera de Talamanca y Cordillera Volcánica Central vertiente atlántica y Cordillera de Tilarán. En general este tipo de clima es bastante atractivo para el desarrollo de actividades agropecuarias sostenibles debido a la excesiva precipitación y la alta tasa de humedad predominante. Los bosques de esta zona se caracterizan por ser siempre verdes, con dos o tres estratos. Los árboles del dosel, tienen entre los 30 y 40 metros de altura, los troncos con apoyos pequeños, ramas rectas y las copas en forma de sombrilla. La corteza es café, negra o gris, moderadamente compacta y frecuentemente fisurada. Hay abundante cantidad de epífitas, alta biodiversidad, muy densos y de mediana altura.

2.4.5.2 *Bosque húmedo premontano*

El ecosistema del bosque tropical húmedo premontano constituye, después del bosque tropical seco el tipo de bosque más alterado y reducido de Costa Rica. Estudios indican que este tipo de bosque está representado por tan sólo el 1,75% de su cobertura original y existe una tendencia hacia su fragmentación. La desaparición de este tipo de ecosistema se debe, principalmente a su ubicación sobre una faja altitudinal con condiciones climáticas propicias para la agricultura y el asentamiento de poblaciones humanas, convirtiéndole, a veces, en un bosque ralo con una proporción de árboles y arbustos menor. En Costa Rica este bosque está restringido a dos cuencas en la parte central del país: en el densamente poblado valle central, desde San José hasta Turrúcares y en el valle de San Ramón, y una pequeña fracción se encuentra protegido en algunas pocas zonas protectoras. Existen unas áreas de transición cálida en las llanuras de San Carlos desde las llanuras de Santa Clara de Parismina hasta Puerto Viejo de Sarapiquí, cerca de Guápiles a través de Siquirres y al sur de Puerto Limón hasta la frontera con Panamá.

2.4.5.3 *Bosque húmedo tropical*

Presenta un ámbito de precipitación entre 1800 y más de 4000 mm de precipitación media anual. En esta zona de vida la estación seca varía de un lugar a otro, siendo entre 0 a 5 meses de duración (Bolaños et al, 2005). Esta formación es frecuente localizarla en las regiones Pacífica como Atlántica (llanuras costeras), en gran parte de la región de Upala, San Carlos, así como en las partes altas de la Península de Nicoya. El bosque se caracteriza por presentar una estructura vertical de 4 a 3 estratos, bien diferenciados, un abundante sotobosque, con un predominio de especies perennifolias. La altura media del dosel superior puede alcanzar entre 30 y 4 m de altura. En bosques no perturbados se pueden encontrar más de 150 especies de porte arbóreo, por lo cual son considerados como bosques diversos (CIENTEC, 2007).

2.4.5.4 *Bosque tropical seco*

Presenta un ámbito de precipitación entre 800 y 2100 mm de precipitación media anual. Esta zona de vida está representada en Guanacaste, valle del río Tempisque. La característica fundamental en esta zona de vida es la disminución marcada de las precipitaciones que se da entre los meses de noviembre a mayo (conocido como estación seca o erróneamente verano).

Este fenómeno determina una periodicidad muy marcada en la fenología de la vegetación. Durante la estación seca, una gran cantidad de especies forestales producen llamativas floraciones. En bosques poco perturbados por las actividades humanas, en el bosque seco se puede diferenciar hasta 3 estratos, el mayor o más alto con una altura de hasta 20 m, con un estrato medio y el inferior, el sotobosque es escaso y compuesto por arbustos espinosos. Ocasionalmente se pueden presentar individuos emergentes. Se pueden encontrar entre 90 a 150 especies por hectárea de especies arbóreas (CIENTEC, 2007).

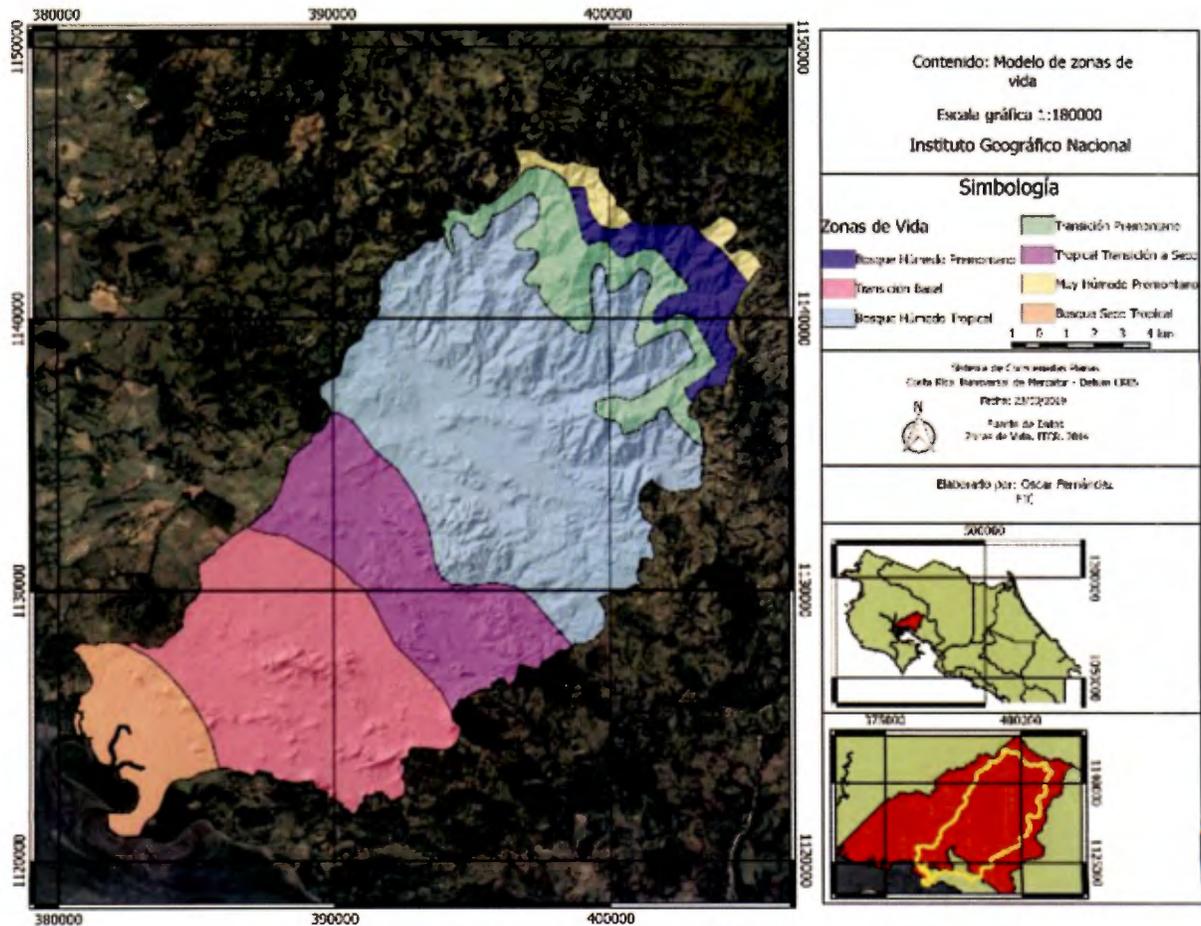


Figura 14. Mapa modelo de zonas de vida de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

Cuadro 4. Distribución de áreas según zonas de vida para la cuenca del río Abangares

Zona de vida	Biotemperatura (°C)	Precipitación (mm)	Área (km ²)	% Área
Bosque muy húmedo pre montano	18-24	2000-4000	5.75	1.9%
Bosque húmedo tropical transición a premontano	24-30	2000-4000	24.17	8.0%
Bosque húmedo premontano	18-24	1000-2000	13.06	4.3%
Bosque húmedo tropical transición a seco	24-30	1000-2000	45.19	15.1%
Bosque húmedo tropical	24-30	2000-4000	123.35	41.0%
Bosque seco tropical	24-30	1000-2000	20.38	6.8%
Bosque húmedo premontano transición a basal	18-24	1000-2000	68.93	22.9%

Fuente: CIENTEC, 2007, IGN, 2019.

2.5 Características climatológicas

2.5.1 Estaciones climatológicas

Las estaciones climatológicas ubicadas en diferentes sectores de la cuenca, cuentan con la tecnología suficiente para la medición y recopilación de datos de diferentes variables. Las que se ubican en la cuenca del Río Abangares se dividen en fluviográficas y meteorológicas.

Las estaciones fluviográficas se encargan de cuantificar la precipitación, en el mapa están representadas por el triángulo azul y están identificadas como Santa Lucía, Ecomuseo y La Marimba.

Por su parte, las meteorológicas miden y recopilan variables tales como la temperatura, brillo solar, humedad, evapotranspiración, etc. Se representan en el siguiente mapa por medio de un triángulo color rojo y se ubican por zonas, en la parte baja se encuentran las estaciones de CEMEX e Intendencia Colorado, en la parte media CTP Abangares y en la parte alta las estaciones de Campos de Oro y San Rafael.

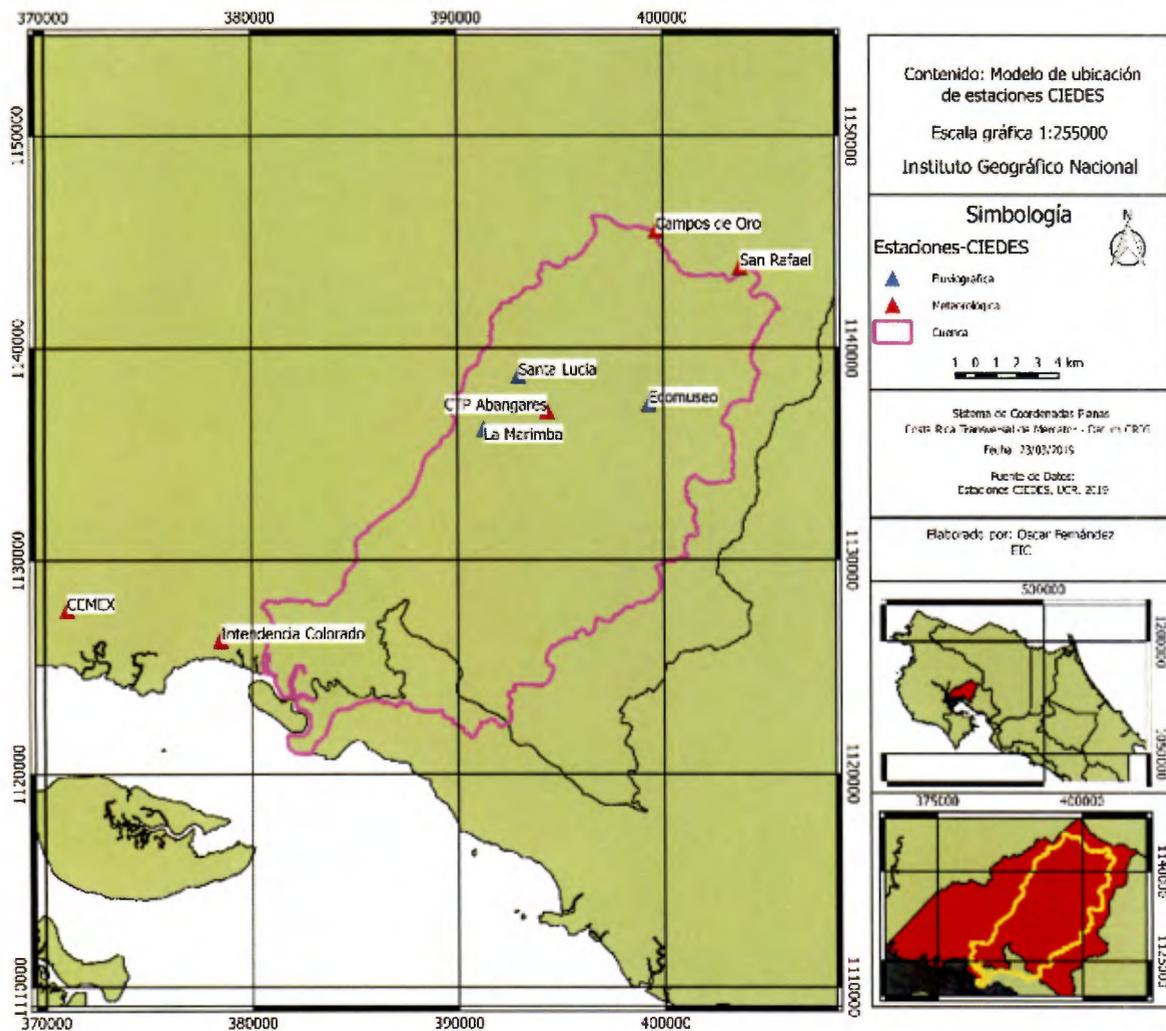


Figura 15. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas y pluviográficas
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

El Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES) de la Universidad de Costa Rica es una unidad de carácter multidisciplinario, dedicada a la investigación y estudio de la estructura, los procesos y los resultados de la interacción entre las sociedades y el medio ambiente en diferentes zonas de nuestro país, en conjunto con la Municipalidad de Abangares, son los encargados de dar mantenimiento a las estaciones, así como recopilar e interpretar los datos de las variables.

2.5.2 Temperatura

El cantón de Abangares se encuentra en una zona muy tropical, donde las estaciones seca y lluviosa son muy marcadas y las que influyen directamente en el aumento y disminución de la temperatura. A continuación, se presentan las descripciones gráficas de temperatura media, máxima y mínima anual de la zona.

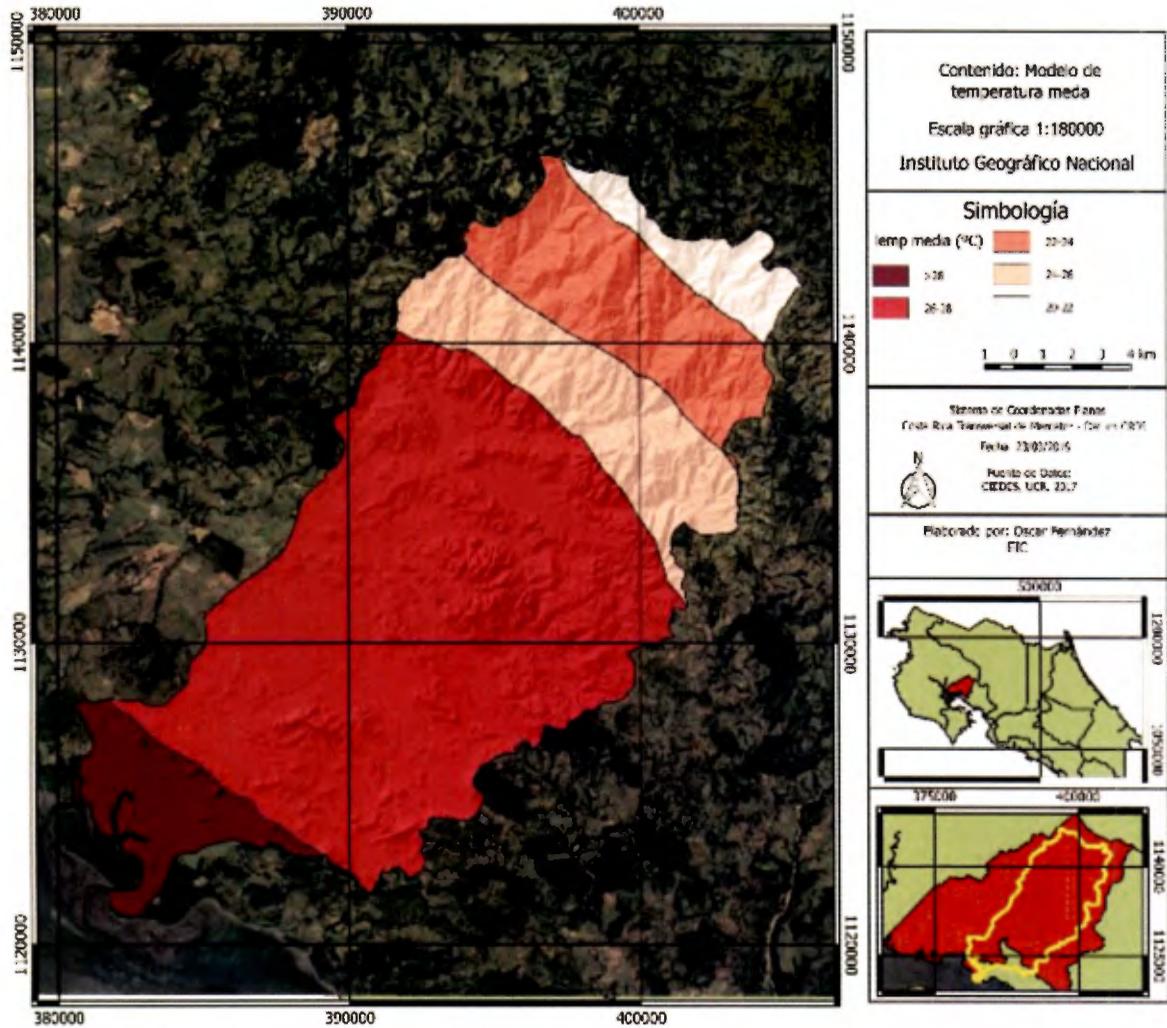


Figura 16. Mapa modelo de temperatura media de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

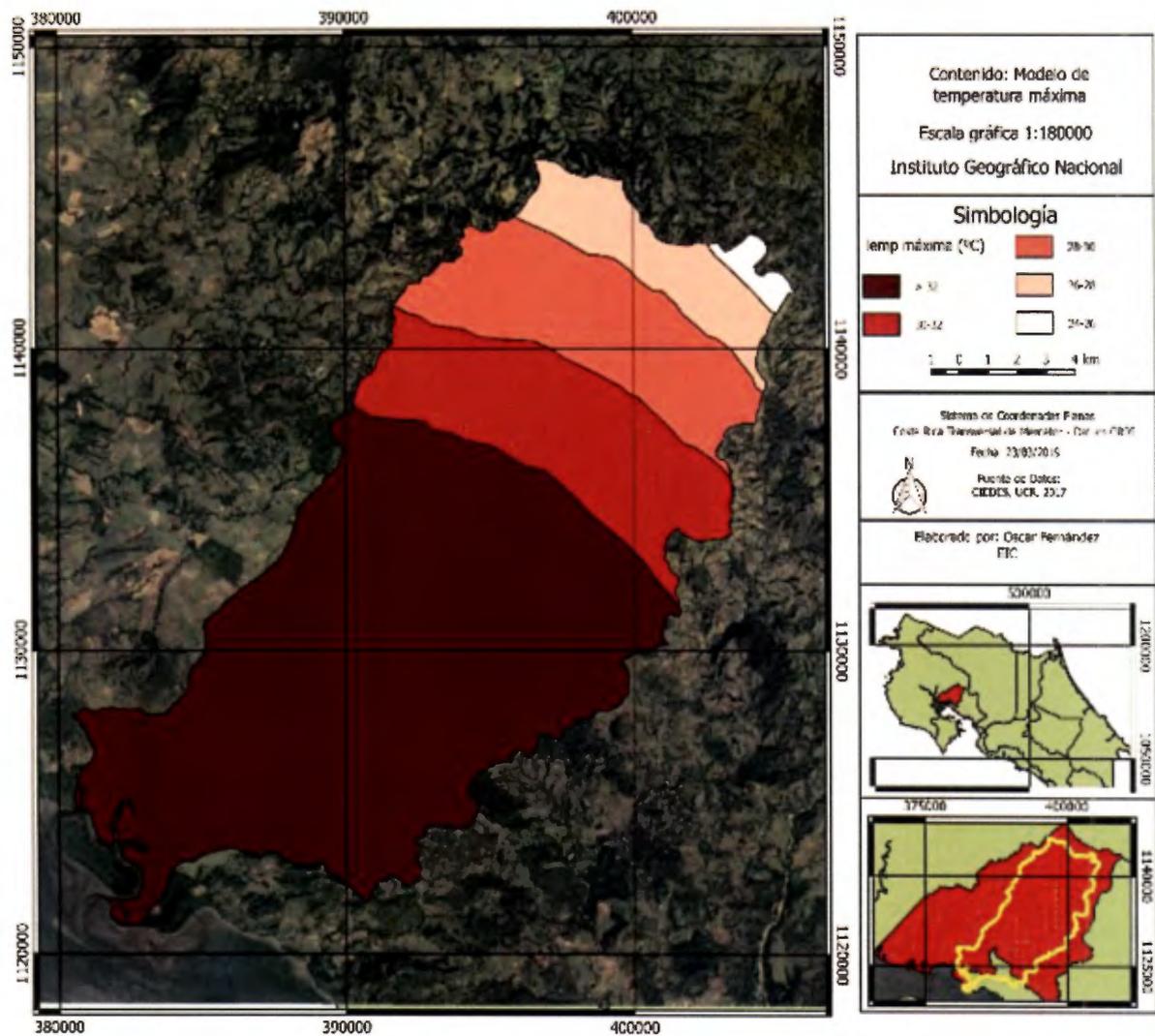


Figura 17. Mapa modelo de temperatura máxima de la cuenca del río Abangares
 Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

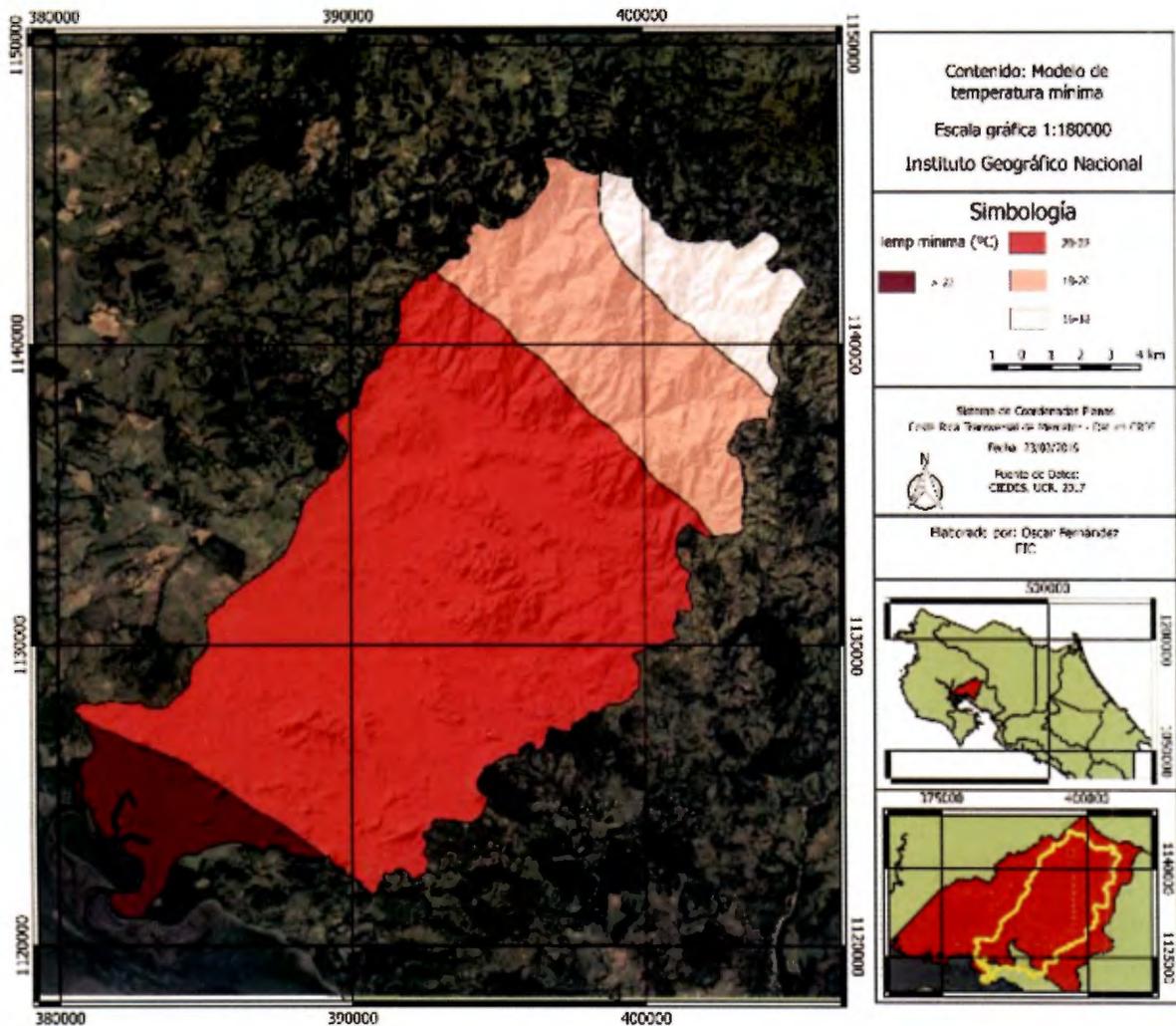


Figura 18. Mapa modelo de temperatura mínima de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

En las figuras anteriores, se pueden distinguir los diferentes intervalos de temperatura de la zona, siendo el color rojo oscuro el que representa las zonas más elevadas, hasta los colores más claros de rangos de bajas temperaturas. Cabe destacar que las temperaturas van disminuyendo conforme se aumenta la elevación en la zona, en las zonas costeras las temperaturas son muy elevadas alcanzando rangos mayores de 32 grados centígrados, mientras que en las regiones de mayor elevación ubicadas en el distrito de La Sierra las

temperaturas son mínimas alcanzando los 16 grados centígrados. Característica que influye de manera importante en el uso del suelo y las actividades socioeconómicas de cada sector, cabe mencionar, cambios en los tipos de cultivos, cambios en los tipos de ganadería a practicar y actividades turísticas.

2.5.3 Brillo Solar

El flujo de radiación recibido por la superficie terrestre es una de las variables más importantes de nuestro planeta. Depende principalmente de factores astronómicos como la traslación de la Tierra alrededor del Sol, la inclinación sobre su eje y la actividad solar, aunque también se ve afectada por factores locales tales como la cobertura nubosa o la absorción energética atmosférica. A la medición del tiempo en el cual un lugar ha recibido radiación directa se denomina heliofanía o brillo solar. La heliofanía efectiva es el período de tiempo durante el cual el lugar ha recibido radiación solar directa, sin ser bloqueada por factores atmosféricos u otros obstáculos.

La duración del brillo solar o heliofanía en horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de esa localidad. Este elemento meteorológico es importante en casi todas las formas de actividad y empresas humanas. Sectores como el agrícola, forestal, turismo, construcción, deportes y energía, dependen y planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades futuras sobre la perspectiva de disponer de suficientes horas de brillo solar durante el día.

El conocimiento adecuado del régimen de brillo solar permite, estimar características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país, así como la definición de actividades socioeconómicas basándose en que dicha disponibilidad de luz solar repercute en las características de la zona y la capacidad de los suelos.

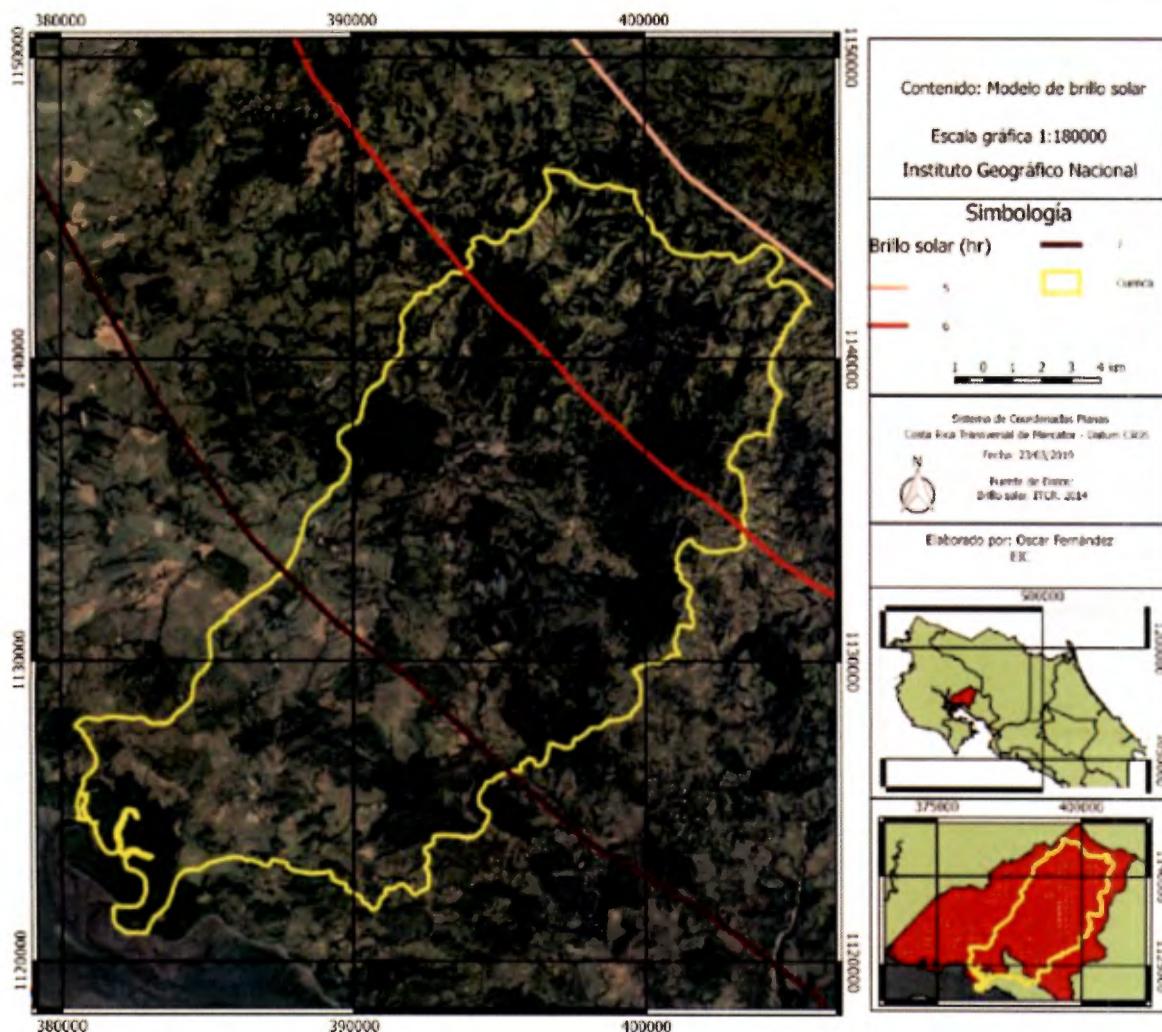


Figura 19. Mapa modelo de brillo solar de la cuenca del río Abangares
 Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

Del mapa de brillo solar de la delimitación de la cuenca del Río Abangares, se pueden distinguir de mejor manera las tres zonas descritas anteriormente, la parte Baja que abarca la totalidad del distrito de Colorado y que cuenta con un total de 7 horas de brillo solar por día, la parte media influenciada por un total de 6 horas de brillo solar, por último, la parte alta, que abarca la totalidad del distrito de La Sierra y que es la que se ve menos influenciada por radiación solar con apenas 5 horas de brillo solar por día.

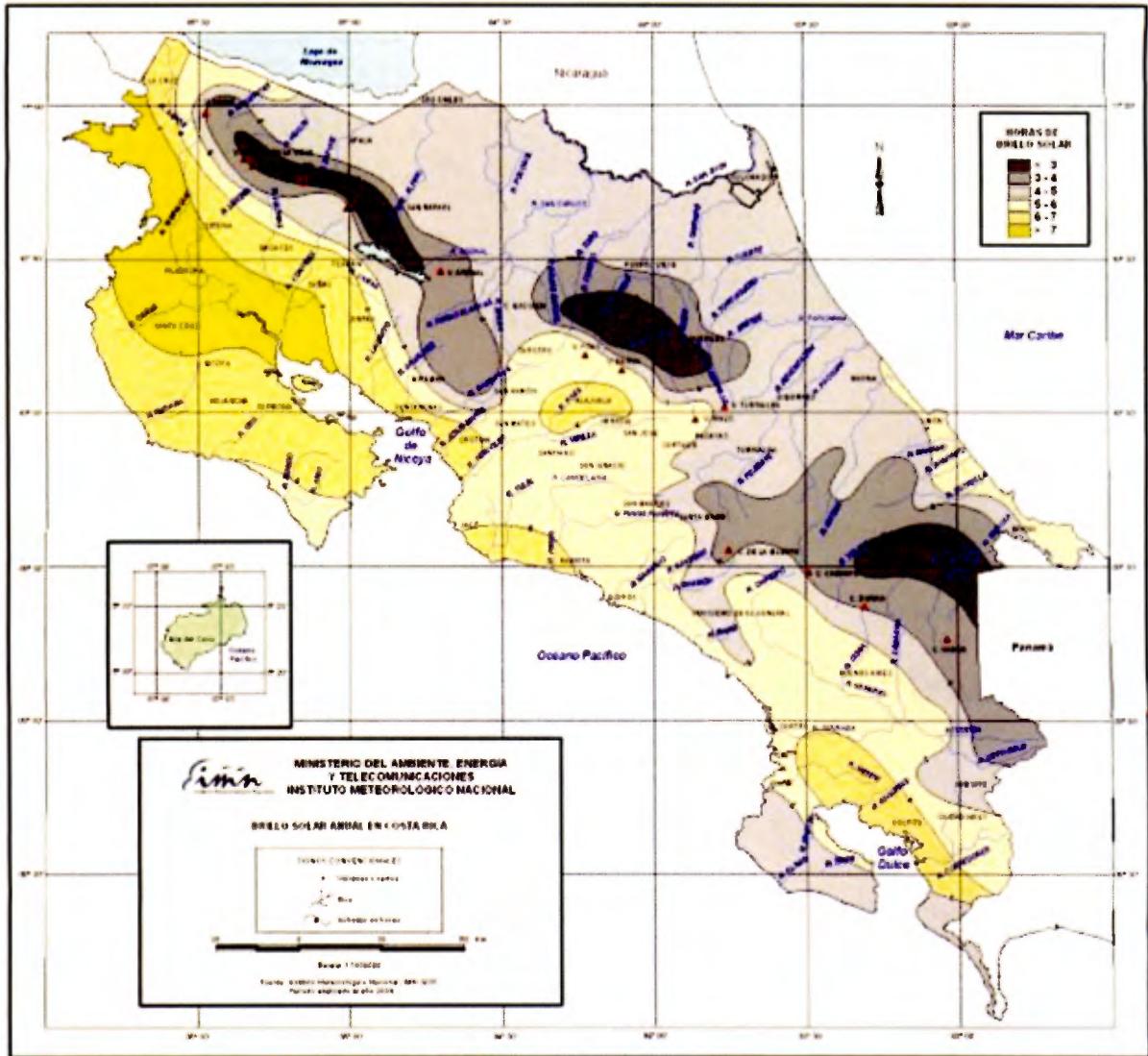


Figura 20. Horas promedio de brillo solar del país
Fuente: MINAE, 2015

2.5.4 Precipitación

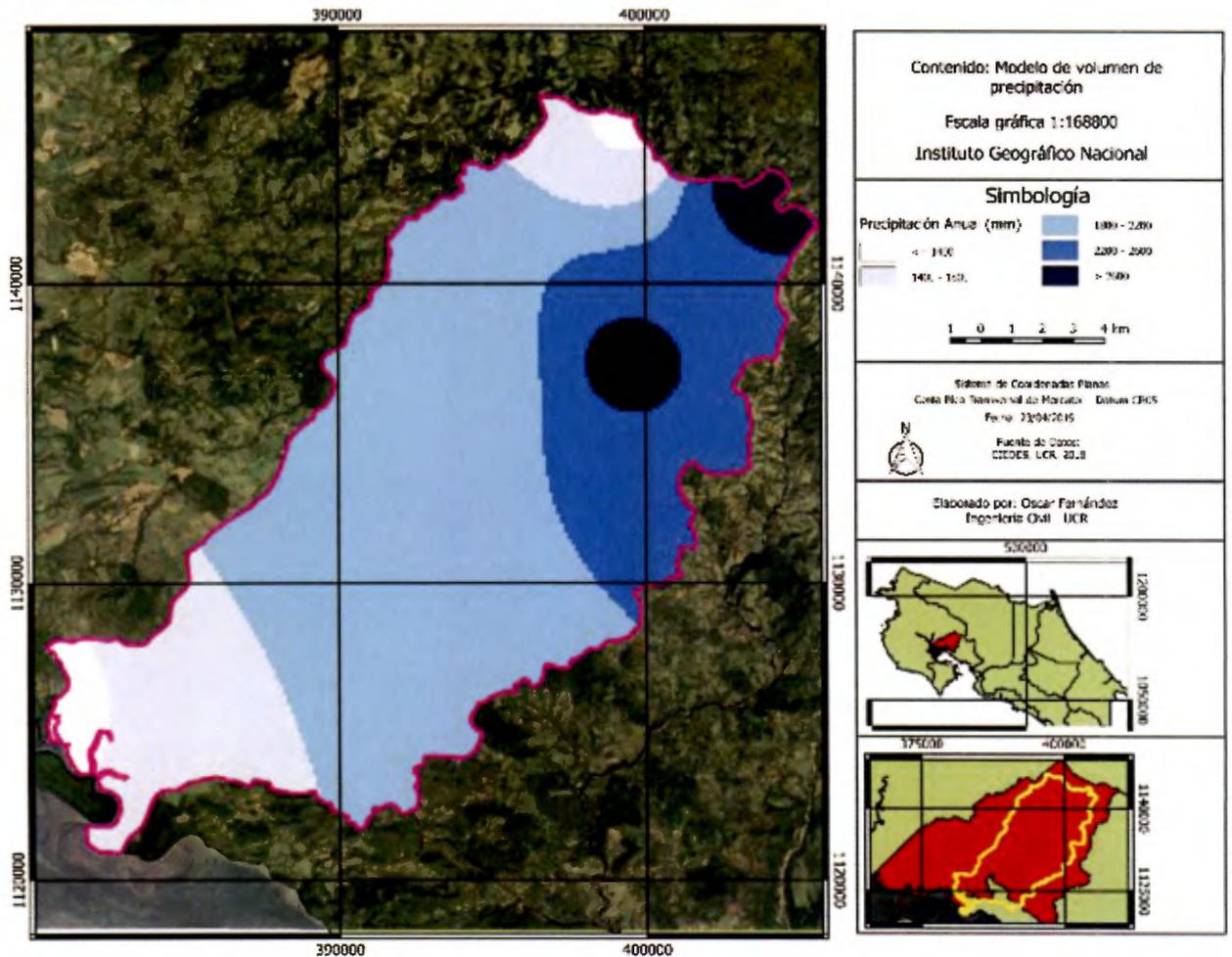


Figura 21. Mapa modelo de precipitación de la cuenca del río Abangares

Fuente: CIEDES, 2019

La zona presenta un comportamiento bimodal con dos máximos, uno entre mayo y junio y otro entre setiembre y octubre. Esto ocurre porque entre los dos máximos ocurre el "veranillo" que provoca que la precipitación disminuya durante dos semanas. La estación lluviosa suele iniciarse a mediados de mayo en las tierras altas y hasta junio en las zonas más bajas, finalizando hasta el mes de noviembre, el máximo de precipitación en un día es entre 75-100 mm. Por su parte, la estación seca se extiende desde el mes de diciembre hasta abril,

temporada donde ocurren los mayores problemas de disponibilidad del recurso hídrico. En julio y agosto las lluvias se caracterizan por ser esporádicas en lo que se denomina como Veranillo de San Juan.

El mapa modelo de precipitaciones se realizó con la información de precipitación de promedios anuales suministrada por el CIEDES, utilizando las estaciones fluviométricas ya establecidas en la zona. Como podemos observar en la figura anterior, se vuelven a identificar tres zonas bien marcadas al igual que en los mapas de temperatura. La parte baja se caracteriza por bajas precipitaciones, no mayores a 1600 mm, la parte media, que abarca en su mayoría al distrito de las Juntas, presenta precipitaciones anuales que alcanzan los 2000 mm. Por último, la parte alta se caracteriza por lluvias prolongadas siempre mayores a los 2600 mm y que pueden alcanzar valores máximos de hasta 4000 mm anuales. Cabe destacar, que existe un foco localizado de precipitaciones altas en el límite entre el distrito de San Juan y la Sierra, que coincide con una zona de cañones y terrenos escarpados con pendientes mayores al 64% e identificado como bosque tropical húmedo.

3. ANÁLISIS DE USO DEL SUELO

La diferencia de altitudes favorece la presencia de una diversidad de climas y condiciones que han provocado diferentes usos de suelo, hoy día se identifican zonas dedicadas a actividades agrícolas, pecuarias, áreas forestales, bosque secundario y en las zonas costeras se encuentran algunas áreas de manglar.

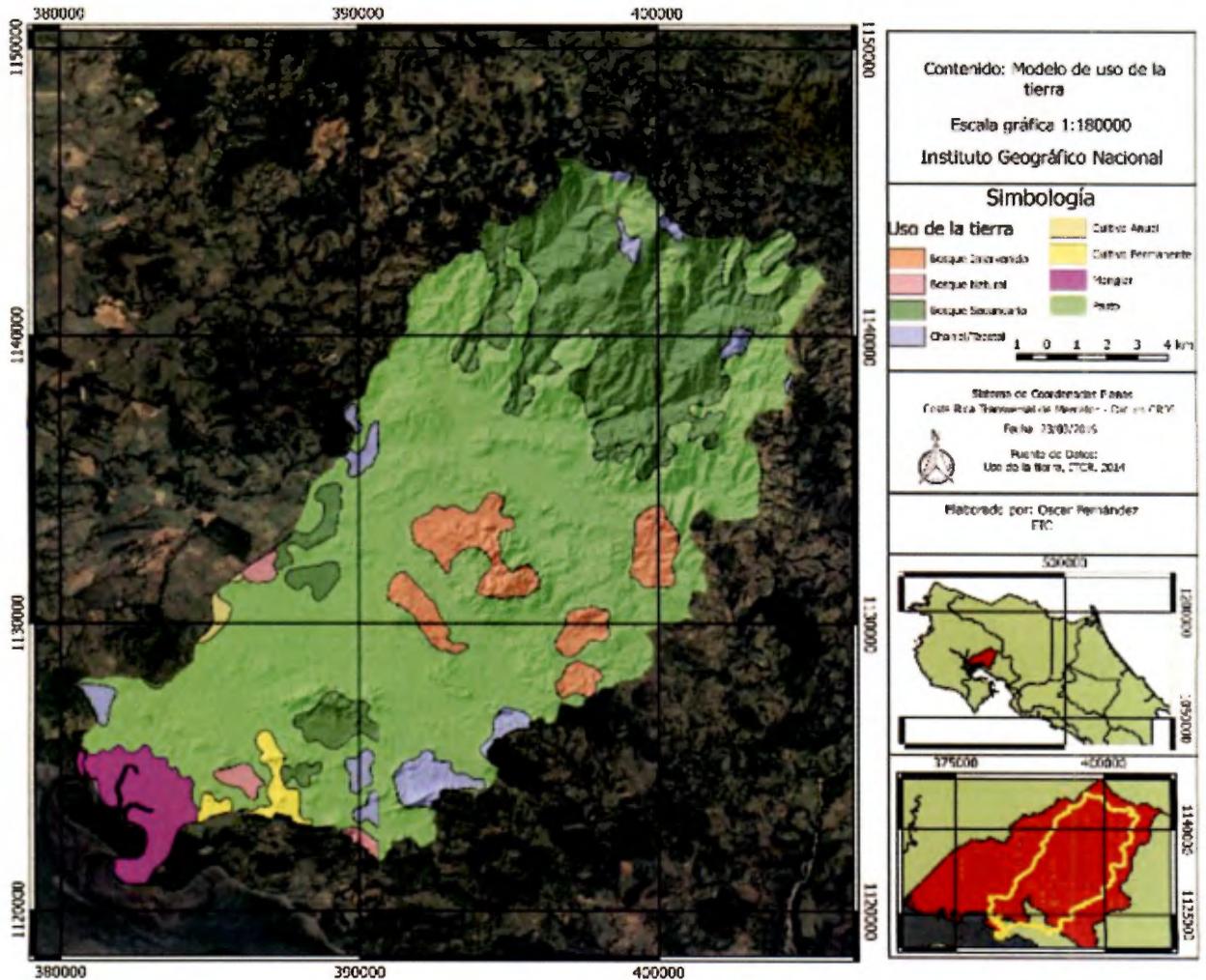


Figura 22. Mapa modelo de uso de la tierra de la cuenca del río Abangares
Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2019

3.1 Usos del suelo

En la figura anterior se describen los diferentes y predominantes usos de suelo de la cuenca, distinguiéndose entre ellos el uso agropecuario con limitaciones leves y moderadas, cultivos permanentes y anuales, protección forestal, manejo del bosque secundario y pastizales, siendo esta última actividad la que mayor área cubre. Por otra parte, existen más usos del suelo en la zona que no son tan sobresalientes ni abarcan áreas de gran consideración.

3.1.1 Uso comercial

Las zonas comerciales se encuentran principalmente en los centros de población más importantes del cantón que son: Las Juntas, Colorado, Sierra, San Juan Grande y Limonal. En este uso se incluyen los servicios públicos ya que conforme crece la población aumentan los servicios.

3.1.2 Uso residencial

Aproximadamente un 0,4% de la superficie se encuentra en uso residencial y corresponden a los núcleos urbanos de Juntas y Colorado (Plan Regulador de Abangares, 2011).

3.1.3 Uso industrial

Ocupa un área menor al 1% y se distribuye a lo largo de la carretera interamericana, en donde se encuentran fábricas de materiales de construcción.

3.1.4 Áreas de extracción

Son las áreas en donde se encuentran los tajos, que se utilizan para extraer material para construcción. Se encuentran alrededor de 40 tajos en el cantón.

3.1.5 Áreas verdes, deportivas y culturales

Esta categoría está constituida por parques, iglesias, salones comunales, gimnasios, estadios, entre otros. Generalmente se encuentran localizados en los núcleos urbanos.

3.1.6 Áreas institucionales y comunales

Se encuentran en los centros urbanos y corresponden a las escuelas, EBAIS, clínicas, cementerios, entre otros.

3.1.7 Usos agropecuarios

El uso pastos presenta la mayor extensión en la zona y corresponde a la ganadería de carne y leche. Uso de cultivos anuales y permanentes, principalmente producción agrícola de arroz y caña.

3.1.8 Uso forestal

Ocupa una gran área de la zona, está constituido generalmente por bosque tropical húmedo de tipo secundario y en algunos casos ha sido intervenido para actividades del sector primario (Plan Regulador de Abangares, 2011).

3.1.9 Sin uso definido

Son espacios en donde el levantamiento del uso no presenta ningún uso definido. Generalmente son fincas en donde se producen cultivos como arroz, caña de azúcar o se practica la ganadería.

3.2 Uso del suelo según Plan Regulador de Abangares 2011 (no vigente)

La propuesta del Plan Regulador del cantón de Abangares del 2011, realiza una categorización de los suelos de acuerdo a su uso y su cobertura y los describe de la siguiente forma:

3.2.1 Bosque denso

Consiste en un bosque compuesto más bien por una segunda o tercera generación de árboles, de al menos tres décadas de antigüedad, que, si bien no es por ello lo que usualmente se denomina "bosque primario", está en proceso de consolidación como comunidad vegetal. Pueden observarse algunas copas que sobresalen del resto, notoriamente, en donde se localizan algunas de las divisorias de aguas. Estas parecen –las que se observan a la distancia con mayor facilidad- vestigios de lo que habría sido un bosque primario, como tal. Así, se ha definido el "Bosque denso" como una categoría de uso en la cual la penetración ha sido nula, o ya sea, se ha presentado de forma tan tenue que no ha producido transformaciones de importancia en el ámbito espacial de utilización de la tierra.

3.2.2 Bosque abierto

Las zonas boscosas más accesibles, y más aún, no incluidas dentro de las áreas de conservación, fueron fácilmente explotadas para la extracción maderera, es por ello que, en general, es el tipo de bosque que ha prevalecido, y muy poco se ha dejado bajo bosque

intervenido. El bosque abierto consiste, precisamente, en manchas de bosque, ubicadas en la periferia de las manchas de bosque denso, que han sido intervenidas al punto de observarse claros en su interior, en los cuales se localizan pequeñas áreas de pastos o charrales.

3.2.3 Bosque ribereño

En aquellos puntos donde se ha extraído el bosque, y se está dando un aprovechamiento agropecuario de la tierra, es común que se pueda encontrar un bosque de ribera, compuesto por especies naturales sobrevivientes y otras especies, ubicado en el límite de algunos potreros con las quebradas y ríos. No obstante, aún estas arraladas asociaciones boscosas han sido extraídas, especialmente donde el pastoreo es el principal uso de la tierra.

3.2.4 Reforestación

En realidad, agroforestería, han sido plantadas áreas dedicadas a la reforestación con árboles del tipo teca, melina y pochote, especialmente al norte de playa Carrillo.

3.2.5 Pasto con árboles dispersos

Esta es una cobertura importante, en cuanto a extensión. Se trata de un aprovechamiento de la tierra compuesto por pastos y algunos árboles que se dejaron para proveer sombra al ganado, pero usualmente son bastante escasos en los potreros que continúan bajo un uso intensivo. Hay otros que aparentemente no se utilizan tanto, pero aún la vegetación natural no se ha apoderado de ellos, por lo que evidentemente siguen siendo utilizados. A pesar de que el pasto es también un cultivo, se le ha dado una categoría aparte, debido a la extensión que ocupa y a la función que ejerce, en términos de cobertura del suelo.

3.2.6 Cultivos

Cubren en medio extensa, en las tierras de bajura y en algunas de media ladera. Se trata de cultivos anuales, como la caña, el maíz, los ornamentales; estacionales y permanentes: plantaciones de frutales, especialmente mango, marañón. Si bien no pueden definirse como usos de la tierra propiamente, se definen tres tipos de cobertura, ya sea, por el área que ocupan, o por representar algún aspecto importante con relación a la dinámica espacial de la región, y por ello se ha decidido incluirlas. Tales son:

3.2.7 Sustrato Herbáceo

Aunque no se trata de un uso de la tierra, propiamente tal, sino más bien de una cobertura en la que el ser humano no ha intervenido, se ha clasificado una mancha de hierbas.

3.2.8 Suelo Desnudo

Hay pequeñas áreas donde de forma natural el bosque presenta cambios, originados sobre pendiente pronunciadas, donde la saturación de los suelos por el agua de lluvia y el peso y antigüedad de algunos árboles, provocan su caída, en lo que puede definirse como parte de la regeneración natural del ciclo de los bosques (Plan Regulador Abangares, 2011).

Cabe resaltar que en este territorio se encuentra la zona protectora Cuenca del río Abangares, la reserva pública Cerro Gordo y los corredores biológicos Pájaro Campana y parte de la Fila Zapotal. Adicionalmente se desarrollan los asentamientos campesinos Lajas (1160 hectáreas) y Rodolfo Downing (200 hectáreas), los cuales son áreas destinadas a la implementación de actividades agropecuarias (Instituto de Desarrollo Rural, 2015).

En la implementación de actividades agrícolas intervienen una diversidad de factores tales como: suelo, elevaciones, temperatura, precipitación, horas luz, vientos, humedad, entre otros, condiciones que en su conjunto inciden directamente en el desarrollo y rendimientos óptimos de los cultivos. De ahí la importancia de disponer de una caracterización general de las condiciones agroecológicas presentes en el cantón de Abangares, de manera que se pueda identificar si éstas son propicias para la implementación de los cultivos en evaluación.

Históricamente la economía de esta zona dependía mayoritariamente de la explotación minera, de la cual existen registros desde 1884 con el descubrimiento de los primeros yacimientos por parte del señor Rafael Acosta, actividad que posteriormente se desarrolló industrialmente en el siglo XX por parte de la empresa Abangares Gold Field of Costa Rica, fundada por Minor C. Keith (UNCADA, Estrategia Desarrollo Económico Local 2010).

Actualmente además de la minería se desarrollan otras actividades económicas tales como la siembra de granos básicos, café, forrajes, caña de azúcar, frutas, producción de camarones y hortalizas entre otros. Respecto a esta última actividad y según datos suministrados por las

oficinas locales del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), para el periodo 2016 se estima para el cantón de Abangares un total de 68 productores dedicados a labores hortícolas.

Cuadro 5. Principales actividades económicas por distrito

Abangares	Actividad principal
Las Juntas	Comercio, servicios, ganadería, minería artesanal
San Juan	Ganadería, granos básicos, comercio
La Sierra	Ganadería, café, hortalizas, turismo rural
Colorado	Ganadería, cemento, salinas, pesca artesanal, cultivo camarones, piedra caliza, tajos, granos básicos, caña azúcar.

Fuente: Estrategia Desarrollo Económico Local Abangares, 2010

Cuadro 6. Cantidad de personas dedicadas por actividad por distrito

Actividad	Abangares	Las Juntas	La Sierra	Colorado
Agropecuario	1449	459	421	332
Minas y canteras	375	149	22	83
Industrias manufactureras	746	318	25	272
Suministros de electricidad, gas y agua	88	31	1	6
Construcción	304	141	17	101
Comercio	911	371	40	74
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	241	129	24	20
Hoteles y restaurantes	441	371	30	40
Financieras y de seguros	159	141	12	6
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	45	27	3	15
Administración pública	230	39	6	26
Enseñanza	352	162	20	42
Servicios sociales y salud	199	87	2	15
Otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales	103	46	22	20
Hogares privados con servicio doméstico	215	100	12	25

Fuente: PDRT Abangares 2016-2021.

Para realizar un análisis más exhaustivo del uso del suelo se dividirá la cuenca en tres grandes sectores, parte alta, parte media y parte baja, considerando que estas tres zonas tienen características geológicas y climatológicas diferentes entre sí. La parte alta yace desde el punto más alto del distrito de La Sierra hasta la confluencia del río Aguas Claras con el Río Gongolona, la parte media va desde el punto antes mencionado hasta el paso de la carretera nacional Ruta 1 Autopista General Cañas, por último, la parte baja comprende todo el territorio desde el cruce de la Ruta 1 hasta el punto más bajo del distrito de Colorado, en la desembocadura del río Abangares en el Golfo de Nicoya.



Figura 23. Confluencia río Gongolona y Aguas Claras, división entre parte alta y parte media
Fuente: Fernández, 2019



Figura 24. Ruta Nacional 1, división entre la parte media y la parte baja
Fuente: Fernández, 2019

3.3 Parte alta de la cuenca

La parte alta de lo que delimitamos como cuenca del río Abangares, se dedica principalmente a la agricultura, sus bajas temperaturas de hasta 16 grados, sus altos niveles de precipitación de hasta 4000 mm y la presencia de suelos alfisoles y ultisoles con alta fertilidad en la mayor parte de la zona, propician el desarrollo de esta actividad en muy buenas condiciones.

El principal cultivo que se trabaja en la parte alta es el café, según investigaciones y censos realizados por sede Regional del Ministerio de Agricultura y Ganadería del cantón de Abangares, se estima una extensión de 350 ha divididas en 165 fincas, en las cuales, 164 hombres y 74 mujeres se dedican a esta actividad. Con el desarrollo de dicha actividad a través de los años surge la cooperativa cafetera Coope El Dos, gracias al emprendimiento de sus socios fundadores hoy en día tienen sus propias marcas, procesos y clases de café. Por otra parte, existen 28 productores de café orgánico que ocupan una extensión aproximada de 30 ha (Municipalidad de Abangares, 2019).

Además del café, uno de los cultivos con mayor auge y extensión es el frijol, se dedican aproximadamente 90 ha a este cultivo, sin embargo, se trabaja con una productividad muy baja y falta de tecnología.

Alexander Hernández, en su proyecto de graduación llamado "Identificación del potencial de comercialización de productos hortícolas producidos en la parte alta del cantón de Abangares, provincia de Guanacaste, Costa Rica", realiza una serie de encuestas a los pequeños agricultores de la parte alta de la cuenca, con el fin de identificar los cultivos presentes y sus procesos. Como se ilustra en el siguiente gráfico, el 60% de los encuestados producen dos de las hortalizas en análisis, las cuales regularmente combinan con otros productos tales como: café, chamol, chile picante, chile dulce, ayote y plátanos entre otros.

■ 1 producto ■ 2 productos ■ 3 productos ■ 4 productos ■ 5 productos

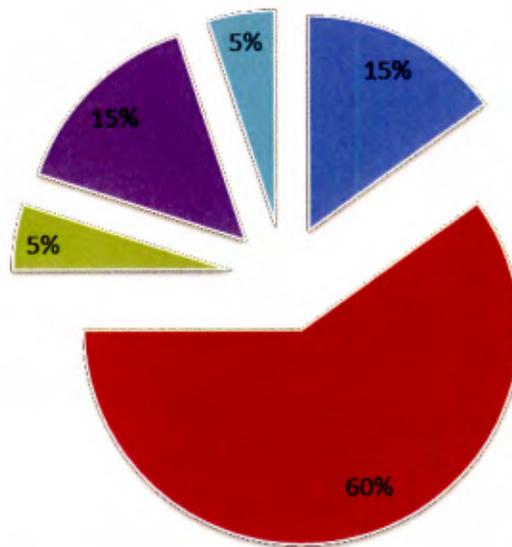


Figura 25. Variedad de cultivos en análisis por finca
Fuente: Hernández, 2016

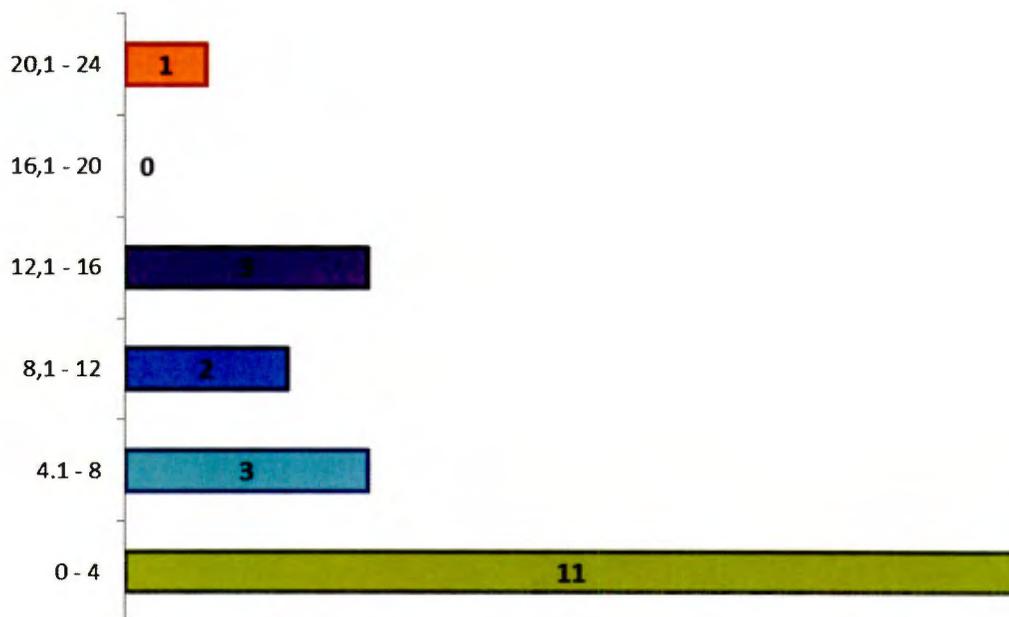


Figura 26. Cantidad de fincas por rango de extensión en hectáreas
Fuente: Hernández, 2016.

Del gráfico anterior podemos observar que la mayor cantidad de propiedades se ubican en el rango que va entre cero a cuatro hectáreas, las bajas extensiones se deben a que son las pequeñas familias de lugareños las que trabajan dichas propiedades, por otra parte, cabe mencionar que son éstas las que proporcionalmente dedican más espacio para el cultivo de hortalizas, lo cual se debe a que las propiedades con mayores extensiones desarrollan paralelamente actividades agropecuarias, o bien mantienen otro tipo de cultivos que necesitan mayor extensión como ciertas frutas.

Un aspecto adicional a considerar es el potencial de crecimiento que tiene la zona, el cual es valorado a través del área disponible para la siembra, donde se identificó que el grupo en estudio con anuencia a incrementar la producción, dispone actualmente de un área de 127,6 hectáreas, de las cuales se estima que únicamente 26,7 hectáreas se encuentran dedicadas al cultivo de hortalizas, lo que revela el potencial que existe en la zona para incrementar las zonas de cultivo.

Actualmente los productores identificados en las comunidades de Campos de Oro y la Cruz de Abangares, colocan sus productos principalmente en los mercados locales conformados por consumidores finales (puerta a puerta) e intermediarios de la zona, otra parte se destina para el autoconsumo y una menor proporción es vendida en mercados provinciales y nacionales, empleando en ambos casos la figura del intermediario.

La ganadería lechera también es una de las actividades económicas influyentes de la parte alta, gracias al clima lluvioso y basta vegetación de la zona. Según información de la Municipalidad de Abangares, los productores de leche entregan su producto a los camiones de la empresa Dos Pinos que pasan periódicamente, así como a la Planta ubicada en Monteverde.

Dejando de lado el tema de la agricultura y ganadería, la parte alta del cantón está caracterizada por aprovechar la protección al medio ambiente que se dio en el pasado, para explotarla como atractivo turístico (Reserva de Monteverde, Santa Elena). El auge del turismo en los últimos años en todo el país también ha influido en la zona de Las Juntas. En el turismo se ve la oportunidad de desarrollo del cantón, por medio de la generación de empleo y obteniendo mayores recursos para poder ser utilizados en las necesidades del pueblo.

Las condiciones de la zona alta son óptimas para desarrollar este tipo de actividad, debido a la topografía, la belleza escénica, con paisajes siempre verdes debido a las condiciones climáticas presentes y toda la infraestructura que dejó la explotación de oro en el lugar en épocas pasadas. Además, la cercanía que se tiene con la Reserva Biológica Monteverde, sirve como un lugar de paso para los visitantes que se dirigen a esa reserva.

Uno de los puntos más importantes de la zona es el Ecomuseo, el cual presenta una reseña de lo que fue la explotación de la minería en la zona, a partir de dicho sitio se espera promover el turismo. Algunas de las actividades a desarrollar para promover la actividad turística en el Ecomuseo son las siguientes:

- Construcción de Canopy: Actualmente ya están construidos cinco canopy, gracias al aporte económico otorgado por el Ministerio de Turismo.
- Reconstrucción del ferrocarril, para ofrecer tours a turistas sobre la ruta minera antigua.

- Habilitación de los túneles que conducen a las cataratas del río Boston.
- Habilitación de la estructura de los mazos, para ofrecer a los turistas la forma de procesar el oro en el tiempo de antes.
- Construcción de ranchos y cabinas para ofrecer albergues a los turistas.
- Construcción de nuevos centros de hospedaje y de explotación de las aguas termales.
- Promoción de actividades como el senderismo y cabalgatas.

El área de recarga del Río Aguas Claras, la cual es una de las principales subcuencas de la zona y fuentes de abastecimiento del recurso hídrico, se caracteriza porque sus terrenos poseen un porcentaje mediano en cuanto a cobertura forestal intervenida, una cobertura forestal intervenida se refiere a que el uso del suelo, donde existía bosque, está asociada con zonas o terrenos dedicados a pastos para la ganadería lechera o para actividades agropecuarias. Los terrenos utilizados por la ganadería en las partes altas de la subcuenca poseen un grado muy avanzado de compactación, no así los terrenos que se usan para la agricultura y las laderas al lado de los caminos y del cauce del río

3.4 Parte media de la cuenca

La presencia de bastos pastizales en la zona hace que la ganadería se la principal actividad económica de la parte media de la cuenca. En el distrito de Las Juntas se dedicaron alrededor de 300 ha a la cría de caballos finos para la venta y se explotaron aproximadamente 2000 toros para carne y 10000 cerdos. A partir de la década del 80 la ganadería ha venido en disminución por lo que las familias que se dedican a la ganadería se han visto afectadas. Como consecuencia, se redujo la superficie de pastos liberando áreas para la regeneración de bosques, con un efecto importante desde el punto de vista de preservación del medio ambiente y conservación de los suelos.

En la sección media del cantón predominan los pastos con algunas manchas de cobertura de bosque natural, secundario, intervenido y cultivos anuales asociado con los emplazamientos de mayor población y las actividades que desarrollan dentro de la cuenca como lo son Las Juntas, Limonal, Mata Palo, Congo, Zapote, Concepción y San Juan entre otras. Es importante

mencionar que la mancha de bosque natural que sobresale corresponde a parte del Refugio Nacional de Vida Silvestre La Ensenada con un área de 491,72 hectáreas. Por último, sobre la sección alta predomina el bosque secundario ubicado en su mayoría sobre el área del Ecomuseo de las Minas de Abangares y alrededores. Para el año 2002 Abangares registraba como principales actividades labores agropecuarias, producción de caña de azúcar, cítricos, sorgo, arroz, fríjol, maíz, café y ganadería. Por otro lado, el norte de Abangares es una zona de mineralización aurífera con sulfuros de hierro, zinc y cobre que corresponden al distrito minero de Abangares, minas de explotación de oro correspondiente al 42 % de la región. Al oeste se encuentra el proyecto de riego de la cuenca baja del Tempisque correspondiente a un 31% de la zona (Plan Regulador Abangares, 2011).

El distrito de las Juntas además de ser la cabecera del cantón de Abangares, es el principal foco de población, al albergar más del 50% de la población de todo el cantón, razón por la cual se empezó a desarrollar residencial y comercialmente en la última década, las viviendas están en aumento, infraestructura gubernamental como municipalidades, centro de educación, centros de salud, ministerios y asociaciones, también infraestructura para el turismo como sodas, restaurantes, bares, tiendas, lugares para alojamiento, entre otros. Entre los principales comercios de la zona se encuentran los supermercados Bolpa y Megasuper, Materiales Abangares, Auto Ranger, la Planta Industrial Limonal, la Planta Empacadora de Pulpas y Camarón y el Banco Nacional de Costa Rica.



Figura 27. Desarrollo comercial de la zona, costado de Supermercado Bolpa
Fuente: Fernández, 2019

El distrito de las Juntas es considerado una ciudad dormitorio, tanto para los turistas que visitan la zona de Monteverde, donde en ciertas épocas del año se encuentra saturada en lo que a alojamiento se refiere, como para los trabajadores y camioneros que realizan grandes trayectos desde el Gran Área Metropolitana hasta distintos destinos en Guanacaste.

Al noreste de la región se localiza la reserva forestal Arenal, la cual cubre un 2 % de la superficie cantonal. Respecto a los recursos minerales, al norte de Abangares se ubica una zona de mineralización aurífera, con sulfuros de hierro, zinc y cobre. Constituye un 42% de la *región*, la cual corresponde al Distrito Minero Abangares, con más minas de explotación de oro. Posteriormente el desarrollo de esta actividad hizo que el cantón de Abangares tuviera un auge económico.

La formación del Aguacate se caracteriza por poseer un potencial alto en cuanto a vetas de oro, las cuales se explotan en zonas aledañas de otras subcuencas, como, por ejemplo: la Subcuenca del Río Gongolona, la cual soporta una actividad intensa en cuanto a explotación de vetas de oro, actividad en la cual utilizan determinadas cantidades de cianuro y mercurio en el proceso de obtención de dicho mineral precioso.

La importancia que ha tenido la actividad minera en la zona se nota en muchos de los rasgos presentes en la infraestructura de la ciudad de Las Juntas y en los alrededores, por lo tanto, no se puede despreciar el impacto que este tipo de actividad produce en los recursos naturales.

Los mineros y artesanos presentan altos niveles de vulnerabilidad social y económica ya que generalmente viven en la parte alta de los distritos de San Juan y la Sierra bajo condiciones muy pobres donde carecen de servicios básicos de agua potable y electricidad. Extraen oro con técnicas de minería artesanal, trabajan en malas condiciones, a niveles de temperatura y humedad bajos, y se encuentran constantemente expuestos a químicos que afectan directamente en su salud (Municipalidad de Abangares, 2011).

3.5 Parte baja de la cuenca

El cantón de Abangares ha tenido un desarrollo comercial en diversas áreas de la economía e industria. Los inicios del cantón están marcados por la actividad minera que tuvo gran influencia en la consolidación del poblado de La Sierra y Boston. Después se fue ampliando hacia las partes más bajas, hasta que la minería llegara a ser la principal fuente de trabajo en los habitantes del cantón.

Al decaer la actividad de la minería, provocó el desarrollo de otros trabajos como la ganadería y las labores agrícolas como. arroz y sorgo en la zona baja del cantón. La parte alta del cantón tuvo su desarrollo económico a causa de la llegada de las familias "Cuaqueras" procedentes de los Estados Unidos que dedicaron su tiempo a la explotación agrícola y protección de la región.

En la parte baja de la cuenca se encuentran empresas industriales como CEMEX, que se enfoca en la explotación de caliza para la producción, distribución, comercialización y venta de

cemento y brinda trabajo a más de 100 personas y subcontrata personal adicional. También existen dos tajos de explotación de materiales, San Buena y ASOTRACAL. Se encuentra también Pinturas SUR que produce pintura, recubrimiento, pegamento entre otros y es una fuente de empleo para los habitantes de Colorado. La industria Dos Pinos produce lácteos, jugos y refrescos, posee un centro de acopio de leche en Limonal. La empresa CONAPROSAL procesa y comercializa sal, fruta fresca como mango, papaya, piña y dedican 300 ha a la producción de camarones, se encuentra ubicada también en Limonal. Por último, se encuentra la empresa Ferry Tempisque S.A. que además de brindar sus servicios de transporte de personas y mercancías también da empleo a gente de la zona.

En el distrito de Colorado se está sustituyendo la producción de arroz por la de caña de azúcar y ganadería ya que la época seca se alarga casi todo el año y limita la producción de arroz. Así como próximo al litoral del Golfo de Nicoya, se sitúan áreas de explotación salinera y una refinadora de sal; también la industria de Cementos del Pacífico, junto con su muelle para la exportación del producto. Al oeste de la región se encuentra parcialmente el Proyecto de Riego de la Cuenca Baja del Río Tempisque, que cubre un 31% del área cantonal.

Presenta coberturas de manglares asociados a pastizales y bosque secundario mostrando una contrariedad con respecto al uso al cual debería estar sometida dicha sección. Domina la cobertura de pastos lo cual nos conlleva a situar un espacio que favorece y acelera el proceso de erosión hídrica, ya que se identifica un uso extensivo de actividad ganadera, sin embargo, la densidad de animales observada es bastante baja. Las plantaciones de sandía, observadas en la parte baja, nos plantean una actividad que tiene una alta demanda del recurso hídrico; frente a lo cual es fundamental hacer la consideración de ser esta una actividad que representa la principal actividad laboral en la comunidad.

3.6 Uso del suelo poblacional, residencial y urbanístico

El mayor uso que el ser humano le da al suelo es como hábitat natural, utilizado para la construcción de sus viviendas, así como para sus actividades de desarrollo, la población del cantón de Abangares ha venido en crecimiento y se proyecta que va crecer más. Esto produce

que las actividades socioeconómicas también vayan en aumento, así como la construcción de caminos y accesos y la presencia de nuevas instituciones estatales y privadas.

Cuadro 7. Proyección de la población al 2025 para el cantón de Abangares

Distrito	Población		% Aumento
	Censo 2011	Proyección 2025	
Las Juntas	9 621	10 602	10,2
Sierra	2 525	2 895	14,7
San Juan	1 662	1 897	14,1
Colorado	4 704	5 257	11,8
Total	18 512	20 651	11,6

Fuente: INEC, s.f.

Cuadro 8. Densidad bruta de población del cantón de Abangares por distrito

Distrito	Población (hab)	Área (km ²)	Densidad (hab/km ²)
Las Juntas	9 482	229,4	41,3
Sierra	2 351	141,5	16,6
San Juan	1 585	109,2	14,5
Colorado	4 621	195,8	23,6

Fuente: INEC, s.f.

El distrito con mayor densidad de población es Las Juntas, esto se debe a que esta zona presenta mayores facilidades con respecto al transporte, carreteras y servicios públicos. San Juan y la Sierra poseen baja densidad ya que el establecimiento de centros urbanos en estos sitios se ve directamente afectado por las condiciones topográficas de la zona.

Cuadro 9. Cantidad y estado de las viviendas por distrito

Distritos	Total de viviendas individuales ocupadas	Estado		
		Malo	Regular	Bueno
Las Juntas	2 815	343	999	1473
Sierra	715	46	302	367
San Juan	500	46	199	245
Colorado	1 281	185	544	552

Fuente: PDRT Abangares – Cañas – Tilarán, 2016, Modificado por Fernández

En lo que respecta al tema de accesibilidad, según datos suministrados por la municipalidad de Abangares, el cantón dispone de una amplia red vial, conformada por un total de 400 kilómetros de caminos, distinguiéndose entre ellos, ruta nacional, cantonal, distrital y vecinal, estos últimos disponen de una mayor cobertura, con más del 90% del total de la infraestructura. En cuanto a las vías nacionales el territorio es atravesado por la ruta nacional 1, carretera Interamericana Norte, con una extensión total de 40 kilómetros de recorrido, iniciando en el río Lagarto y concluyendo en el río Lajas.

Adicionalmente se dispone de una carretera en perfecto estado que conduce al distrito de Colorado, la cual se encuentra construida en cemento y tiene una longitud total de 28 kilómetros. En la siguiente figura se observa la distribución vial del territorio conformada por rutas nacionales, cantonales, distritales y vecinales, de donde se concluye que existen vías de acceso en prácticamente todo el cantón.

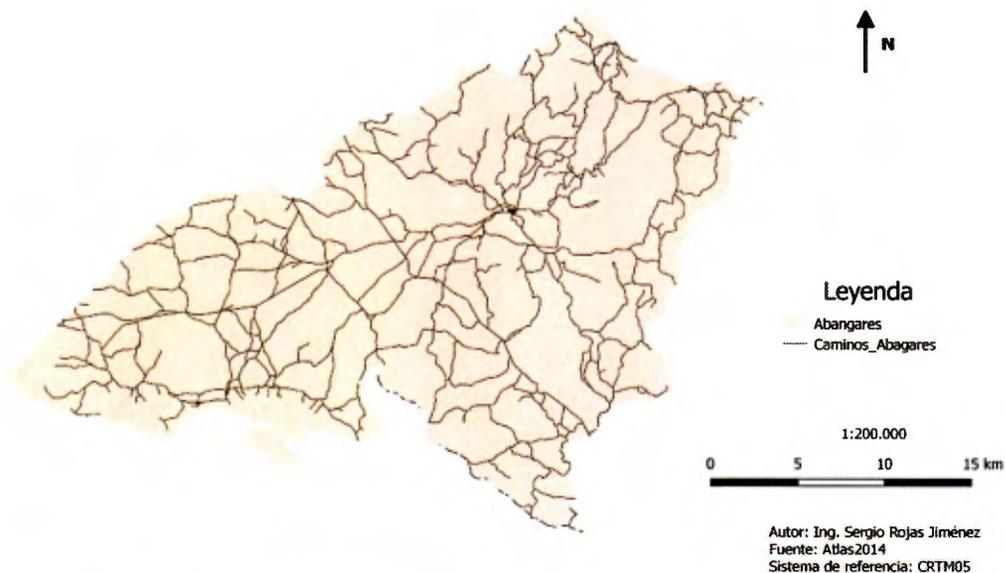


Figura 28. Red de caminos presentes en el cantón de Abangares
Fuente: Atlas TEC, 2014

3.7 Instituciones Estatales y Privadas presentes en la zona

Las instituciones del estado que tienen algún tipo de representación en el cantón de Abangares, según sector, son las siguientes:

- Municipalidad de Abangares
- Sector salud. Centro integrado de salud (CCSS y MS)
- Sector educación: Ministerio de Educación Pública, Escuela Delia Oviedo o Colegio Agropecuario de Abangares
- Sector economía, industria y comercio. CODESA (Cementos del Pacífico S.A. También conocido como CEMEX), Oficinas centrales Tempisque Ferry Boat, Consejo Nacional de Producción
- Sector finanzas: Banco Nacional de Costa Rica
- Sector agropecuario y recursos naturales renovables: Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Sector energía y minas: Instituto Costarricense de Electricidad

Otros:

- Ministerio de Gobernación o Delegación Cantonal G.A.R.
- Oficina DINADECO o Poder Judicial, (Alcaldía)

El tipo de organizaciones locales que operan en la comunidad se ofrece a continuación un listado de las mismas, clasificadas según sus propósitos:

- De base: Asociación Solidarista Cementos del Pacífico o Unión Cantonal de asociaciones o Asociaciones Integrales de Desarrollo o Cooperativas (Conaprosal RL, CoocopecoRI, Cooperativa Salineros RL)
- Asistencia Social: Hogar de ancianos de Abangares
- Servicio: Cruz Roja o Cuerpo de Bomberos
- Grupos de interés: Filial Cámara de Ganaderos Guanacaste

De todas estas instituciones la que contiene el mayor número de empleados es Cementos del Pacífico (CEMEX), seguida por la Cooperativa Nacional de Productores de Sal (Conaprosal), como se observa son instituciones privadas las que emplean más personas, situación que se mantiene en toda la provincia. La institución pública que tiene más empleados es el Centro Integrado de Salud de Abangares, con 58 empleados.

Los diferentes usos que se le puede dar al agua dependerán de las diferentes actividades presentes en la zona, dando como prioridad el abastecimiento de agua potable. Por ello es importante conocer las posibilidades de empleo en la zona para tomarlo en cuenta al estimar la demanda futura.

Cuadro 10. Infraestructura y cobertura educativa del cantón de Abangares

Infraestructura escolar	Abangares
Número de centros de educación preescolar públicos	22
Número de escuelas públicas	39
Número de colegios públicos	6
Cobertura de matrícula primaria	82,03
Cobertura de matrícula secundaria	75,43

Fuente: PDRT Abangares – Cañas – Tilarán, 2016.

Cuadro 11. Organizaciones presentes en el cantón y función principal

Instituciones	Función
Municipalidad de Abangares	Desarrollo de obras, prestación de servicios varios
Unión Cantonal Asociaciones Desarrollo (UNCADA)	Servicios comunales para el desarrollo
Asociación Administradoras Acueductos Rurales, Acueductos y Alcantarillados	Servicio de agua potable
Banco Popular y de Desarrollo Comunal, Banco Nacional de Costa Rica	Servicios financieros (entre ellos banca para el desarrollo)
Caja Costarricense del Seguro Social	Seguro obligatorio trabajadores, inspecciones y pago de incapacidades
Ministerio de Salud Pública	Emisión de permisos, atención de denuncias, implementación de campañas de salud pública
Instituto Nacional de Seguros (INS)	Pólizas varias.
Instituto Costarricense Electricidad.	Servicios eléctricos y telecomunicaciones.
Ministerio de Agricultura y Ganadería.	Servicios agropecuarios.
Fuerza Pública	Seguridad ciudadana.
Servicio Nacional de Salud Animal.	Servicios pecuarios y emisión de Certificados Veterinarios de Operación
Empresa privada	Función
Cementos Mexicanos (CEMEX)	Empresa privada de capital extranjero.
Cooperativa Nacional Productores de Sal R.L (CONAPROSAL)	Empresa dedicada a la producción, industrialización y comercialización de sal, fruta fresca, mariscos, pulpas
Cooperativa de Caficultores y Servicios Múltiples (Coopeldós R.L)	Venta de insumos agropecuarios.
Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.	Producción y comercialización de productos lácteos.
-Otras empresas	En el cantón se identifican un total de 99 empresas, dedicadas a diferentes labores

Fuente: PDRT Abangares – Cañas – Tilarán, 2016, INEC, s.f.

4. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA ZONA

El Cantón de Abangares es drenado principalmente por las cuencas de los ríos Abangares, Lajas y Lagarto. La Cuenca del río Abangares es la más importante del cantón, originada en la confluencia del río Aguas Claras, Gongolona y Boston. que presentan un rumbo noreste y sureste, al que se les unen luego los ríos Agua Caliente, Santa Lucía, San Juan, Congo y Cañamazo, desembocando en el Golfo de Nicoya.

El río Aguas Claras es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, del que se toma el agua para el acueducto de Las Juntas, que alimenta a una población de aproximadamente 7.000 habitantes. En 1950 este río daba 100 litros de agua por segundo y en la actualidad según estudios realizados por la UCR da 25 litros por segundo, disminuyendo su caudal en un 75%.

En cuanto al recurso hídrico la parte alta del cantón, soporta las tomas de captación de agua potable que abastecen a la comunidad de Las Juntas y otras poblaciones; pero a la vez la recarga acuífera de la cuenca del río Abangares muestra una baja sustancial de la cobertura vegetal que disminuye año con año el caudal de ese río, incluso, se están presentando situaciones de tala en la zona alta de recarga, haciendo de ella pastizales que por el tipo de relieve no son aptos para la ganadería. Dicho cambio de uso al igual que se ha dado en décadas anteriores responde a necesidades de las comunidades y propietarios, además, es una situación preocupante respecto a la calidad y cantidad de abastecimiento de agua potable actual y futuro a las comunidades. Esta situación muestra una urgente toma de medidas en el cuidado del recurso forestal e hídrico de la cuenca alta de los ríos, así como la búsqueda y planteamiento de alternativas que solucionen la situación.

Muchas de las zonas de recarga se caracterizan por poseer un porcentaje mediano de cobertura forestal intervenida o secundaria, asociada con zonas dedicadas a pastos para la ganadería de leche en donde los suelos poseen un grado muy avanzado de compactación, lo cual provoca durante periodos de lluvias deslizamientos y pérdida constante de suelo. Respecto a las acciones operativas de expansión, consolidación y modernización del Canal del Sur, del Distrito

de Riego Arenal Tempisque (DRAT), existe un sector, al final del tramo II, que incursiona en el área en estudio. Con este proyecto se pretende abastecer del recurso hídrico a las comunidades aledañas del cantón de Abangares.

4.1 Problemática de la cuenca del río Abangares

- Carencia de un plan de manejo y protección de la cuenca
- Inadecuado uso del suelo
- Presión sobre el uso de la tierra y la falta de alternativas rentables para la agricultura
- Daños por deforestación, para dar lugar a pastizales de mala calidad y a la explotación de cultivos anuales
- Permanente erosión como producto de mal manejo del suelo
- Carencia de un programa de protección de nacientes
- Explotación sin control de la actividad minera, produciendo contaminación y deforestación

4.2 Riesgos asociados a amenazas naturales

Entre los principales riesgos detectados en la zona se encuentran la incidencia de incendios con mayor probabilidad de ocurrencia en la zona media y baja del cantón y las inundaciones en la costa del Pacífico (Colorado) y en los márgenes del río Abangares. Adicionalmente se identifican amenazas que corresponden a fallas geológicas y la influencia de actividad volcánica.

Cuadro 12. Principales amenazas identificadas por distrito

Distrito	Amenazas naturales potenciales
Las Juntas	Falla geológica, potencialidad de licuefacción, incendios
La Sierra	Influencia vulcanismo
San Juan	Falla geológica, incendios
Colorado	Falla geológica, potencialidad licuefacción, incendios

4.3 Riesgos antropogénicos

4.3.1 Ganadería

El sector pecuario es la actividad socioeconómica de mayor crecimiento en el mundo en comparación con otros sectores agrícolas. Es el medio de subsistencia para billones de personas y supone el 40% de la producción agrícola mundial. Por otra parte, para muchos campesinos pobres en países en desarrollo, el ganado es también una fuente de energía como fuerza de tiro y una fuente esencial de fertilizante orgánico para las cosechas.

El sector ganadero genera más gases de efecto invernadero, medidos en su equivalente en dióxido de carbono (CO₂), que el sector del transporte. También es una de las principales causas de la degradación del suelo y de los recursos hídricos.

Si se incluyen las emisiones por el uso de la tierra y el cambio del uso de la tierra, el sector ganadero es responsable del 9 por ciento del CO₂ procedente de la actividad humana, pero produce un porcentaje mucho más elevado de los gases de efecto invernadero más perjudiciales. Genera el 65% del óxido nitroso de origen humano, que tiene 296 veces el Potencial de Calentamiento Global del CO₂. La mayor parte de este gas procede del estiércol. Y también es responsable del 37% de todo el metano producido por la actividad humana (23 más veces más perjudicial que el CO₂), que se origina en su mayor parte en el sistema digestivo de los rumiantes, y del 64% del amoníaco, que contribuye de forma significativa a la lluvia ácida. La ganadería utiliza hoy en día el 30% de la superficie terrestre del planeta, que en su mayor parte son pastizales, pero que ocupa también un 33% de toda la superficie cultivable, destinada a producir forraje. La tala de bosques para crear pastos es una de las principales causas de la deforestación, en especial en Latinoamérica, donde por ejemplo el 70% de los bosques que han desaparecido en el Amazonas se han dedicado a pastizales. (FAO. 2006)

Costa Rica cuenta con un total de 93 000 fincas, de las cuales casi 11 000 se ubican en la Región Chorotega, de estas 6 000 se dedican a la ganadería como actividad principal, estas cifras del último Censo Nacional realizado por el INEC, revelan que la provincia continúa liderando en el sector ganadero nacional.

Cuadro 13. Total de fincas avícolas por cantidad de animales y propósito

Cantón	Total de fincas	Para reproducción	Para producción de huevo	Total
Abangares	28	4 190	30 374	34 564

Fuente: INEC. 2014. modificado por Fernández

Cuadro 14. Total de fincas con ganado vacuno por cantidad de animales y tamaño del hato

Cantón	Total de fincas	Tamaño del hato								
		Total	01 a 05	06 a 10	11 a 20	21 a 50	51 a 100	101 a 200	201 a 500	501 y más
Abangares	556	31 295	267	774	1 642	5 548	3 970	3 436	9 928	5 730

Fuente: INEC. 2014. modificado por Fernández

Cuadro 15. Total de fincas con ganado porcino por cantidad de animales y tamaño del hato

Cantón	Total de fincas	Tamaño del hato								
		Total	1 a 5	6 a 10	11 a 20	21 a 50	51 a 100	101 a 200	201 a 500	501 y más
Abangares	89	9 727	133	87	103	108	98	-	-	9 198

Fuente: INEC. 2014. modificado por Fernández

Los principales tipos de ganadería presentes en la zona de Abangares son la de ganado vacuno y porcino, como podemos observar en los cuadros anteriores, para el año 2014 existían alrededor de 645 fincas y más de 40 mil ejemplares. En la división por tamaño del hato que realiza e INEC, podemos diferenciar dos categorías, los que van desde 1 hasta los 20 ejemplares, que por lo general son pequeñas granjas de familias pequeñas y modestas que utilizan esta actividad para su propia alimentación y subsistencia por la venta de los mismos. Una segunda categoría, que va de medianas hasta grandes fincas, desde los 50 a más de 500 ejemplares, que se puede describir como una ganadería más comercial y extensiva, donde se encuentra invertido un capital considerable y que puede generar opciones de empleo para personas aledañas.

Cuadro 16. Total de fincas con ganado vacuno por propósito

Cantón	Total de fincas	Propósito				
		Total	Carne	Leche	Doble propósito	Trabajo
Abangares	556	31 295	21 871	1 290	8 099	35

Fuente: INEC, 2014. modificado por Fernández

Por su parte, el ganado vacuno es el que aporta mayor cantidad de fincas y animales a esta actividad socioeconómica, como se observa en el cuadro anterior, los ejemplares se dividen en cuatro diferentes categorías:

- Para producción de carne: se da en la zona media y baja de la cuenca, donde las altas temperaturas no son una limitante y existen mayores extensiones de pastizales, ya que para este tipo de ganadería se utilizan razas de mayor resistencia.
- Para producción lechera: se da en las partes más altas de la cuenca debido a que se necesita de temperaturas menos elevadas y menos extensiones de tierra, son razas acostumbradas a vivir terrenos escarpados y que no necesitan gastar su energía en la evacuación de calor, evitando el estrés calórico y produciendo leche de mejor calidad.
- Con doble propósito: tanto para producción de carne como leche, en la mayoría de los casos se utiliza la producción de leche para mantener a flote las fincas y granjas, por ejemplo, se cubren los gastos semanales, quincenales o mensuales con la venta de la leche, la ganancia neta o más importante sería la venta de las reses una vez alcancen una edad y peso adecuados, el promedio a nivel nacional sería de 500 a 550 kilogramos y 3 años de edad.
- Para trabajo: los campesinos de la zona utilizan los animales como medio de transporte propio y carga de mercancías.

Leonardo Luconi, presidente de la Corporación Ganadera (Corfoga) fue enfático en que el sector ha repercutido de forma significativa en el desarrollo económico y social de Guanacaste.

- Alta población de animales por hectáreas de terreno. En nuestro país la cantidad de animales por área es difícilmente contralada, además de que los productores dan muy poca supervisión y rotación al ganado, haciendo que estos, una vez agoten el pasto para alimentarse, tiendan ingerir plantas y semillas jóvenes, que disminuyan su supervivencia y reproducción.
- Inadecuada planificación y mal manejo de los pastizales por parte de los productores. Como se mencionó anteriormente, falta de rotación de los hatos de animales, ausencia de planteamientos para la mejora de los pastos nativos. escasez de agua e insuficientes o ineficaces sistemas de riego.

Es así que el sobrepastoreo puede llevar a la muerte a la mayoría de las plantas de un área particular generando un suelo seco y estéril que imposibilita un crecimiento nuevo. Lo que reduce la utilidad, productividad y biodiversidad de los suelos. Dicha degradación de los suelos, así como la falta de raíces que compacten los suelos, provocan que en distintas áreas del cantón existan derrumbes y desprendimiento de sedimentos que van directamente a los ríos y a los mantos acuíferos, no solo dañando el recurso hídrico, sino también las estructuras hidráulicas que respaldan el abastecimiento.

El sobrepastoreo afecta al ciclo del agua, e impide que se renueven los recursos hídricos tanto de superficie como subterráneos. La producción de forraje obliga a desviar importantes cantidades de agua.

4.3.1.1.2 Contaminación por desechos

La contaminación generada por la ganadería en las diferentes etapas de la cadena productiva se puede resumir en los siguientes factores:

- Excretas de los animales: los principales contaminantes son los nutrientes, nitrógeno y fósforo, la materia orgánica, las bacterias y patógenos, los residuos de medicamentos y los metales pesados; estos contaminantes pueden llegar al agua por rutas puntuales y por difusas.

“La ganadería sigue siendo un sector importante en la economía de Guanacaste, hay ganadería en todos los cantones, por ejemplo, Abangares depende en un 100%. Los últimos dos años han sido difíciles, pero los pequeños y medianos productores, han logrado salir adelante, a pesar de la escasez de agua con el Fenómeno del Niño, ahora el reto está en que el ganadero aprenda a ser eficiente en el uso de este recurso para salvaguardarlo, porque la prioridad siempre son las personas, pero entonces qué hacemos con nuestro ganado”. expuso Luconi.

A pesar de todos los problemas que ha enfrentado dicha industria, el número de cabezas de ganado en Guanacaste en los últimos dos años se ha mantenido estable, con un total de 280 667, de las cuales el 52% producen carne, el 15% leche y el 33% de doble propósito, según datos del INEC. El cantón con más ganado es Tilarán con 44 190 cabezas, seguido de Nicoya con 38 102, Cañas con 34 833 y Abangares con 31 295.

4.3.1.1 *Efectos y daños provocados por la ganadería*

La ganadería ocupa 30% de la superficie libre de hielo del planeta y en diversos lugares es la fuente principal de contaminación del suelo y de emisión de nutrientes, materia orgánica, patógenos y residuos de medicamentos a ríos, lagos y zonas costeras. Los animales y sus excretas emiten gases que contribuyen al cambio climático. La ganadería modela paisajes enteros y reduce el hábitat natural con su demanda de tierra para la producción de pastos, forrajes, granos forrajeros y otros insumos agrícolas que intervienen en la alimentación del ganado.

4.3.1.1.1 Sobrepastoreo

La ganadería en nuestro país y alrededor del mundo es una de las industrias más extensivas sino la más extensiva que existe, donde se cambian paisajes vírgenes por enormes extensiones de pastizales para la crianza de los animales. El sobrepastoreo excesivo o intensivo, se da en situaciones cuando la vegetación de un territorio no se ha recuperado completamente de un pastoreo anterior al ser eliminados los pastizales de la tierra de forma repentina sin que cuenten con el tiempo de crecimiento suficiente para llegar a un estado de madurez óptimo para la alimentación animal. Entre las principales causas del sobrepastoreo se encuentran:

- Residuos de tratamiento de animales: tales como antibióticos, hormonas, productos utilizados para la salud y crecimiento avanzado del animal.
- Residuos del procesamiento de productos ganaderos: los rastros son una importante fuente de contaminación local y las curtidurías son emisoras de un amplio rango de contaminantes orgánicos y químicos.
- Producción de alimento animal: se utilizan fertilizantes y preservantes para los alimentos, los cuales no generan residuos a la hora de fabricarlos sino también a la hora en la que los animales los ingieren.
- Residuos de fertilizantes pesticidas y sedimentos: son utilizados en algunas ocasiones para dar mantenimiento a los pastizales en lo que respecta a la eliminación de la mala hierba.

Todas las fuentes de contaminación anteriores atentan contra el recurso hídrico superficial y subterráneo, la evapotranspiración es el mecanismo más importante por el cual los pastizales y la tierra de cultivo ocasionan el detrimento del líquido; cuando el agua evapotranspirada por pastos y cultivos para consumo animal se atribuye a la producción ganadera, los montos son tan grandes que, en comparación, los demás usos resultan marginales. Por otra parte, dichas sustancias dañinas entran al ciclo hidrológico, la radiación hace que llegue a las nubes, estas precipitan y se expanden. La infiltración también ocasiona que los derrames de sustancias líquidas lleguen a los mantos subterráneos y nacientes.

Los desechos biológicos provenientes tanto de las excretas de los animales como de fertilizantes y alimentos, son una fuente inmensa de bacterias. las cuales van a dar los ríos y provocan eutrofización. La eutrofización es el proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, balsas, ríos, embalses, etc. Este proceso está provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo. El exceso de nutrientes hace que las plantas y otros organismos crezcan en abundancia. Durante su crecimiento y putrefacción, consumen gran cantidad del oxígeno disuelto y aportan materia orgánica en forma de fango en abundancia. La eutrofización afecta a la calidad de las aguas ya que al aumentar la podredumbre y agotarse el oxígeno, las aguas adquieren un olor nauseabundo. El

olor de estas aguas puede ocasionar pérdidas económicas en cuanto a turismo, problemas respiratorios y su consumo puede ocasionar problemas sanitarios a las personas de la zona.

4.3.1.1.3 *Cambio climático*

En cuanto al impacto de la ganadería en el cambio climático (CC) y la contaminación del aire, se reconoce que las actividades ganaderas emiten cantidades considerables de gases invernadero, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), que contribuyen de manera importante al cambio climático. Los rumiantes, y en menor medida, los monogástricos emiten metano como parte de su proceso digestivo que involucra la fermentación microbiana de alimentos fibrosos.

Las excretas animales emiten CH_4 , N_2O , amoníaco (NH_3) y CO_2 , en función de cómo salen de las instalaciones (sólida o líquida) y de su manejo en la colección, almacenamiento y aplicación a la agricultura. La ganadería afecta el balance de carbono de la tierra que se usa para alimento animal y contribuye, de forma indirecta, a la liberación de enormes cantidades de carbono a la atmósfera. Lo mismo sucede cuando se clarea el bosque para pastizales. Los combustibles fósiles empleados en los procesos productivos, desde la producción de alimento animal, hasta el mercadeo de productos, también emiten gases invernadero. Muchos de estos efectos indirectos son difíciles de cuantificar.

En conjunto, se estima (FAO, 2006) que las actividades ganaderas contribuyen con 18% al total de emisiones antropogénicas de gases invernadero de los cinco sectores reportados: energía, industria, residuos, uso del suelo, cambio del uso del suelo, bosques y agricultura. En los dos últimos sectores la participación de la ganadería es de 50% y sólo en comparación con la agricultura, la ganadería representa 80%. La aportación ganadera a cada uno de los tres gases invernadero es como sigue:

a) Dióxido de carbono (CO_2): al tomar en cuenta la deforestación para el establecimiento de pastos y la degradación de los pastizales, las emisiones de la ganadería constituyen alrededor de 9% del total global. La cadena alimentaria ganadera está siendo más intensiva en el uso de combustibles fósiles y en la medida en que la producción de rumiantes (basada en recursos

locales para la alimentación) tienda a sustituirse por la intensiva monogástrica (basada en alimentos transportados a muy largas distancias), habrá un cambio de la energía impulsada por la fotosíntesis, a los combustibles fósiles, con el consiguiente incremento en el CO₂.

b) Metano (CH₄): la importancia de la ganadería en la emisión de CH₄ se reconoce de tiempo atrás; la fermentación entérica y las excretas representan 80% de las emisiones agrícolas de CH₄ y alrededor de 35-40% del total de CH₄ de origen antropogénico. Con el declive de la producción ganadera de rumiantes y la tendencia general hacia una mayor productividad en este sector, es improbable que la importancia de la fermentación entérica se incremente aún más en el futuro. Sin embargo, las emisiones de CH₄ de las excretas animales, aunque mucho menor en términos absolutos, son considerables y en rápido crecimiento.

c) Óxido nitroso (N₂O): las actividades ganaderas contribuyen a la emisión de N₂O, el más potente de los tres gases invernadero, con casi dos terceras partes del total global de emisiones antropogénicas de este gas y con 75-80% de las emisiones agrícolas. El N₂O se genera en el manejo aeróbico de residuos ganaderos.

d) Amoníaco (NH₃): las emisiones globales a la atmósfera de nitrógeno (N) de origen antropogénico se han estimado recientemente en unos 47 millones de toneladas. Un 94% es producido por la agricultura, la ganadería contribuye con 68% de esta participación, sobre todo por las excretas almacenadas y aplicadas a la agricultura. Se considera que la contaminación resultante, principalmente eutrofización y olores, es más un problema local o regional que global.

4.3.2 Minería

En los determinantes ambientales, se identificó la minería como una actividad muy arraigada en la cultura del Abangareño, desde su origen como cantón en el año 1915. La minería artesanal es una actividad considerada de alto riesgo ambiental, por el uso del mercurio, siendo un determinante negativo para la salud de la población y del ambiente. No existe un censo actualizado de las rastras que están operando en el cantón. Es evidente la necesidad de la

regulación de la actividad minera por las autoridades nacionales competentes, hecho que se hace realidad mediante la aplicación efectiva de la Ley 8904 y su reglamento.

El censo de los oreros permitió levantar un listado de 252 oreros, no obstante, en la actualidad hay al menos unos 700 oreros trabajando como coligalleros, la actividad involucra a todos los miembros de la familia, incluyendo a sus esposas que son las que procesan el material aurífero en sus casas, mientras sus esposos trabajan en las minas extrayendo el oro en los túneles. El sector minero artesanal está conformado por hombres, mujeres y algunos menores de edad incluyendo niños hasta de once años de edad. La mayoría de los coligalleros están afiliados a dos grupos organizados, el 13 % de los mineros están afiliados a la Asociación de Desarrollo Específica para la Orfebrería y Minería Artesanal de Abangares y un 8,87 % están afiliados a la Cooperativa de Productos de Oro y Servicios Múltiples de Abangares R. L. (COOPEORO R. L.). otros mineros trabajan por su cuenta y no pertenecen a ningún grupo organizado.

En Abangares hay 102 rastras censadas y ubicadas con GPS, según comunicación de los oreros actualmente hay al menos 200 rastras en el cantón. Las rastras están ubicadas en los patios caseros de los centros de población y a la orilla de ríos y quebradas. Las colas o lamas producto del procesamiento del oro se depositan en piletas o fosas construidas artesanalmente y ubicadas también en los patios caseros. Se da el caso de mineros que tienen hasta 8 rastras y que venden el servicio de "molienda" a los oreros que no poseen rastras, lo que incrementa la producción y apilamiento de las lamas en sus casas.

En las serranías de Abangares hay al menos unos 15 túneles de viejos laboreos mineros, donde trabajan los mineros realizando la extracción del material aurífero. Estos túneles se localizan en las minas Tres Hermanos, El Recio, San Martín, La Luz, Boston y Cuatro Vientos entre otras. La extracción es en forma artesanal con picos y mazos aunque también hacen uso de equipo mecanizado como son compresores, cargadores y explosivos, entre otros. Por la naturaleza del material el uso de estos equipos es necesario, por esta razón los mineros han tenido que recurrir al alquiler y compra de los mismos. Cabe destacar que algunos mineros guardan la dinamita en sus casas debajo de sus camas, una medida muy peligrosa que ya ocasionó algunos accidentes afortunadamente sin pérdidas humanas.

El 36% de los mineros censados están organizados en cuatro asociaciones legalmente establecidas: la Cooperativa Autogestionaria de Producción Minera R. L. (COOPEMINA), la Asociación de Desarrollo Específica para la Orfebrería y Minería Artesanal de Abangares, la Cooperativa de Productos de Oro y Servicios Múltiples de Abangares R. L. (COOPEORO R. L.), y la Asociación Nacional de Mineros (ANAMI S. A.), concesionaria de una mina legalmente otorgada por La Dirección de Geología y Minas. El 67% restante no está asociado a ningún grupo y trabajan por su cuenta en los túneles de las minas Tres Hermanos, El Recio o Silencio, San Martín, La Luz y otros sitios en las serranías auríferas de Abangares.

La mayoría de los coligalleros en Abangares son los desempleados de las minas Tres Hermanos, El Recio, La Luz y Cementos del Pacífico, quienes quedaron "cesados" cuando las empresas hicieron abandono de las operaciones mineras sin cumplir con sus responsabilidades patronales. La venta de Cementos del Pacífico S. A. a Cementos Mexicanos de C.V también aumentó la tasa de desempleo en el cantón, donde actualmente no hay fuentes de empleo. La actividad aurífera cobró relevancia con la subida del precio del oro en el mercado internacional, favoreciendo e incrementando el uso de equipo mecanizado y explosivos que los mineros compran en el mercado negro e incluso a aquellos concesionarios autorizados para usarlos en sus proyectos.

4.3.2.1 Descripción del proceso minero en Abangares

El proceso minero inicia en las minas y túneles viejos con la extracción de las menas, las menas son minerales de los cuales se puede extraer un elemento, por lo general un metal, ya que cuenta con la cantidad suficiente de este, para ello emplean desde herramientas artesanales, como palas y picos, hasta equipo más especializado como compresores y explosivos.

Las menas son transportadas a los sitios de procesamiento, los cuales generalmente son los patios de las casas de los mineros. En el sitio se encuentran las rastras, en las cuales las menas son trituradas hasta obtener un material pulverizado muy fino, durante este proceso se agrega agua en las rastras. En algunos casos los mineros cuentan con quebradores y molinos, estos equipos facilitan el proceso de quebrado y pulverización de las menas.

En las rastras se agrega el mercurio para llevar a cabo el proceso de amalgamación. Este proceso consiste en la unión del oro con el mercurio, mediante las propiedades químicas de ambos metales. Durante el proceso se agrega agua, para evitar el levantamiento de polvo durante la molienda y para facilitar el proceso de amalgamación.



Figura 29. Rastra utilizada en el proceso por minero de Abangares

Fuente: Vidal, 2019

También se emplea el sistema de cribado, alternativo al proceso de amalgamación. El cribado, también conocido como concentración gravimétrica, consiste en sedimentar las partículas más pesadas, en este caso el oro, el cual es más denso que las arenas y demás material que constituye a las menas. El agua lavará el material más liviano. Posteriormente se agrega el mercurio para amalgamar el oro. Este proceso es más eficiente que amalgamar todo el material (Programa de las Naciones Unidas, 2008).

A continuación, se realiza el proceso de quemado. Una vez obtenida la amalgama de mercurio y oro, se utilizan las llamadas retortas para eliminar el mercurio del oro. La amalgama se calienta, de modo que el mercurio se evapora, las retortas permiten recolectar el vapor de

mercurio y depositarlo en un recipiente en forma líquida (Programa de las Naciones Unidas, 2008).

El producto residual del proceso minero es conocido como lamas o relaves. Este producto se obtiene dentro de las rastras y está compuesto por agua, mercurio, oro fino que no amalgamó y roca muy quebrada. Las lamas son depositadas en fosas o piletas excavadas en los patios traseros de las casas de los mineros, en algunas ocasiones ubicadas a la orilla de ríos o quebradas. En las fosas se da la separación de las lamas en dos componentes: aguas claras y sedimento. Los sólidos precipitan al fondo de la fosa, dando por resultado un sedimento constituido por material molido, mercurio y oro fino. Las aguas claras permanecen en la superficie de la fosa, hasta ser dispuesta al cuerpo receptor más cercano, junto con el potencial riesgo que representan, ya que pueden arrastran pequeñas cantidades de mercurio.

Otro riesgo que poseen los depósitos de las lamas, es que los residuos pueden ser arrastrados por el agua de lluvia a los ríos o quebradas, o por escorrentía infiltrar los residuos de mercurio al suelo. Además, por evaporación, el mercurio es liberado al medio (MINAET, 2012).



Figura 30. Depósito artesanal de lamas utilizado por los mineros de Abangares
Fuente: Vidal, 2019

En las fosas sedimentan los sólidos presentes en los relaves, a la vez que se forma una cama de aguas clara en la superficie. Algunas cooperativas de mineros, venden los sólidos sedimentados a una empresa que utiliza el proceso por cianuración, para obtener el oro que no se pudo obtener del proceso con mercurio. Esta empresa emplea una técnica a base de cianuro, que resulta más eficiente que extraer el oro empleando mercurio, pero que es también más especializado y presenta mayores riesgos, debido a la naturaleza tóxica del cianuro. Otros mineros acumulan las lamas en las fosas, hasta que es necesaria la excavación de otra fosa. Las aguas claras, son dispuestas directamente al ambiente, en su mayoría a algún cuerpo receptor.



Figura 31. Conducción de los relaves desde las rastras hasta la fosa
Fuente: Vidal, 2019

Además de los riesgos laborales, se suma la contaminación generada por el uso del mercurio en los procesos de recuperación del oro. Cuyo impacto ambiental afecta a los mineros, a los cuerpos de agua, la biota y por ende a toda la cadena alimenticia, debido al efecto acumulativo del mercurio. Las colas producto del proceso minero se acopian en las fosas o piletas excavadas en los patios caseros y conservan al menos un 40 % del mercurio utilizado, parte de estas lamas son arrastradas por la escorrentía hacia los ríos y quebradas.

De acuerdo a la información suministrada por los oreros entrevistados, ellos gastan un kilogramo de mercurio por mes por rastra. Así, la estimación del consumo de mercurio para las 102 rastras censadas es de 1 224 kilogramos de mercurio por año. Este cálculo es muy importante con relación al arrastre de las colas con mercurio hacia el cauce del río Abangares y otros, por lo que se recomienda la reubicación de las rastras.

Sin embargo, cabe destacar el aprovechamiento que los mineros le dan al mercurio, por ser un producto de muy alto costo. Por lo cual, maximizar la recuperación del producto es fundamental para incrementar la utilidad de su trabajo. Los mineros se esmeran para recuperar la mayor

cantidad de mercurio como sea posible, tanto así, que no se han encontrado desechos de mercurio en las lamas. En los análisis sobre metales pesados realizados desde el año 2013 por el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Costa Rica, a muestras de aguas de las lamas de las rastras y diversos puntos establecidos en los ríos de la cuenca, no se hallaron residuos de mercurio, o por lo menos cantidades detectables por el equipo que necesiten cierto análisis o consideración.

4.3.2.2 *Efectos y daños provocados a la calidad del agua*

Existen cuatro tipos importantes de impactos mineros en cuanto a calidad de agua:

4.3.2.2.1 *Drenaje ácido de la minería (DAM)*

El Drenaje Ácido de la Minería (DAM) es el MAYOR problema ambiental provocado por la industria minera y es también su mayor pasivo, especialmente para nuestras corrientes de agua. Una mina generadora de ácido tiene el potencial para causar un impacto devastador a largo plazo en los ríos, arroyos y vida acuática, volviéndose en efecto, una "máquina de contaminación perpetua".

Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acidez, un tipo de bacteria común llamada *Thiobacillus ferrooxidans*, puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho.

El ácido lixiviara la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuara hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible.

4.3.2.2.2 Metales pesados y lixiviación

La contaminación por metales pesados es causada cuando algunos metales como el arsénico, el cobalto, el cobre, el cadmio, el plomo, el oro, la plata y el zinc, contenidos en las rocas excavadas o expuestos en vetas en una mina subterránea, entran en contacto con el agua. Los metales son extraídos y llevados río abajo, mientras el agua lava la superficie rocosa. Aunque los metales pueden ser movidos en condiciones de pH neutral, la lixiviación es particularmente acelerada en condiciones de pH bajo, tales como las creadas por el drenaje ácido de la minería.

4.3.2.2.3 Contaminación química

Este tipo de contaminación ocurre cuando algunos agentes químicos (tales como el cianuro y el ácido sulfúrico, utilizados por compañías mineras para la separación del material deseado, del mineral en bruto) se derraman, gotean, o se trasladan del sitio minero a un cuerpo de agua cercano. Estos químicos pueden ser también altamente tóxicos para los humanos y la fauna.

4.3.2.2.4 Erosión y sedimentación

El desarrollo minero perturba el suelo y las rocas en el transcurso de la construcción y mantenimiento de caminos, basureros y excavaciones a la intemperie. Por la ausencia de prevenciones adecuadas y estrategias de control, la erosión de la tierra expuesta puede transportar una gran cantidad de sedimentación a arroyos, ríos y lagos. La sedimentación excesiva puede obstruir riveras, la delicada vegetación de estas y el hábitat para la fauna y organismos acuáticos.

4.3.2.2.5 Basura peligrosa - Las escombreras

Una vez que los minerales han sido procesados y recuperados, la roca sobrante se vuelve otra forma de desperdicio minero que se ubican en las escombreras. Las escombreras contienen los mismos metales pesados tóxicos y formaciones de ácido mineral que produce el desecho de roca. También pueden contener agentes químicos usados para el procesamiento del mineral en bruto. tales como cianuro o ácido sulfúrico. Las escombreras son usualmente colocadas en la superficie, en áreas de contención o en lagunas de oxidación, y en un número creciente de operaciones bajo tierra, donde el desecho es usado como relleno para las áreas que fueron excavadas. Si son asegurados inapropiadamente, los contaminantes de los desechos mineros

pueden lixiviar hacia la superficie o a los mantos de agua subterránea causando una contaminación seria que puede perdurar durante muchas generaciones.

4.3.2.3 Efectos provocados al ser humano asociados a la minería y a la exposición de mercurio

La minería artesanal de oro y plata, al no contar en muchos casos con todos los requisitos de ley, trabaja bajo la ilegalidad, resultando difícil la existencia de convenios entre las cooperativas y otras instituciones públicas como el Instituto Nacional de Seguros y la Caja Costarricense del Seguro Social, esto provoca que muchas de las personas que trabajan en la actividad no cuenten con las garantías mínimas de seguridad ni salud.

Dentro de las condiciones de riesgo laboral de la actividad actual se presentan algunos factores que pueden influir de forma negativa sobre la población como:

- Jornada Laboral: Las horas de trabajo son un factor primordial, de tal manera que la salud puede ser consecuencia de una combinación de factores. "Podría proceder de los efectos dañinos de los materiales utilizados en las minas, como el mercurio, el cianuro o la pólvora, o de un entorno laboral deteriorado, húmedo, mal ventilado, cargado de polvo caliente, así como del detrimento físico que se derivaba de las posturas perniciosas, pues las galerías y los túneles son demasiado estrechos; también del sobreesfuerzo" (Castillo Rodríguez, 2009). Tomando en cuenta que dicha actividad económica no ha sido muy influenciada legalmente a lo largo de los años, y que no existe una normativa vigente desde el año 2010, los trabajadores se encuentran bajo condiciones inhumanas de trabajo, que se traducen en sobreesfuerzos, malas posturas y jornadas continuas variables sin descanso ni programación.
- Lugar de Trabajo: las condiciones de seguridad de las minas se ven influenciadas por la posesión del subsuelo, ya que al no contar con las concesiones de las minas estos lugares de extracción de material se han convertido en sitios inseguros para las personas, donde instituciones públicas como el Ministerio de Trabajo y Seguridad

Social y el Ministerio de Salud no han podido dar una solución integral a la problemática. Sin embargo, a pesar de que en algunas minas se han realizado trabajos de ventilación y aseguramiento de túneles, el marco legal actual no les permite el acceso ni trabajo seguro a las minas, además, debido a la profundidad con que se trabaja en estas minas, la probabilidad de dilatación del aire aumenta, dicha mala calidad del aire somete a los pulmones de los mineros a deficiencia respiratoria por falta de oxígeno. También, los gases venenosos emanados de las profundidades de los túneles, tienen que ver con la muerte de decenas de mineros; este fenómeno denominado muerte invisible. Además de todos estos factores, en muchas ocupaciones había peligro constante de sufrir accidentes que podían causar además desde simples heridas, hasta la muerte del trabajador. El trabajo en los túneles, a parte de la aglomeración y el hacinamiento de trabajadores, producto de la migración constante, estimula también otro tipo de enfermedades, tal como la uncinariasis o anquilostomiasis, popularmente conocida como "anemia de los mineros", además de la temida neumoconiosis o silicosis, acreditada como la "tisis minera", con frecuencia asociada a la tuberculosis.

- La tecnología utilizada por algunas de las personas que trabajan en minería artesanal de oro no cuenta con los requisitos necesarios para minimizar los riesgos, especialmente la retorta y su función de evitar el escape de mercurio. Esto debido a que se confirmó la exposición de mercurio en el proceso de quemado pese al uso de la retorta, la cual es 2.5 veces mayor al permitido según OSHA.
- Temperatura: "Cuando el mercurio se encuentra presente a temperaturas sobre los 68°F (20°C) puede incrementar su evaporación y por lo tanto incrementa la exposición de respirar vapores" (Blando, 2004).
- Equipo de Protección Personal: es otro indicador importante de la calidad de vida que se brinda en minería, así como existe muy poca normativa o casi nula, y poca estadística de personas que se dedican a esta actividad, también es muy difícil obligar a los trabajadores o a las asociaciones a cumplir con el equipo de protección.

el cual como mínimo debe de cumplir con los siguientes accesorios:

- Casco de seguridad que resista al menos 15000 voltios
- Anteojos de seguridad resistentes contra partículas sólidas y líquidas
- Protectores auditivos: tapones y orejeras
- Protector respiratorio con válvula de exhalación
- Auto rescatador: protector especial en caso de incendios. protege contra el monóxido de carbono aproximadamente una hora
- Guantes
- Equipo contra caídas: cinturón de seguridad. arnés. cuerdas
- Botas de seguridad
- Lámparas
- Traje impermeable

Una vez definidos los factores, los accidentes más frecuentes en minería subterránea son:

- Caída de rocas desde el techo, las cajas o la frente
- Caídas de igual y distinto nivel
- Golpes con herramientas
- Atrapamientos en partes móviles de las máquinas
- Proyección de partículas a los ojos
- Contacto con energía eléctrica
- Golpes, atrapamientos y atropellos provocados por máquinas y vehículos
- Golpes propinados por mangueras de aire comprimido que se sueltan debido a mal acoplamiento y que se proyectan debido a que carecen de cadena de seguridad
- Asfixia y/o intoxicación en lugares mal ventilados, contaminados con humos y gases
- También existe riesgo por exposición a polvo neumoconiógeno y ruido que pueden provocar enfermedades profesionales.

En el tema de mercurio, existe una gama de conceptos necesarios para dimensionar la problemática, sobre todo para comprender el riesgo que existe alrededor del manejo de este elemento. Se consideran conceptos claves la exposición, riesgo, susceptibilidad y efectos. En

el cantón de Abangares, los peligros para la salud y el daño ambiental que representa el uso del mercurio son conocidos por muchos de sus pobladores, quienes lo utilizan diariamente en sus casas para extraer el oro de las piedras que llevan desde las minas, inclusive, algunos mineros han escuchado que el metal puede ser mortífero, pero la mayoría duda de que ese riesgo sea real. También saben que su comercio es ilegal, pero es un ingrediente indispensable para el oficio con el que se han ganado la vida durante generaciones.

Con respecto a los subproductos del proceso de beneficiamiento del mineral aurífero en las rastras, según el memorando DGM/CMRPC-03/2010 "Se continúa con el censo de rastras encontrando que a la fecha hay 108 rastras censadas, que generan al menos 100 t / mes y 1200 toneladas de lamas por año contaminadas con mercurio." El memorando indica que "...se analizaron 30 muestras de sedimentos fluviales para detectar metales pesados...De estas muestras 18 resultaron con mercurio. La presencia de mercurio se detectó en los sedimentos de los ríos Abangares, Santa Lucía, Aguacaliente y en las quebradas.

En cuanto al alcantarillado sanitario, se hace mención de la falta de un sistema adecuado del manejo de las aguas residuales domésticas, aunado a la actividad minera que genera otro tipo de desecho líquido que debe ser tratado de forma especial. Los residuos finales generados por la actividad minera (lamas) se consideran residuos peligrosos según el Reglamento sobre Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos, al poseer características tóxicas que pueden causar daños a la salud y al ambiente. Según la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se debe poseer responsabilidad compartida en todas las etapas de gestión de estos residuos. principalmente la disposición final de los mismos, a todo esto, se debe agregar que pocos administradores del recurso hídrico cumplen con la exigencia mínima de realizar al menos dos veces al año un muestreo de la calidad del agua con análisis microbiológicos y fisicoquímicos, por lo que no se cuenta con datos de la calidad del recurso que se le provee a la población.

4.3.3 Agricultura

A través de la historia y desde el establecimiento de los primeros asentamientos poblacionales, la agricultura ha sido uno de los principales mecanismos de subsistencia del ser humano. Según las últimas previsiones de las Naciones Unidas sobre el crecimiento de la población mundial

hasta el año 2025, se requerirá una expansión de la producción de alimentos de aproximadamente entre el 40-45%. La agricultura de regadío, cuya superficie representa sólo el 17% de todas las tierras agrícolas y sin embargo produce el 36% de los alimentos mundiales, será un componente esencial de toda estrategia para aumentar el suministro mundial de alimentos.

Gracias a la variedad de microclimas que posee la cuenca del Río Abangares, es una zona del país muy apta para la agricultura y para la diversidad de cultivos. Según el último censo realizado por la Oficina Regional del Ministerio de Agricultura y Ganadería sede Abangares, estos son los cultivos que se desarrollan en la zona.

Cuadro 17. Cultivos de la zona, extensión y ubicación 2019

Cultivos Abangares 2019			
Cultivo	Área (ha)	Cantidad de fincas	Zonas de la cuenca
Caña de azúcar	623,8	20	media y baja
Arroz	301,3	10	media y baja
Café	350,0	165	alta
Mango	202,3	18	media y baja
Frijol	88,5	110	alta
Limón mesina	85,3	9	media y baja
Maíz	54,8	83	todas
Sandía	47,5	20	baja
Aguacate	22,5	16	todas
Papaya	8,3	5	media y baja
Ayote	3,3	3	todas
Plátano	2,3	4	todas
Limón mandarina	2,0	2	alta y media
Chile dulce	1,4	3	alta y media
Chamol	0,8	3	alta y media
Chile picante	0,8	1	media
Tiquisque	0,5	2	alta y media
Total	1795,4	574	

Fuente: Regional MAG sede Abangares, 2019.

Como se puede observar en el cuadro anterior, alrededor de 1 800 hectáreas son destinadas a la agricultura en el cantón de Abangares, su diversidad es tal, que contiene granos, frutas, cítricos, verduras y hortalizas. Esta gran cantidad de área superficial dedicada a la agricultura, de forma directa o indirecta, repercute de forma negativa en el recurso hídrico, tanto en aguas superficiales como subterráneas.

4.3.3.1 Efectos de la actividad agrícola en el recurso hídrico

Cuadro 18. Efectos de la actividad agrícola en el recurso hídrico

Actividad agrícola	Efectos	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Labranza/arado	Generación de sedimentos y por ende turbidez de las aguas. Los sedimentos transportan fósforos y plaguicidas adsorbidos a las partículas de los sedimento, generan lodos en los lechos de los ríos que pueden provocar eutrofización y pérdida de hábitat.	
Aplicación de fertilizantes	Escorrentía de nutrientes, especialmente fósforo, que da lugar a la eutrofización y produce mal gusto y olor en el abastecimiento público de agua, crecimiento excesivo de las algas que da lugar a desoxigenación del agua y muerte de las especies presentes. Contaminación de las aguas con elementos y químicos peligrosos.	Lixiviación del nitrato hacia las aguas subterráneas; los niveles excesivos representan una amenaza para la salud pública.
Aplicación de estiércol	Esta actividad se realiza como alternativa a la aplicación de fertilizantes; provoca en las aguas receptoras elevados niveles de	Contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por el nitrógeno.

	contaminación por agentes patógenos, metales, fósforo y nitrógeno. lo que da lugar a la eutrofización y a una posible contaminación.	
Plaguicidas	La escorrentía de plaguicidas da lugar a la contaminación del agua superficial y la biota; disfunción del sistema ecológico en las aguas superficiales por pérdida de los depredadores superiores debido a la inhibición del crecimiento y a los problemas reproductivos; consecuencias negativas en la salud pública debido al consumo de pescado y otras especies contaminadas. Los plaguicidas son trasladados en forma de polvo por el viento hasta distancias muy lejanas y contaminan sistemas acuáticos, vegetativos y plantaciones que pueden encontrarse a miles de kilómetros de distancia.	Algunos plaguicidas pueden lixivarse en las aguas subterráneas, provocando problemas para la salud humana a través de los pozos contaminados.
Granjas/parcelas de engorde	Contaminación del agua superficial con numerosos agentes patógenos (bacterias, virus, etc.), lo que da lugar a problemas crónicos de salud pública. Contaminación por metales contenidos en la orina y las heces.	Posible lixiviación de nitrógeno, metales, etc. hacia las aguas subterráneas.
Riego	Escorrentía de sales. que da lugar a la salinización de las aguas superficiales; escorrentía de fertilizantes y plaguicidas hacia las aguas superficiales, con efectos ecológicos negativos, bioacumulación en especies ícticas comestibles, etc. Pueden	Enriquecimiento del agua subterránea con sales, nutrientes (especialmente nitrato).

	registrarse niveles elevados de oligoelementos, como el selenio, con graves daños ecológicos y posibles efectos en la salud humana.	
Tala de árboles	Erosión de la tierra, lo que da lugar a elevados niveles de turbidez en los ríos, entarquinamiento del hábitat de aguas profundas, etc. Perturbación y cambio del régimen hidrológico, muchas veces con pérdida de cursos de agua perennes; el resultado es problemas de salud pública debido a la pérdida de agua potable.	Perturbación del régimen hidrológico, muchas veces con incremento de la escorrentía superficial y disminución de la alimentación de los acuíferos; influye negativamente en el agua superficial, ya que reduce el caudal durante los períodos secos y concentra los nutrientes y contaminantes en el agua superficial.

4.3.3.2 Efectos de la actividad agrícola en la salud pública

El agua contaminada puede producir efectos muy negativos, ya que provoca enfermedades humanas, trastornos crónicos, miseria y hasta la muerte. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), nada menos que 4 millones de niños mueren al año como consecuencia de enfermedades diarreicas debidas a infecciones transmitidas por el agua. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son coliformes que se encuentran en las heces humanas. La escorrentía superficial y, por consiguiente, la contaminación de fuentes no localizadas contribuye de forma significativa al alto nivel de agentes patógenos en las masas de agua superficiales. Las deficiencias de los servicios rurales de higiene contribuyen también a la contaminación del agua subterránea.

La contaminación agrícola es causa tanto directa como indirecta de efectos en la salud humana. Según informes de la OMS, los niveles de nitrógeno en el agua subterránea han aumentado en muchas partes del mundo como consecuencia de la "intensificación de las prácticas agrícolas" (OMS, 1993). Los niveles de nitrato han aumentado en algunos países hasta el punto de que más del 10 por ciento de la población bebe agua con niveles de nitrato superiores a la norma

de 10 mg/l. Aunque la OMS considera que no hay ninguna vinculación significativa entre el nitrato y el nitrito y los cánceres humanos, la directriz sobre el agua potable se ha establecido con la finalidad de evitar la metahemoglobinemia, a la que están especialmente expuestos los lactantes (OMS, 1993).

Entre los principales efectos que produce la agricultura en la contaminación de las aguas y por ende en la salud humana se encuentran:

- Las modificaciones ambientales adversas, el desarrollo de patógenos en las aguas producto de los desechos de las plantaciones, ofrecen mejores condiciones de reproducción a los vectores de enfermedades como los mosquitos. Existe una relación entre la difusión de la malaria en varios países de América Latina y la construcción de embalses. Los dos grupos con mayor riesgo de infección son los trabajadores agrícolas dedicados a la producción de arroz, caña de azúcar y hortalizas, y los niños que se bañan en aguas infestadas.
- Contaminación del abastecimiento de agua sobre todo por plaguicidas y fertilizantes. Está comprobado que los niveles excesivos de muchos plaguicidas repercuten negativamente en la salud.
- Contaminación microbiológica de los cultivos alimentarios como consecuencia del uso de agua contaminada por desechos humanos y la escorrentía. Este efecto está asociado tanto a la utilización del agua contaminada para regadío como a la contaminación directa de los alimentos al lavar las hortalizas y otros productos, antes de la venta, en aguas contaminadas. En muchos países en desarrollo las aguas residuales urbanas se tratan poco o nada, a pesar de lo cual los desechos urbanos se utilizan cada vez más en la agricultura de regadío bien de forma directa o previamente reciclados de las aguas receptoras. Las enfermedades más comunes asociadas a las aguas de riego contaminadas son cólera, fiebre tifoidea, ascariasis, amibiasis, giardiasis y *E. coli*. enteroinvasiva. Los cultivos más asociados a la difusión de estas enfermedades son los que crecen a ras del suelo y se comen crudos como coles, lechugas, fresas, etc.
- Contaminación de los cultivos alimenticios con productos químicos tóxicos.

- Diversos efectos sobre la salud, en particular, tratamiento de las semillas por compuestos orgánicos de mercurio, turbidez (que limita la eficacia de la desinfección para consumo humano). etc.

4.3.4 Residencial y Urbanismo

4.3.4.1 *Aguas residuales*

El distrito de Las Juntas, es la cabecera del cantón de Abangares, así como el mayor centro de población, carece de un sistema de alcantarillado sanitario y de un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas. La disposición de las aguas negras y grises, a los cuerpos de agua, sin tratamiento previo, representan una potencial amenaza para los ecosistemas, la salud pública y la disponibilidad del recurso hídrico.

Actualmente Las Juntas cuenta con una población cercana a los 10 000 habitantes, según estimaciones y proyecciones del INEC. Sin embargo, no posee un servicio de alcantarillado sanitario, aunque sí uno parcial de aguas pluviales, pero no con las condiciones de infraestructura y desfogue que se requiere, en el cual también se desechan aguas negras, que van a desembocar, por medio de cunetas y zanjas improvisadas a los ríos y quebradas cercanas al lugar. La información suministrada por conocedores y trabajadores de la zona, junto con los registros de estudios de proyectos de graduación anteriores y de los que se realizan actualmente en la zona, muestran que, en su mayoría, estas aguas desembocan en el río Abangares. Este río atraviesa toda la zona urbana de Las Juntas, a lo largo de su recorrido, recibe descargas directas de aguas residuales domésticas no tratadas en su afluente, por lo cual al desembocar en el Golfo de Nicoya deposita esta contaminación en el mar. La población de la parte baja de Abangares, correspondiente a la zona del Golfo de Nicoya, depende de actividades como la pesca, por lo que sus ingresos pueden verse afectados por el deterioro de la calidad del agua debido a la descarga de las aguas residuales, esto entre otros problemas que la contaminación del Golfo puede traer.

Además de la ausencia de alcantarillado sanitario, no existe un sistema adecuado de tratamiento de las aguas residuales domésticas. A pesar de que la mayoría de las casas en Las

Juntas cuentan con tanques sépticos o letrinas, estos son muy artesanales, contruidos por los mismos propietarios de las casas sin conocimientos ni experiencia previa, sistemas que resultan peligrosos por la contaminación de las aguas subterráneas. La parte baja de Abangares, se abastece de estas aguas subterráneas mediante pozos, lo cual representa un riesgo para la salud de las personas si están consumiendo aguas contaminadas por el uso de los tanques sépticos de la parte alta.

Por otra parte, las personas que se dedican a la limpieza de tanques sépticos no cuentan con el permiso correspondiente para esta actividad. El "Reglamento para el Manejo de Lodos Procedentes de Tanques Sépticos" no dispone en su artículo sanciones por incumplimiento del mismo. Por último, la emisión de la certificación de la calidad del agua residual de los entes generadores, es competencia del Ministerio de Salud según lo dispuesto en el artículo 128 de la Ley de Conservación de la Vida Silvestre. A la fecha, el Área Rectora de Salud de Abangares, realiza un inventario de los entes generadores, no se ha emitido ninguna certificación de la calidad del agua residual a los cuerpos receptores.

4.3.4.2 *Desechos sólidos*

El cantón de Abangares cuenta desde el año 2009 con un Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), que da cobertura a los distritos de Las Juntas, La Sierra y San Juan. En el caso de Colorado la GIRS está a cargo del Concejo Municipal del Distrito, donde se está elaborando el respectivo Plan de Gestión.

En relación a la disposición final, La Municipalidad de Abangares lo hace en el relleno sanitario TecnoAmbiente. ubicado en Miramar. El Distrito de Colorado dispone los residuos en un vertedero que está en proceso de cierre técnico.

Los desechos peligrosos que se generan en el Área de Salud de Abangares, una vez esterilizados, se envían al Hospital Monseñor Sanabria para su debida disposición final. No ocurre lo mismo con el Área de Salud del Distrito de Colorado. la cual utiliza una fosa ubicada en el vertedero municipal. donde sus desechos son quemados. Los demás establecimientos de salud privados generadores de este tipo de desechos, contratan el servicio de disposición final a una empresa autorizada.

A continuación, se presentan los datos oficiales de recolección de residuos sólidos de los distritos de Las Juntas, San Juan y La Sierra, brindados por el ingeniero Francisco Bogantes, encargado de la gestión municipal en temas de ingeniería.

Cuadro 19. Datos oficiales del año 2018 de los de residuos sólidos entregados por el cantón de Abangares, sin Colorado, al Relleno Sanitario Parque Industrial Tecno-Ambiente Miramar

Mes	Costo en colones por tonelada	Toneladas entregadas	Monto total en colones por mes
Enero	¢11 200	190,17	¢2 129 904
Febrero	¢11 200	147,37	¢1 650 544
Marzo	¢11 200	155,40	¢1 740 480
Abril	¢11 200	188,10	¢2 106 720
Mayo	¢11 200	189,08	¢2 117 696
Junio	¢11 200	178,16	¢1 995 392
Julio	¢11 200	173,71	¢1 945 552
Agosto	¢11 200	202,43	¢2 267 216
Setiembre	¢11 200	157,23	¢1 760 976
Octubre	¢11 200	190,86	¢2 137 632
Noviembre	¢11 200	133,93	¢1 500 016
Diciembre	¢11 200	166,70	¢1 867 040
Total		2 073,14	¢23 219 168

Fuente: Municipalidad de Abangares, 2019

Por otra parte, la Asociación ADIME es una pequeña empresa dedicada a la recuperación de residuos sólidos valorizables, que cuenta con el apoyo de la Municipalidad de Abangares. En su gestión del año 2018 en cuanto a la recolección de materiales valorizables, lograron recolectar 171 448 kilogramos, entre los que se destacan papel, plástico, cartón, vidrio, latas de atún y tarimas de madera.

Cuadro 20. Materiales valorizables por mes Abangares 2018

Material	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total (kg)
Papel		3 066		2 021		1 817	1 963			1 545			10 412
Plástico Pet	675		962		884		1 051	695	580	925	910	970	7 652
Cartón	5 790	3 840	5 100	5 440	5 980	6 590	5 790	5 380	6 260	5 641	7 410	5 450	68 671
Tetra Pack	111		217		120		209	116	95			120	988
Vidrio	3 351			4 000				3 777		2 299		2 400	15 827
Plástico	8 335	2 215	999	6 268	596	412		1 302		600	322		21 049
Chatarra	1 500	3 500	313	2 142	862	600	900		700		280	350	11 147
Aluminio	62		43		41		82	38	35				301
Cobre					78								78
Sacos										598			598
Energéticos			4 630	7 211		2 580	5 780	2 340		1 790			24 331
Tarimas		1 000	800	3 704	600	1 600					990	1 700	10 394
Total (kg)	19 824	13 621	13 064	30 786	9 161	13 599	15 775	13 648	7 670	13 398	9 912	10 990	171 448

Fuente: Municipalidad de Abangares, 2019

De acuerdo a la estadística de la Gestión Integral de Residuos Sólidos del cantón de Abangares, del mes de enero a diciembre del 2018 se había recuperado el 7,5 % de los residuos sólidos municipales como valorizables y un 92,5 % como residuos tradicionales que se enviaron al Parque Industrial de Tecno Ambiente ubicado en Miramar.

La Municipalidad de Abangares debe brindar el sistema de recolección de residuos a un total de 4 756 viviendas de acuerdo a los datos del INEC y está brindándolo a 3 722 viviendas, es decir, se cuenta con una cobertura del 78,3% de las viviendas, más 321 contribuyentes que corresponden a categorías comerciales.

Por su parte, el distrito de Colorado, que se encuentra en la parte baja de la cuenca, realiza independiente la gestión municipal, por ende, la gestión de los residuos sólidos. Según la información brindada por la encargada Emilia Mora Alpízar, estos son los datos de recolección para el año 2018:

Cuadro 21. Datos oficiales del año 2018 de los de residuos sólidos entregados por el distrito de Colorado al Relleno Sanitario Parque Industrial Tecno-Ambiente Miramar

Mes	Valorizable (ton)	No valorizable (ton)	No tradicionales (ton)	Orgánico (ton)	Total (ton)	Costo por tratamiento (colones)
Enero	7,63	46,75		9,05	63,43	584 375
Febrero		36,45		12,30	48,75	455 625
Marzo	8,28	24,28		16,02	48,58	303 500
Abril		43,49		17,62	61,11	543 625
Mayo	9,05	41,19		19,45	69,69	514 875
Junio	11,50	42,51	9,18	19,88	83,07	646 125
Julio	9,27	46,92	4,12	19,88	80,19	638 000
Agosto	8,62	39,56	3,62	18,58	70,38	539 750
Septiembre	6,27	38,37		19,06	63,70	479 625
Octubre		49,22		18,95	68,17	615 250
Noviembre	12,90	40,95		17,94	71,79	511 875
Diciembre	4,43	30,6		14,11	49,14	382 500
Total	77,95	480,29	16,92	202,84	777,99	6 215 125

Fuente: Municipalidad de Colorado de Abangares, 2019

Cuadro 22. Materiales valorizables por categoría Colorado 2018

Mes	Valorizable en kilogramos						
	Cartón	Plástico	Papel	Vidrio	Aluminio	Chatarra	Electrónico
Enero	3 500	750	1 600	1 500	150	100	30
Febrero							
Marzo	3 000	1 150	1 000	600	26	2 500	
Abril							
Mayo	3 000	2 000	500	1 000	50	2 500	
Junio	3 000	5 000	1 000	2 000		500	
Julio	3 500	2 500	800	1 670		800	
Agosto	4 000	3 300	200	500	20	600	
Septiembre	3 000	2 000	760	500	10	0	0
Octubre							
Noviembre	5 000	4 000	1 000	2 500	100	300	
Diciembre	2 000	1 500	400	300	40	190	
Total	30 000	22 200	7 260	10 570	396	7 490	30

Fuente: Municipalidad de Colorado de Abangares, 2019

4.3.4.2.1 Cálculo de la cantidad de residuos sólidos que se disponen en los cuerpos superficiales de Agua en Abangares

A continuación, se procede a realizar un cálculo de la cantidad de residuos sólidos que se disponen en los cuerpos superficiales de agua en el cantón de Abangares. Se utilizarán los datos de recolección de residuos del año 2018, suministrados por la Municipalidad de Abangares y la Municipalidad de Colorado, que según los datos descritos anteriormente suman un total de 3019,5 ton.

El primer paso a realizar es obtener una proyección de la población del cantón de Abangares para el año 2018, ya que el último censo de población para el cantón se realizó en el año 2011 por el INEC.

Se utilizará el método geométrico descrito a continuación:

$$Pd = Pa (1 + r)^t$$

Donde,

Pd: población de diseño en habitantes

Pa: población actual en habitantes

r: tasa de crecimiento anual

t: periodo de tiempo en años

Cuadro 23. Estimación de la población Abangares 2018 según método geométrico

Distrito	Población 2011	Tasa de crecimiento	Población 2018
Las Juntas	9 621	0,0073	10 123
Sierra	2 525	0,0105	2 717
San Juan	1 662	0,0101	1 783
Colorado	4 704	0,0084	4 989
Total	18 512		19 612

Una vez obtenida la población de diseño, se procede a estimar la cantidad de residuos sólidos que produce dicha población al año. Según el último informe del Programa de Residuos Sólidos

de Costa Rica (PRESOL), la tasa de generación de residuos sólidos del cantón de Abangares de 0,486 kg/hab/día, por lo que se obtienen:

$$0,486 \text{ kg/hab/día} * 19\ 612 \text{ hab} * 365 \text{ días} = 347\ 8972,68 \text{ kg} = 3\ 478,97 \text{ ton}$$

Realizando la resta de lo que se produce menos lo que se recolecta, se obtienen:

$$3\ 478,97 \text{ ton} - 3\ 019,5 \text{ ton} = 459,47 \text{ ton}$$

Según los cálculos anteriores, existen en el cantón 459,47 ton de residuos al año que no tienen ningún tipo de tratamiento. Según el informe de la Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) del año 2016, en nuestro país un 10% de los residuos que no son tratados se queman, 5% se tiran en huecos y 1% se tiran a los cuerpos de agua.

El resultado final nos indica que aproximadamente 4,6 toneladas o 4 600 kg de residuos sólidos se disponen en los diferentes cuerpos de agua de Abangares por año.

5. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Con la ayuda del personal del Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Costa Rica (CIEDES), se tomaron muestras de cinco diferentes puntos de muestreo:

- Parte alta: Gongolona y Aguas Claras
- Parte media: Ecomuseo y Marimba
- Parte baja: Higuerillas

Las pruebas de los diferentes parámetros son realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Costa Rica, se cuenta con un registro mensual de datos desde el año 2014 hasta el presente año.

Los parámetros contemplados en este análisis son: sólidos disueltos, color, turbiedad, Ph, alcalinidad, oxígeno disuelto, dureza, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, conductividad, temperatura y fósforo. Para los cuales, se tomará un promedio mensual para la época seca (diciembre a mayo), y otro promedio mensual para la época lluviosa (junio a noviembre), ya que las condiciones en la zona difieren bastante según la época del año en que se encuentren. Dichos promedios serán analizados y comparados para cada punto de muestreo con los límites de aprobación de los siguientes reglamentos:

- Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto No. 32327-S del 2005
- Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales Decreto No. 33903-MINAE-S del 2007
- Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto No. 33601-MINAE-S del 2007

Se realizará un análisis adicional de los parámetros bacteriológicos: coliformes fecales, *escherichia coli* y *enterococcus faecalis*, gracias a las pruebas realizadas por el Instituto de Investigaciones en Salud de la Universidad de Costa Rica para los meses de abril (época seca) y junio (época lluviosa) del año 2019, los cuales también serán comparados y regidos por los reglamentos descritos anteriormente.

Cuadro 24. Límites de aprobación de parámetros según reglamentos utilizados

Parámetro	Unidad	Límites en Reglamentos		
		Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	ppm	1000	clase 1 < 250; clase 2 250 a 500; clase 3 500 a 1000; clase 4 > 1000; clase 5 >1000	NA
Color	PtCo	225	clase 1 2.5 a 10; clase 2 10 a 100; clase 3 >100; clase 4 > 100; clase 5 >100	NA
Turbiedad	UNT	25	clase 1 < 25; clase 2 25 a 100; clase 3 100 a 300; clase 4 > 300; clase 5 >300	NA
Ph		8.5	clase 1 6.5 a 8.5; clase 2 6.5 a 8.5; clase 3 6.0 a 9.0; clase 4 5.5 a 9.5; clase 5 5.5 a 9.5	6 a 9
Oxígeno disuelto	ppm	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l (100-400)	NA	NA	NA
Dureza	mg/l (100-400)	500	NA	NA
Nitritos	mg/l	0.1	NA	NA
Nitratos	mg/l	50	clase 1 < 5; clase 2 5 a 10; clase 3 10 a 15; clase 4 15 a 20; clase 5 >20	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0.5	NA	NA
Conductividad	µs/cm	400	NA	NA
Temperatura	° C	30	NA	15 a 40
Fósforo	mg/l	NA	NA	25

Coliformes fecales	NMP/100 ml	ausente	clase 1 < 20; clase 2 20 a 1000; clase 3 1000 a 2000; clase 4 2000 a 5000; clase 5 >5000	10000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	ausente	NA	NA
<i>Enterococcus faecalis</i>	NMP/100 ml	ausente	NA	NA

Fuente: Reglamento para la Calidad del Agua Potable Decreto, 2005. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, 2007. Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, 2007. Modificado por Fernández, 2019.

Cuadro 25. Clasificación de los cuerpos de agua según su uso potencial

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	con tratamiento simple, desinfección	con tratamiento convencional	con tratamiento avanzado	no utilizable	no utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	con tratamiento simple, desinfección	con tratamiento convencional	con tratamiento avanzado	no utilizable	no utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias	sin limitaciones	sin limitaciones	sin limitaciones	con limitaciones	no utilizable
Actividades recreativas de contacto primario	utilizable	utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable
Acuicultura	utilizable	utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas	utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas	utilizable	utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable
Generación hidroeléctrica	utilizable	utilizable	utilizable	utilizable con limitaciones	utilizable con limitaciones

Navegación	no utilizable	no utilizable	utilizable	utilizable	utilizable
Riego de especies arbóreas cereales plantas forrajeras	utilizable	utilizable	utilizable	no utilizable	no utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara	utilizable	utilizable	no utilizable	no utilizable	no utilizable

Fuente: Reglamento para Evaluación y Clasificación de Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales,2007.

5.1 Resultados de muestreo

A continuación, se presenta el resumen de los promedios de los datos para cada uno de los puntos de muestreo, tanto para la época seca como lluviosa, junto con la comparación con los debidos reglamentos para cada uno de los parámetros tomados en cuenta.

Cuadro 26.Comparación de resultados Gongolona época seca

Gongolona Época Seca					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	ppm	108,030	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	51,250	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	1,140	cumple	clase 1	NA
pH		7,940	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	ppm	5,710	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	85,090	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	101,150	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,002	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,847	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,080	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	207,000	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	23,840	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	1,130	NA	NA	cumple

Cuadro 27. Comparación de resultados Gongolona época lluviosa

Gongolona Época Lluviosa					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	162,630	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	62,300	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	6,600	cumple	clase 1	NA
pH		7,790	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	7,000	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	101,800	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	117,500	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,003	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	1,060	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,030	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	207,140	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	24,600	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	0,740	NA	NA	cumple

Cuadro 28. Comparación de resultados Aguas Claras época seca

Aguas Claras Época Seca					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	141,770	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	25,750	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	2,160	cumple	clase 1	NA
pH		7,880	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	4,640	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	101,490	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	125,080	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,004	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,580	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,080	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	269,720	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	24,020	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	1,250	NA	NA	cumple

Cuadro 29. Comparación de resultados Aguas Claras época lluviosa

Aguas Claras Época Lluviosa					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	159,670	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	64,300	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	8,500	cumple	clase 1	NA
pH		9,570	no cumple	clase 4	no cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	10,850	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	142,400	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	104,330	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,005	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	1,100	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,040	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	205,660	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	24,420	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	0,200	NA	NA	cumple

Cuadro 30. Comparación de resultados Marimba época seca

Marimba Época Seca					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	187,210	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	31,250	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	58,380	no cumple	clase 2	NA
pH		8,020	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	7,480	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	97,400	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	128,250	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,008	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	1,490	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,080	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	363,000	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	26,790	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	0,880	NA	NA	cumple

Cuadro 31. Comparación de resultados Marimba época lluviosa

Marimba Época Lluviosa					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	135,300	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	25,700	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	57,600	no cumple	clase 2	NA
pH		7,960	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	9,240	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	118,670	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	106,500	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,004	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,730	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,090	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	198,600	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	26,220	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	1,140	NA	NA	cumple

Cuadro 32. Comparación de resultados Ecomuseo época seca

Ecomuseo Época Seca					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	105,000	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	35,330	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	3,260	cumple	clase 1	NA
pH		8,020	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	4,100	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	85,450	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	97,290	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,003	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,770	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,090	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	213,000	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	23,990	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	2,060	NA	NA	cumple

Cuadro 33. Comparación de resultados Ecomuseo época lluviosa

Ecomuseo Época Lluviosa					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	127,500	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	245,000	no cumple	clase 3	NA
Turbiedad	UNT	13,500	cumple	clase 1	NA
pH		7,880	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	8,760	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	118,000	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	145,500	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,003	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	1,620	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,060	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	189,280	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	24,890	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	0,450	NA	NA	cumple

Cuadro 34. Comparación de resultados Higuierillas época seca

Higuierillas Época Seca					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	Ppm	193,650	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	22,000	cumple	clase 2	NA
Turbiedad	UNT	8,500	cumple	clase 1	NA
pH		8,050	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	Ppm	8,770	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	87,480	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	124,570	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,014	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,310	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,050	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	363,000	cumple	NA	NA
Temperatura	° C	28,730	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	0,960	NA	NA	cumple

Cuadro 35. Comparación de resultados Higuierillas época lluviosa

Higuierillas Época Lluviosa					
Parámetro	Unidad	Promedio	Agua Potable	Aguas Superficiales	Vertido y Reúso
Sólidos disueltos	ppm	182,250	cumple	clase 1	NA
Color	PtCo	329,700	no cumple	clase 3	NA
Turbiedad	UNT	30,500	no cumple	clase 2	NA
pH		7,650	cumple	clase 1	cumple
Oxígeno disuelto	ppm	7,650	NA	NA	NA
Alcalinidad	mg/l	82,330	NA	NA	NA
Dureza	mg/l	90,000	cumple	NA	NA
Nitritos	mg/l	0,003	cumple	NA	NA
Nitratos	mg/l	0,040	cumple	clase 1	NA
Nitrógeno amoniacal	mg/l	0,040	cumple	NA	NA
Conductividad	µs/cm	143,800	cumple	NA	NA
Temperatura	°C	23,980	cumple	NA	cumple
Fósforo	mg/l	2,800	NA	NA	cumple

5.2 Análisis estadístico de los datos

Para poder verificar la significancia y representatividad de los datos encontrados utilizados en el análisis de la calidad del agua, fue necesario utilizar el programa software Minitab, en cual es necesario para las pruebas de alternabilidad, ANOVA, Gauss, normalidad y varianza. Todas estas pruebas se realizaron a cada uno de los conjuntos de datos de cada variable utilizada, dando como resultado que todos los parámetros son representativos.

A continuación, se presenta un ejemplo del estudio estadístico realizado, se eligió la variable turbiedad en la estación Marimba por ser una de las variables que mayores consecuencias e incumplimiento de reglamentos provoca en la cuenca del río Abangares.

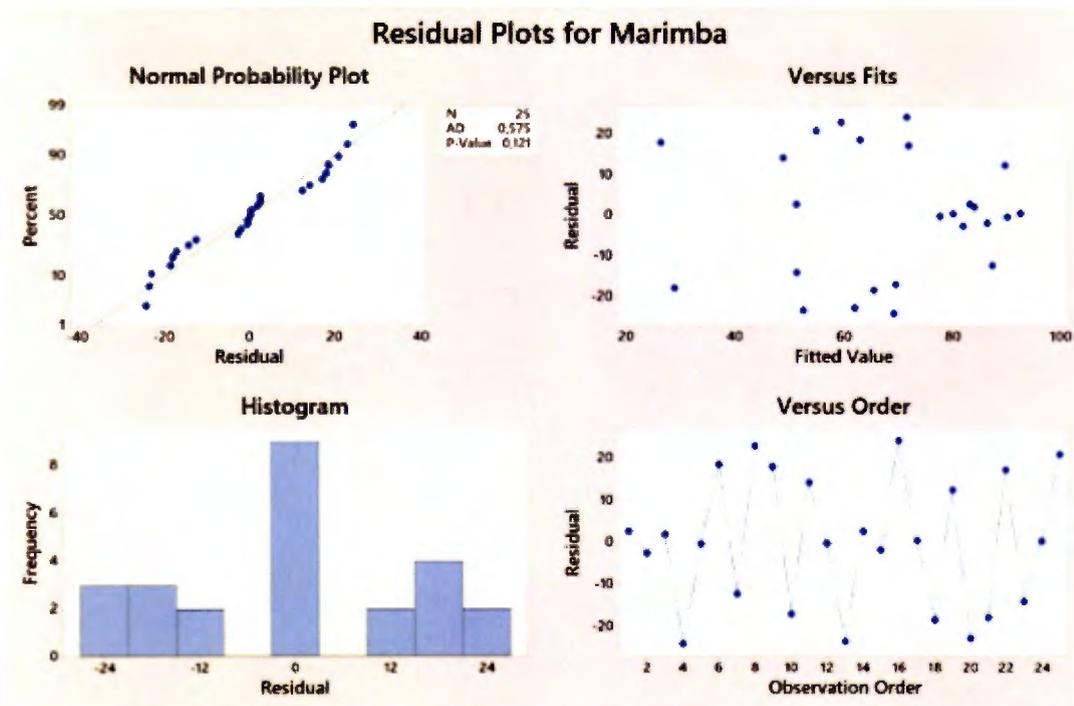


Figura 32. Análisis estadístico de la variable turbiedad en la estación Marimba
Fuente: Minitab, 2020

En la imagen anterior se muestran varias de las pruebas realizadas al modelo de datos expuesto, en el gráfico superior izquierdo podemos observar que se cumple con el principio de normalidad, el gráfico superior derecho muestra una varianza constante, el inferior derecho nos muestra la forma de una auténtica campana de Gauss y el inferior izquierdo nos muestra una aleatoriedad normal.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Mes	11	11851	1077,3	5,21	0,005
Año	2	1228	613,9	2,97	0,093
Error	11	2276	206,9		
Total	24	15321			

Figura 33. Análisis de varianza de la variable turbiedad para la estación de Marimba
Fuente: Minitab, 2020

El análisis de la varianza del modelo, nos indica, que el factor predominante y que tiene efecto sobre los datos es el factor “mes”, ya que el valor del p estadístico es menor a la significancia de 0,05. Esto solo viene a comprobar nuestra premisa de que los datos tienden a cambiar según la época del año en donde se tomen, época seca o época lluviosa.

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
14,3834	85,15%	67,59%	28,21%

Figura 34. Análisis de representatividad del modelo. Valor del p estadístico
Fuente: Minitab, 2020

Por último, en lo que respecta al análisis de representatividad, al ser el valor del estadístico R cuadrado mayor al 72,5%, el modelo logra explicar de buena forma la relación entre los datos y el comportamiento de la variable respuesta.

5.3 Análisis de resultados

5.3.1 Sólidos disueltos

Se considera como sólidos a la materia que queda como residuo después de la evaporación y secado de una muestra de agua entre 103°C y 105°C, son parámetros indicadores de la calidad del agua, en los que se pueden incluir sales disueltas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos.

Los sólidos totales disueltos en el agua potable, generalmente varían entre 20 y 1 000 mg/l, y como regla general, la dureza aumenta con el aumento de los sólidos disueltos. La prueba de sólidos disueltos debe llevarse a cabo a una temperatura de 180°C en lugar de los 103 o 105°C de los sólidos totales. La razón de la alta temperatura es la remoción de toda el agua que puede obstaculizar la prueba, la materia orgánica es generalmente baja en concentración, de manera que las pérdidas debido a las altas temperaturas son generalmente despreciables.

Los productos químicos y otros materiales que contribuyen al total de sólidos disueltos se pueden medir de manera individual. Pueden provenir de fuentes naturales, tales como

minerales o sedimentos fluviales que se producen a través de la lixiviación o la escorrentía. Otros pueden ser el producto del uso humano, por ejemplo con los agentes contaminadores en aguas residuales o escorrentía urbana y agrícola y las descargas de efluentes.

El total de sólidos disueltos puede afectar el color, olor y sabor del agua. La mayoría de las sustancias disueltas no amenazan la salud, pero pueden incitar a los consumidores a dejar de beber o usar el agua a pesar de que sea segura. La Organización Mundial de la Salud informa que en los paneles de prueba, el agua con menos de 300 mg/L de TDS tiene sabor excelente, mientras que el agua buena tiene un contenido de TDS que varía entre 300 y 600 mg/L. El agua que contiene más de 1,200 mg/L de total de sólidos disueltos es considerada inaceptable. La agencia también informa que el agua con concentraciones extremadamente bajas de TDS también puede considerarse inaceptable debido a su sabor soso e insípido.

Según la comparación realizada con los límites de los reglamentos descritos anteriormente, en cuanto a sólidos disueltos, el agua de los cinco puntos en cuestión cumple para su uso como agua potable al presentar valores menores a 1 000 ppm o mg/l y considerada, según la OMS, con un excelente sabor al presentar valores menores a 300 mg/l, donde la población no tendrá ninguna excusa para ser uso de ella como parte de su alimentación. Además, en su concepción como cuerpos de agua superficiales, al presentar valores menores de 250 mg/l se categorizan como clase 1, donde se puede utilizar el agua para cualquier fin, con una pequeña restricción en su uso potable donde se deberá someter a un tratamiento básico de desinfección.

Como se puede observar en los promedios obtenidos para cada punto de muestreo, los valores no varían de una forma drástica entre puntos o entre ambas épocas del año. Se pueden diferenciar ligeros aumentos en los sólidos disueltos en los puntos de la parte alta de la cuenca, Gongolona y Aguas Claras, según se cambia de época seca a lluviosa, lo cual se puede explicar muy fácilmente debido al aumento de los caudales y las grandes pendientes de la zona.

5.3.2 Color y turbiedad

El color y la turbiedad como propiedades físicas del agua no son dañinas para la salud humana, ya que comúnmente no se dice que cierta persona está enferma por el color del agua o cierta enfermedad se produce por el color del agua, sin embargo, estas propiedades al estar ligadas

con la cantidad de sedimentos flotantes y la cantidad de materia orgánica disuelta, las enfermedades o consecuencias, vienen dadas por estas partículas, que pueden contener patógenos. De igual forma, agua con un color notable o desagradable es causa del repudio de la población y por ende su no consumo.

El color está asociado generalmente a la cantidad de materia orgánica presente, así como la solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y arcillas. El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. El método estandarizado utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UC) es la producida por 1 mg/L de platino en la forma de ion cloroplatinato, y sus valores obtenidos son muy sensibles al pH.

La turbiedad de una muestra de agua es la reducción de su transparencia ocasionada por el material articulado en suspensión, este material puede consistir de arcillas, limos, plancton o material orgánico finamente dividido que se mantiene en suspensión por su naturaleza coloidal o por la turbulencia que genera el movimiento, por esta razón la turbiedad debe medirse directamente en campo o en su defecto durante las 24 horas siguientes del muestreo.

La principal diferencia que existe entre el color y la turbiedad, es que el color está referido al pigmento en que se descompone la luz natural, si es que tiene alguno por el motivo que fuese, o la sensación de color (azul, verde, etc.) que produce por reflejos del cielo, del sol, del fondo, de las algas u otras materias en suspensión y demás. Mientras que la turbidez se puede explicar cómo el grado de transparencia o "pureza óptica", más allá de su color, que lo da la proporción, cantidad y calidad de distintos materiales en suspensión dentro del líquido. El agua "sucia" sería un buen ejemplo de alta turbidez y la "cristalina" de falta de turbidez.

Según la reglamentación vigente de nuestro país, en cuanto a color y turbiedad, los puntos ubicados en la parte alta de la cuenca sobre el río Gongolona y Aguas cumplen como fuente de agua potable y se ubican en la clase 2 en lo referente a cuerpos de aguas superficiales, por lo que con un tratamiento convencional responsable del agua se pueden utilizar para el

consumo humano, esto se debe a que en la parte alta es donde se encuentran la mayoría nacientes y el menor desarrollo comercial y residencial de la zona. En la zona media ocurre todo lo contrario, el punto de muestreo Marimba, tanto en la época seca y lluviosa, dobla el límite admisible de turbiedad para utilizar el agua para consumo, mientras que el punto Ecomuseo, sobrepasa el límite de color de 225 PtCo del Reglamento de Agua Potable, siendo imposible su utilización para este fin, sin embargo, el Reglamento de Cuerpos Superficiales nos indica que se encuentra en la clase 3, la cual establece que con un tratamiento avanzado puede utilizarse como agua potable, tratamiento que debería tener como mínimo, un tratamiento físico primario de retención de sólidos con rejillas, un tratamiento secundario de sedimentación o floculación de partículas y un tratamiento químico terciario de desinfección por cloro. Por último, la parte baja de la cuenca representada en el punto de Higuerrillas, en la época seca cumple con los límites admisibles para utilizar el agua para consumo humano, no así para la época lluviosa, donde los valores de color y turbiedad aumentan considerablemente, por ejemplo, el color aumenta de 22 a 330 PtCo y la turbiedad de 8,5 a 30,5 UNT.

Como se comentó anteriormente, los puntos donde se empieza a tener problemas con la turbiedad y el color es a partir de la parte media, claramente respaldado por que es el lugar donde se encuentran las mayores fincas ganaderas, mayores asentamientos de población y la mayor cantidad de comercios de la zona. Se debe procurar cierta atención en estos puntos, ya que los niveles altos de turbiedad afectan el agua potable en estética, por su mala apariencia, la filtrabilidad por la resuspensión de los sedimentos y la desinfección porque las partículas flotantes pueden proteger a los microorganismos presentes de los efectos del cloro o los rayos ultravioleta, promoviendo la proliferación de bacterias. Además, la turbiedad afecta a las plantas ya que interfiere con la profundidad de penetración de la luz, impidiendo que estas tomen el sol de una forma adecuada.

5.3.3 Potencial de hidrógeno pH

La palabra pH es la abreviatura de "pondus Hydrogenium", que significa literalmente el peso del hidrógeno o el potencial del hidrógeno. El pH es un indicador del número de iones de hidrógeno que tomó forma cuando se descubrió que el agua estaba formada por protones (H⁺)

e iones hidroxilo (OH⁻). Además, el pH no tiene unidades, es expresado únicamente por un número. Cuando una solución es neutra, el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, por otra parte, cuando el número de iones hidroxilo es mayor, la solución es básica, por último, cuando el número de protones es mayor, la solución es ácida.

La escala del pH se establece en torno a lo que se considera el nivel medio, que es el nivel del agua, este recurso natural posee una acidez y una alcalinidad nula, por lo cual se considera el punto medio entre los dos extremos, el ácido y el alcalino.

La importancia de la medición del pH radica en que este parámetro nos indica que tan ácida o básica es una sustancia, es esencial para conocer las características de diferentes elementos y ambientes ya que se considera que en espacios sumamente alcalinos o sumamente ácidos no es posible la existencia de vida por la altísima o bajísima presencia de hidrógeno.

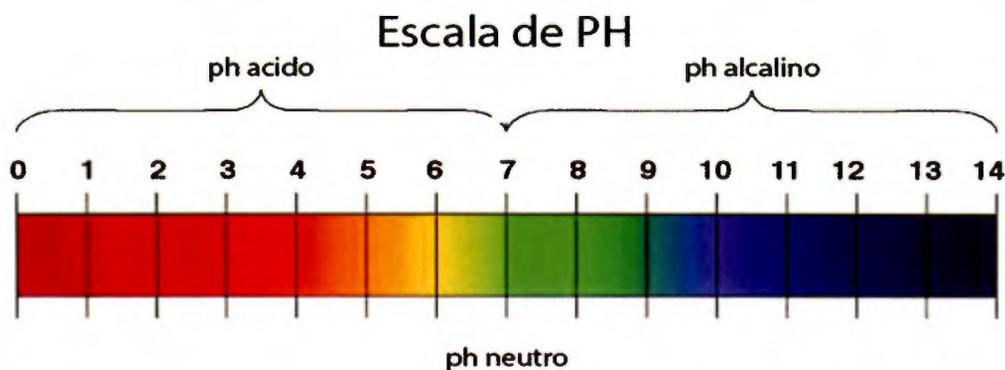


Figura 35. Escala del Ph
Fuente: Vidal, 2016

No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Antecedentes de la determinación del valor de referencia de las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que un pH inferior a 6,5 o superior a 9,2 afectaría notablemente a la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 mantuvieron el intervalo 6,5-9,2 del pH como intervalo

admisible o permisible. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció como valor de referencia para el pH un intervalo de 6,5 a 8,5, basado en consideraciones relativas a las características organolépticas del agua. Se señaló que el intervalo aceptable de pH podría ser más amplio en ausencia de un sistema de distribución. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6,5 a 9,5. (OMS, 2006)

Los valores obtenidos para cuatro de los cinco puntos de muestreo en cuestión, Gongolona, Ecomuseo, Marimba e Higuierillas, tanto para la época seca como la lluviosa, revelan valores de pH entre 7,65 y 8,10, lo que cumple los estándares de la normativa nacional y hace indicar, según el Reglamento de Agua Potable, que su uso es aceptable para consumo humano, de igual forma, el Reglamento de Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales indica que, con un tratamiento simple de desinfección, el agua puede ser potable. Por último, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, indica que la calidad del agua de los ríos en cuestión es apta para ser dispuesta en otros cuerpos receptores de ser necesario. La excepción se da en la época lluviosa en el punto de Aguas Claras, donde con un valor 9,57, su uso no es apto para el consumo humano ni para verter sus aguas en algún otro cuerpo receptor, sus usos serán restringidos a los de la clase 4, para generación de energía, navegación y para vertederos de ciertas actividades pecuarias con ciertas limitaciones. Esto debido principalmente a que valores superiores a 8,5 o entre 5,5 a 4,0 pueden modificar las propiedades organolépticas del agua (pH ácidos disuelven metales de la corteza terrestre) y ocasionar daños técnicos en infraestructura o deficiencia en los procesos de tratamiento (pH básicos forman incrustaciones en tuberías), lo que aumenta el riesgo. Una de las posibles explicaciones del valor tan alto de pH en este punto, es que se encuentra en la parte alta de la cuenca, donde prevalecen cultivos como el café con más de 350 hectáreas dedicadas, por ende, aumenta también el uso de plaguicidas con componentes que hacen mucho más alcalina el agua.

Cabe destacar, que los valores cercanos a 8 de la mayoría de los puntos, facilitan el proceso de desinfección por cloro del agua y evitan la corrosión de los sistemas de abastecimiento de agua potable, los sistemas de fontanería de los hogares, tuberías y electrodomésticos. Sin embargo, en el río Aguas Claras en época lluviosa, donde el valor superó los límites de 9, hay que tener cierta precaución con el tema de la corrosión, desinfección y sobre todo con las aguas residuales, principalmente cuando se trata de tratamientos biológicos, el pH debe controlarse y mantenerse dentro de un rango favorable para el desarrollo y desempeño adecuado de los organismos que intervienen en el proceso. Algunos procesos químicos aplicados en el tratamiento de aguas residuales también requieren rangos de pH controlados, por ejemplo, los procesos químicos de coagulación, la oxidación de algunas sustancias como el cianuro y la desecación de lodos. (Vidal, 2016)

5.3.4 Oxígeno disuelto

En el contenido de oxígeno disuelto del agua influyen la fuente de agua bruta, su temperatura, el tratamiento al que se somete y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución. El agotamiento del oxígeno disuelto en los sistemas de abastecimiento de agua puede estimular la reducción por microorganismos del nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro, y puede hacer que aumente la concentración de hierro ferroso en disolución, con el consiguiente cambio de color del agua al entrar en contacto con el aire al salir del grifo. No se recomienda ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. (OMS, 2006)

En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras el consumo dependerá de la respiración, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. También puede intercambiarse oxígeno con la atmósfera por difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto ([OD]) dependerá del balance entre todos estos fenómenos. (Goneyola, 2007).

Las fuentes que generan la concentración de oxígeno en el agua son la atmósfera por turbulencia y las plantas mediante la fotosíntesis, a mayor cantidad de oxígeno disuelto, mejor es la calidad del agua, ya que el oxígeno es el encargado de degradar la materia orgánica que está presente en el agua.

La solubilidad del oxígeno depende de los siguientes factores:

- A mayor presión, mayor solubilidad
- A mayor temperatura, menor solubilidad
- A mayor salinidad, menor solubilidad

Si bien en nuestro país no existe una normativa que tome en cuenta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, para su análisis se utilizará la Directiva 78/658/CEE y el ECA de Perú por Goneyola del año 2007.

Cuadro 36. Rangos de concentración de OD y consecuencias ecosistémicas

OD (mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	OD adecuado para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: Goneyola, 2007

Cuadro 37. Clasificación según cantidad de oxígeno disuelto

Punto de muestreo	Época Seca	Época Lluviosa
Gongolona	aceptable	aceptable
Aguas Claras	hipoxia	buena
Marimba	aceptable	buena
Ecomuseo	hipoxia	aceptable
Higuerillas	aceptable	aceptable

Como se puede observar en el cuadro anterior, los puntos Gongolona, Marimba e Higuerillas, tanto en la época seca como la lluviosa, muestran condiciones aceptables para la vida acuática y la proliferación de la vegetación, las cantidades de oxígeno son las adecuadas para que subsistan las especies acuáticas y las plantas realicen a cabalidad el proceso de la fotosíntesis. Caso contrario ocurre en los puntos de Aguas Claras y Ecomuseo en la época seca, donde las

cantidades de oxígeno disuelto son tan bajas que las especies, tanto animales como vegetales, más sensibles y vulnerables, pueden perecer por dicha ausencia de oxígeno.

El oxígeno disuelto es un indicador de la calidad del agua, conforme mayor sea la cantidad de oxígeno disuelto mejor es el agua del lugar en cuestión, esto sin llegar a los niveles de saturación. Lo que evidencia que el agua de los puntos Gongolona, Marimba e Higuierillas es de muy buena calidad y evidencia la alta producción fotosintética. Por su parte, el agua de los puntos Aguas Claras y Ecomuseo, que tienen valores menores a 5 mg/l de oxígeno disuelto, refleja que este ha sido consumido debido a la degradación de la materia orgánica, lo que también indica la presencia de bacterias en grandes cantidades.

Se puede observar, de forma muy evidente, que los niveles de oxígeno disuelto en los ríos de la cuenca, aumentan según se da la transición de época seca a lluviosa, en algunos casos hasta doblando los valores. La falta de oxígeno en el agua durante la época seca se debe principalmente al aumento de la temperatura, ya que a mayor temperatura existen mayores interacciones y procesos físicos y químicos que hacen que el oxígeno se escape.

5.3.5 Conductividad

La conductividad es una propiedad que mide la actividad eléctrica de los iones en dilución, generalmente su unidad es μ Siemens/cm, mide indirectamente el grado de contaminación de las aguas, ya que a mayor conductividad la contaminación también aumenta. Por otra parte, la conductividad eléctrica está estrechamente relacionada con la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, ya que, a mayor cantidad de partículas disueltas, la conductividad aumenta.

La conductividad es una calidad métrica importante del agua en aplicaciones industriales donde se necesita el agua con una conductancia baja específica para la fabricación. La conductividad específica es una medida de los iones presentes en el agua. Por ejemplo, si hay una cantidad alta de sal disuelta en el agua, esto afecta su conductividad. Las altas cantidades de sal también pueden hacer que el agua sea inadecuada para la irrigación agrícola, ya sea si la fuente es agua de mar o agua subterránea salobre.

Según la normativa escogida para realizar el análisis de la calidad del agua, el único reglamento que toma en cuenta la conductividad como parámetro importante es el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, el cual indica un límite máximo admisible de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los resultados obtenidos en todos nuestros puntos de muestreo reflejan valores menores a dicha cantidad, por lo que el agua es apta para el consumo humano en cuanto a la conductividad.

Como se mencionó anteriormente, la conductividad es un reflejo de la concentración de sólidos disueltos en el agua, por ende, de la contaminación, ya que entre mayor sea la cantidad de sólidos, existe mayor probabilidad de que se encuentren ciertos metales o elementos que aumenten las interacciones eléctricas en el agua. Cabe destacar, que se observa un comportamiento muy notorio en todos los puntos de muestreo, la conductividad aumenta considerablemente en época seca a causa del poco flujo presenciado en los cuerpos de agua superficiales, especialmente en las partes más bajas de la zona de estudio. Por ejemplo, el punto de muestreo Higuierillas, muestra un aumento de casi 2,5 veces de la conductividad en la época seca en comparación con la lluviosa, esto debido principalmente a que es el punto de muestreo más bajo, por ende, el más seco, el que presenta mayores temperaturas y menores pendientes. Todos estos factores sumados, hacen que exista menor cantidad de agua y menor movimiento o turbulencia en los cauces de los ríos.

5.3.6 Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro de mucha importancia debido a su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. También interfiere de forma directa en las reacciones bioquímicas y enzimáticas de los microorganismos que participan en el tratamiento de las aguas residuales.

La temperatura tiene un impacto sobre el grado de aceptabilidad del agua por parte de los consumidores. Por lo general, el agua a temperaturas cercanas a los 20°C es de mayor agrado que el agua tibia; además, el incremento en la temperatura aumenta la solubilidad de los compuestos químicos intrínsecos en la corteza terrestre, alterando las características organolépticas del agua, como el color. Altas temperaturas en el agua promueven el

crecimiento microbiano de potenciales patógenos y pueden acelerar la corrosión de las tuberías. Además, la cantidad y la tasa de absorción de los fluoruros por las encías aumentan al incrementarse la temperatura a valores entre los 37-43°C. (AyA, 2018)

Todos los puntos de muestreo cumplen con los límites admisibles por los reglamentos en cuestión, por lo tanto, en cuanto al parámetro de temperatura, el agua de la zona es admitida para su uso como agua potable, pues los valores son menores a 30 grados centígrados, y también para ser dispuesta en cualquier otro cuerpo de agua superficial, ya que los valores se encuentran entre los 15 y los 40 grados centígrados.

Como era de esperarse, los menores valores de temperatura y los que varían menos, los encontramos en los puntos de Gongolona y Aguas, ya que son los dos puntos de mayor altitud y se encuentran en zonas con mayor vegetación boscosa, donde los árboles ofrecen una estabilidad en la temperatura al proteger el río de los rayos solares. El punto que presentó mayor temperatura fue el de Higuierillas, que también era de esperarse por ser el más bajo y acercarse más a la costa.

5.3.7 Nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal

El nitrato y el nitrito son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario, especialmente para las carnes curadas. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer la formación y persistencia del nitrito. La cloraminación podría ocasionar la formación de nitrito en el sistema de distribución si no se controla debidamente la formación de cloramina. (OMS, 2006)

El contenido de nitritos es un indicador de la descarga reciente de materia orgánica en el cuerpo de agua, ya que es generado por la oxidación del amoníaco liberado en la descomposición de compuestos orgánicos, por ende, es un indicativo de contaminación de

carácter fecal reciente. En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0,1 mg/l. Los nitritos en concentraciones elevadas, al igual que muchos otros elementos, pueden traer consecuencias negativas a la salud humana, ya que reaccionan dentro el organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno y tóxico. Según el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, la cantidad de nitritos no debe de superar 0,1 mg/l para poder utilizarse para consumo humano, los resultados obtenidos para todos los puntos de muestreo reflejan un orden de magnitud menor al límite establecido, por tanto, dicha agua se considera apropiada para el consumo humano.

Los nitratos surgen de la nitrificación de los nitritos y utilización de fertilizantes nitrogenados. Son compuestos más estables que los nitritos, por lo que permanecen más tiempo en el ambiente y son absorbidos por las plantas como nutrientes. Los nitratos en el agua potable son medidos ya sea en términos de la cantidad de nitrógeno presente como oxígeno. El estándar federal para el nitrato en agua potable es de 10 mg/l nitrato-N, o 50 mg/l nitrato-NO₃, cuando el oxígeno es medido a la vez que el nitrógeno. Las aguas con mayor cantidad de nitratos reflejan aguas contaminadas con mucha anterioridad, por lo que representan poco riesgo para la salud pública, razón por la cual, sus límites son más elevados en la reglamentación nacional e internacional. Las concentraciones de nitratos obtenidas son muy bajas e inferiores a los límites máximos propuestos por los reglamentos comparados, donde el menor límite permitido es de 5 mg/l en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, para ubicarse en la clase 1 y poder clasificarse como agua de consumo humano con un simple tratamiento de desinfección. Los valores obtenidos oscilan entre 0,00 mg/l y 2 mg/l, donde además cumplen con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable que exige un valor máximo de 50 mg/l.

El nitrógeno amoniacal está presente en las excretas de los seres vivos, y luego es oxidado para formar nitritos, por tanto, es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales. Las concentraciones naturales en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/L, pero las aguas subterráneas anaerobias pueden contener hasta 3 mg/l. Según el Reglamento para la Calidad del Agua

Potable, el valor del límite máximo admisible es de 0,5 mg/l de nitrógeno amoniacal, si tomamos como referencia este valor, todos nuestros puntos de muestreo cumplen para ser fuentes de agua potable.

Sin embargo, dicho reglamento también cita un valor recomendado de 0,05 mg/l, con el cual es preciso comparar y hacer análisis de los puntos de muestreo debido a la importancia que tiene este parámetro con las bacterias presentes en las excretas tanto de humanos como de animales, considerando además que los principales riesgos a los que está sometido el recurso hídrico en la cuenca son la ganadería y la falta de sistemas adecuados para las aguas residuales domésticas. En época seca, los valores de nitrógeno amoniacal en todos nuestros puntos de muestreo rondan los 0,08-0,09 mg/l, superando el límite recomendado de 0,05 mg/l, lo que puede indicar mayor presencia de bacterias dañinas para la salud humana, en estos casos es recomendable realizar pruebas de coliformes totales, coliformes fecales, *escherichia coli* y *enterococcus faecalis*.

Por otra parte, en todos los sistemas de distribución de agua en los que se practique la desinfección con cloro, se deberá monitorear estrecha y regularmente la concentración de desinfectantes, la calidad microbiológica y la concentración de nitrito. Si se detecta nitrificación (por ejemplo, disminución de las concentraciones residuales de desinfectantes y aumento de las concentraciones de nitrito), se deben adoptar medidas para modificar los tratamientos o la composición del agua con objeto de preservar su inocuidad, pero sin que se vea afectada la eficacia de la desinfección.

5.3.8 Fósforo

El fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas, participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos. El fósforo se encuentra en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el suelo es baja. Existe un equilibrio entre el fósforo en la fase sólida del suelo y el fósforo en la solución del suelo. Sus principales fuentes son los detergentes, fertilizantes y carnes crudas.

En aguas residuales el contenido de fósforo es alto para residuos domésticos o con altos contenidos de detergentes. El Reglamento de vertido no regula la cantidad de fósforo, sin embargo, para cantidades de fosfatos superior al rango 0,1 – 0,7 mg/l, se tendrán superpoblaciones de algas y plantas verdes. (Vidal, 2016)

Al favorecer el crecimiento de algas y cianobacterias en el agua, y al haber grandes concentraciones de este se favorece la eutrofización. El cual, es un proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.).

Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, poseen concentraciones bajas de nutrientes, poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos.

Si tomamos en cuenta los resultados obtenidos en todos nuestros puntos de muestreo, podemos observar que todos poseen valores bastantes bajos en comparación al límite de 25 mg/l que propone el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, por lo que las aguas de la cuenca, en cuanto a fósforo, son aptas para ser dispuestas o redirigidas a cualquier otro cuerpo receptor. Sin embargo, si tomamos en cuenta el rango antes mencionado de 0,1 a 0,7 mg/l, todos nuestros puntos lo sobrepasan en la época seca, favoreciendo el proceso de eutrofización y la generación y acumulación de bacterias, esto debido principalmente al clima cálido de la zona que favorece dicho proceso y a que durante la época seca los caudales tienden a disminuir considerablemente, cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal son más propicios para el desarrollo del proceso.

Es importante tener en cuenta que la concentración de fósforo en los diferentes puntos de la cuenca puede controlarse evitando las descargas de aguas municipales en el cauce y limitando la cantidad de fertilizantes fosfatados utilizados en los cultivos de la parte alta de la cuenca. Si bien, en los puntos y tramos de estudio no hay grandes efluentes de aguas municipales, se observan en la zona tuberías conectadas desde algunas casas, las cuales descargan directamente en el río.

5.3.9 Dureza

La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico y depende en gran parte del tipo de suelo por donde fluye.

Según cierta literatura propuesta por la Organización Mundial de la Salud, existen ciertos rangos de clasificación de dureza, de 0 a 75 mg/l se considera un agua blanda de dureza suave, de 75 a 150 mg/l se considera moderadamente dura, de 150 a 300 mg/l dura y para cantidades mayores a los 300 mg/l se considera al agua como muy dura.

En función del pH y de la alcalinidad, una dureza del agua por encima de 200 mg/l aproximadamente puede provocar la formación de incrustaciones, sobre todo en las calefacciones y tuberías. Las aguas blandas con una dureza menor que 100 mg/l aproximadamente tienen una capacidad de amortiguación baja y pueden ser más corrosivas para las tuberías. Varios estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos han demostrado la existencia de una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua de consumo y las enfermedades cardiovasculares. Existen algunos indicios de que las aguas muy blandas pueden producir un efecto adverso en el equilibrio mineral, pero no se disponía de estudios detallados para su evaluación. (OMS, 2006)

Según la normativa nacional, no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza. No obstante, el grado de dureza del agua puede afectar a su aceptabilidad por parte del consumidor en lo que se refiere al sabor y a la formación de incrustaciones. Razón por la cual, el Reglamento para la Calidad del Agua Potable establece un valor límite de referencia de 500 mg/l basado en consideraciones sobre el sabor y el uso

doméstico. Tomando dicha consideración y los resultados de los puntos de muestreo, que rondan los 90 a 145 mg/l, el agua de la cuenca se categoriza como moderadamente dura y es considerada apta y agradable para el consumo humano.

Existen dos claras excepciones en los valores obtenidos después de las pruebas de laboratorio, que claramente son los dos límites, inferior y superior. En el punto de Higuierillas en la época seca se presenta el valor 90 mg/l, el cual evidencia la presencia de aguas blandas que pueden contribuir más rápidamente a la corrosión de los sistemas de abastecimiento de agua como tuberías y platería de los hogares. El valor de 145 mg/l se da en el punto de Ecomuseo, si bien es un valor que no tiene mucha incidencia negativa según lo descrito anteriormente, vale la pena hacer mención ya que es el valor más elevado. El punto de Ecomuseo se encuentra en la zona media de la cuenca, la cual es la zona con mayor desarrollo residencial y comercial. Por ende, el aumento en la dureza se puede explicar fácilmente, teniendo en cuenta que en esta zona existe mayor utilización de detergentes para higiene de la población, los cuales están cargados de agentes que aumentan la dureza, principalmente los carbonatos y residuos insolubles.

5.3.10 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar ácidos; propiedad impartida por carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y, ocasionalmente, boratos, silicatos y fosfatos, también se describe como la medida de la capacidad de una disolución acuosa, para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base. Se expresa en miligramos de carbonato cálcico equivalente por litro (mg CaCO₃/l).

La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa.

El control de la alcalinidad y del contenido de calcio también contribuye a la estabilidad del agua y a controlar su capacidad corrosiva de tuberías y electrodomésticos. Si no se reduce al

mínimo, la corrosión puede provocar la contaminación del agua de consumo y efectos adversos en su sabor y aspecto. El pH óptimo necesario variará en distintos sistemas de abastecimiento en función de la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero suele oscilar entre 6,5 y 8. Pueden producirse valores de pH extremos como consecuencia de vertidos accidentales, averías de las instalaciones de tratamiento, y del revestimiento de tuberías con mortero de cemento poco curado o la aplicación del revestimiento cuando la alcalinidad del agua es baja. (AyA, 2016)

La alcalinidad del agua en concentraciones normales o reguladas no es perjudicial para la salud humana, es preferible a su acidez, todas las fuentes contaminantes provenientes de la industria y los medios de transporte hacen que la lluvia ácida está en aumento; y la alta alcalinidad del agua actúa como un amortiguador que neutraliza ese exceso de acidez.

Muchas personas son conscientes de lo preocupante que resulta un exceso de acidez en el agua; pero una alcalinidad excesiva también puede ser perjudicial con una vasta exposición a largo plazo, ya que tiene efectos principalmente en la piel, causando resequedad y brotes, además hay que tener presente que el exceso de alcalinidad en un ecosistema puede reducir su capacidad para sustentar la vida que hay en él.

Por el momento no existe en vigencia ningún reglamento que tome en cuenta y cuantifique la alcalinidad en nuestro país, sin embargo, la Organización Mundial de la Salud la categoriza de la siguiente forma: cantidades menores a los 75 mg/l poseen una alcalinidad baja, entre 75 y 150 mg/l se describe como una alcalinidad media y mayor a 150 mg/l alta. Todos los puntos de muestreo de nuestro análisis registran valores que se encuentran los 75 y 150 mg/l por lo que nuestra cuenca posee una alcalinidad media, lo que hace al agua potable, sin cantidades que afecten los sistemas de distribución y un ambiente balanceado para la proliferación de vida vegetal y animal.

Cabe destacar, que todos nuestros cinco puntos mostraron un comportamiento muy similar: un aumento de la alcalinidad en la época lluviosa, este resultado se puede atribuir al lavado de rocas constituidas por carbonatos, las cuales contribuyen a la alcalinidad en el agua.

5.3.11 Coliformes fecales, escherichia coli y enterococcus faecalis

Gracias a la participación del Laboratorio de Microbiología de Alimentos y Aguas del Instituto de Investigaciones en Salud INISA, se pudieron tomar y analizar muestras para realizar el estudio y análisis de estos parámetros tan delicados para la salud pública. Las muestras fueron tomadas a inicios del mes de abril, para representar la época seca y a mediados del mes de junio del presente año, para representar la época lluviosa y se muestran a continuación:

Cuadro 38. Resultados de muestra del 5 de abril de 2019 (época seca)

Punto de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)
Aguas Claras	110	110
Gongolona	46	33
Marimba	130	130
Canal del Sur	1 600	1 600

Fuente: INISA, 2019

Cuadro 39. Resultados de muestra del 15 de junio de 2019 (época lluviosa)

Punto de muestra	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	<i>Enterococcus faecalis</i> (NMP/100 ml)
Aguas Claras	1 600	1 600	1 600
Gongolona	540	540	1 600
Marimba	1 600	540	1 600
SantaLucía	70	4,5	17
Canal del Sur	540	350	1 600

Fuente: INISA, 2019

Los coliformes fecales o termorresistentes son bacterias anaeróbicas facultativas, no esporuladas, Gram negativas, que pueden fermentar la lactosa a $44,5 \pm 0,2$ °C, en un período de 24 horas. Comprenden el género *Escherichia* y en menor grado especies de *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. Están presentes en grandes cantidades en las heces de animales de sangre caliente y del ser humano. Su presencia en aguas o alimentos sirve de indicador indirecto de contaminación fecal y del riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas intestinales.

Escherichia coli (E. coli) son bacterias gram-negativo y son un tipo de bacterias coliformes fecales que se encuentran comúnmente en los intestinos de los animales, son tan pequeños que no se pueden ver sin un microscopio, sin embargo, su crecimiento puede verse como colonias en medios de agar (como gelatina) en condiciones especiales. La mayoría de las bacterias E. coli no causan enfermedad, pero si una persona se enferma de E. coli, el sitio primario de infección es el tracto gastrointestinal y los síntomas pueden incluir náusea, vómito, diarrea y fiebre. Esta bacteria vive y crece de forma natural en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y los animales, pero si entra en el lugar equivocado en el cuerpo, por ejemplo, los riñones o la sangre, puede causar enfermedad.

La presencia de E. coli en el agua es una fuerte indicación de una reciente contaminación de aguas residuales o contaminación de residuos de animales. Las fuentes de contaminación fecales de humanos y animales representan un grave riesgo para la salud debido a la alta probabilidad de la existencia de agentes patógenos en los residuos fecales. Un patógeno es un microorganismo que puede causar enfermedades y causar enfermedades en las personas. El ganado vacuno, cerdos y gallinas también acarrean patógenos que pueden causar enfermedades y pueden transmitirse de animales a humanos. (AyA, 2016)

Por su parte, los enterococos forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal humano. Las especies más frecuentes en los aislamientos son *E. faecalis* y *E. faecium*.

Los enterococos también pueden estar presentes en suelo, alimentos, agua, plantas, animales e insectos y suelen considerarse buenos indicadores de contaminación fecal debido a que son muy resistentes a condiciones adversas. El uso de enterococos como un indicador de contaminación fecal de aguas con fines recreativos fue recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados *faecalis* es considerado como un indicador de contaminación fecal de fuentes humanas, mientras que *E. faecium* y otras especies indican contaminación de otras fuentes.

Según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable de nuestro país, la cantidad de coliformes fecales, e.coli y e.faecalis debe ser nula para considerar el agua para consumo

humano, por lo que observando los resultados obtenidos los pasados meses de abril y junio, ninguno de los puntos son aptos para el consumo. Si tomamos en cuenta el Reglamento de Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales, la cuenca estaría categorizada como clase 3, lo que nos indica que el agua puede utilizarse para diversas actividades como la generación hidroeléctrica, navegación, riego de plantas de forraje y para abrevaderos agropecuarios. Para utilizarse como agua potable, debe realizarse un tratamiento avanzado, que utilice un proceso primario, secundario, terciario y desinfección. Por último, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, nos indica que el agua de los diferentes puntos de muestreo si puede ser dispuesta en cualquier otro cuerpo receptor al contar con menos de 10.000 NMP/100 ml de coliformes fecales.

Cabe destacar, que los puntos de muestreo están ubicados estratégicamente en la cuenca, donde se puede obtener información de la parte alta, media y baja y en ambas estaciones, seca y lluviosa. Razón por la cual, los resultados obtenidos en cuanto coliformes fecales y ambas bacterias son de alarmarse, para notificar a las autoridades competentes y para empezar controles y procedimientos que mejoren esta situación. Como se mencionó anteriormente en el capítulo de riesgos de la zona, estos resultados son causados por la actividad ganadera y sus malas prácticas, así como los ineficientes sistemas de aguas residuales que tienen más del 90 % de los hogares del cantón de Abangares.

5.3.12 Resumen de clasificación de cada uno de los puntos de muestreo

Cuadro 40. Clasificación de los puntos de muestreo según los reglamentos en cuestión

Punto de muestreo	Agua Potable	Cuerpos Superficiales	Vertido y Reúso
Aguas Claras	no apto	clase 4	apto
Gongolona	no apto	clase 2	apto
Marimba	no apto	clase 2	apto
Ecomuseo	no apto	clase 3	apto
Higuerillas	no apto	clase 3	apto
Canal del Sur	no apto	-	-

Nota: no se cuenta los datos suficientes para poder realizar un estudio del Canal del Sur referente al reglamento de cuerpos superficiales y vertido y reúso de aguas.

6. INSTRUMENTACIÓN Y PLAN DE CONTROL PARA MEJORAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA

6.1 Recomendaciones sobre instrumentación, acciones y procedimientos

6.1.1 Sistema de riego por goteo

Alrededor del mundo, la demanda de agua por agricultura ronda el 75-80 % del consumo total de las personas y sus actividades socioeconómicas, para nuestro proyecto, en la zona de la cuenca del río Abangares, abarca casi el 92% de la demanda total, esto por deberse a un sector del país sumamente productivo en el sector agropecuario. Razón por la cual, es la demanda que más importancia debería atraer a los gobiernos locales y los productores.

Los sistemas de riego utilizados para los cultivos que demandan mayor cantidad de hectáreas y de agua son demasiado ineficientes en nuestro país, esto debido a la falta de reglamentación en el tema, falta de inversión, sobre todo, por ser un país donde el recurso hídrico es abundante y la mayoría de personas piensan que nunca va llegar a ser problema.

El riego por inundación es el más utilizado en nuestro país para sembradíos de mucha superficie y como se mencionó anteriormente, tiene una eficiencia del 50%. Por su parte, el riego presurizado con rotor o spray, por aspersion o microaspersion tiene una eficiencia del 70% y por el último, el riego por goteo tiene una eficiencia del 90%.

Una de las principales recomendaciones a tomar en cuenta para mejorar el control, gestión y disponibilidad del recurso hídrico en la zona, es cambiar los sistemas de riego actuales por sistemas de riego por goteo, con los cuales aumenta la eficiencia de la actividad y se ahorra gran cantidad de metros cúbicos de agua.

El riego por goteo es un método de aplicación de agua, nutrientes y agroquímicos directamente a la zona radicular de las plantas en proporción controlada, lo que permite obtener máximos

resultados en producción y calidad de cosecha y minimizar al mismo tiempo el uso del agua, energía y otros recursos.

Al controlar la frecuencia y la proporción en que el agua es aplicada, la humedad del suelo se optimiza. Las grandes variaciones en la humedad del suelo causan estrés a las plantas y afecta el crecimiento y la producción. El riego por goteo es una herramienta de manejo de cultivos, que cuando se opera correctamente, minimiza el estrés en las plantas.

6.1.1.1 *Ventajas*

- Aumento de la eficiencia, uniformidad y ahorro en el uso del agua para riego, debido a mayor producción de los cultivos sin incremento en la aplicación de agua.
- Reducción de los usos no beneficiosos del agua, tales como: evaporación, escorrentía superficial, percolación profunda.
- Reducción del volumen de riego aplicado, especialmente en zonas áridas, calientes y frente a sistemas de riego que mojan toda la superficie del suelo, como el riego por inundación encontrado en la provincia de Guanacaste, excepto si se utiliza para la germinación, emergencia e implantación del cultivo.
- Independencia de las condiciones meteorológicas (viento y elevadas temperaturas) para el riego, al contrario que en riego por aspersión.
- Mejor manejo de fertilizantes y pesticidas que se inyectan al sistema localizándose en el lugar y momento más adecuados, lo que aumenta su eficacia y reduce las pérdidas por lavado.
- Menores efectos externos sobre la calidad de las aguas debido a que la aplicación de riegos frecuentes y ligeros reduce el lavado de nutrientes y agroquímicos por debajo de la zona de raíces.
- -Es posible mantener el nivel de humedad en el suelo más o menos constante y elevado, sin que lleguen a producirse encharcamientos que provoquen la asfixia radicular o faciliten el desarrollo de enfermedades.

- Posibilita la utilización de aguas de menor calidad, debido a la alta frecuencia de riego, que hace que las sales estén más diluidas, disminuyendo su efecto osmótico y lavando de forma continua el bulbo húmedo que se forma alrededor del gotero.
- Facilita el control de malas hierbas, ya que éstas se localizan tan sólo en el área húmeda.

6.1.1.2 *Ventajas de tipo económico y de manejo*

- El gasto energético es menor, debido a la reducción de los consumos de agua y a las menores necesidades de presión.
- Se reduce la mano de obra necesaria para el manejo del riego.
- Se presta a una fácil automatización.
- Ahorro en la utilización de fertilizantes y agroquímicos
- Es fácil de transportar e instalar, ya sea manual o mecánicamente
- Es fácil de manejar debido a lo compacto y simplicidad de su diseño.

6.1.1.3 *Desventajas*

- Los errores de diseño son difíciles de resolver porque la mayor parte del sistema está enterrado.
- Facilidad de obturación de los emisores.
- Aumento del costo inicial de las instalaciones respecto a otros sistemas de riego.
- Necesidad de presión para su funcionamiento.
- Creación de zonas de acumulación salina, debido al lavado localizado de sales, de forma que son necesarios riegos por inundación u otro sistema para el lavado de sales.
- Acumulación de sales sobre las líneas portagoteros y, particularmente, cerca de la superficie del suelo, perjudicando la germinación y emergencia de las plántulas.

Además del cambio en los sistemas de riego, en la agricultura es muy importante adoptar medidas preventivas y de mitigación que mejoren las repercusiones de esta actividad y su entorno, tales como:

- Establecimiento y operación de sistemas eficaces en función de los costos que permitan supervisar la calidad del agua destinada a usos agrícolas.

- Prevención de los efectos negativos de las actividades agrícolas sobre la calidad del agua utilizada en otras actividades sociales y económicas y sobre las tierras húmedas, entre otros medios, mediante el aprovechamiento óptimo de los insumos agrícolas y la reducción, en la medida de lo posible, del uso de insumos externos en actividades agrícolas.
- Establecimiento de criterios biológicos, físicos y químicos de calidad del agua para los usuarios agrícolas de los recursos hídricos y para los sistemas marinos y fluviales.
- Prevención de la escorrentía de los suelos y la sedimentación.
- Eliminación adecuada de las aguas residuales procedentes de asentamientos humanos y del abono producido por una ganadería intensiva.
- Reducción de los efectos negativos de los productos químicos agrícolas mediante la utilización de sistemas de manejo integrado de plagas.
- Educación de las comunidades en lo relativo a los efectos contaminantes del uso del fertilizantes y productos químicos sobre la calidad del agua y la higiene de los alimentos.

6.1.1.4 *Presupuesto preliminar para un sistema de riego por goteo*

Con la ayuda de la empresa Durman Esquivel, la señora Lorena Cerdas, gerente de Riego y el agente de ventas e ingeniero de proyectos de la zona de Guanacaste, Berardo Cubero Gallo, se logra tener los datos necesarios para poder estimar un presupuesto preliminar de un sistema de riego por goteo.

Los sistemas de goteo, varían conforme al tipo de cultivo que se quiere implementar, las condiciones del terreno, el clima de la zona, topografía y si se necesita sistema de bombeo. Por ejemplo, para el cultivo de cítricos como la naranja, o como el limón mandarino y mesino, presentes en la zona, con sistema de bombeo y mangueras autocompensadas, se estima un costo de \$2 800 por hectárea. Como principal experiencia, se puede citar un sistema de riego por goteo para cítricos, instalado por la empresa Durman Esquivel en el cantón de La Cruz de Guanacaste con una extensión de 420 hectáreas.

Para cultivos extensivos como la caña de azúcar, maíz y frijoles, el costo es mucho menor, debido a que disminuye la complejidad del sistema, aunque se cuenta con mangueras de grosores considerables, hablamos de un costo de \$1 500 por hectárea. La empresa Exporpack se ha encargado de implementar sistemas como estos en el sector de Cañas y cercanías con gran éxito.

Para frutas como el melón, sandía y papaya se cuenta con un costo de \$1 300 por hectárea, ya que utiliza una manguera delgada y de una sola temporada, siendo la empresa Exporpack nuestro ejemplo más claro de la eficiencia del sistema, en sus plantaciones de melón para exportación.

Por último, contemplando que la zona de Abangares cuenta también con pequeños agricultores que siembran en sus casas en pequeñas parcelas, legumbres y hortalizas, se propone el siguiente sistema de riego por goteo a pequeña escala, para parcelas de 500 a 700 m² con un costo de \$370.

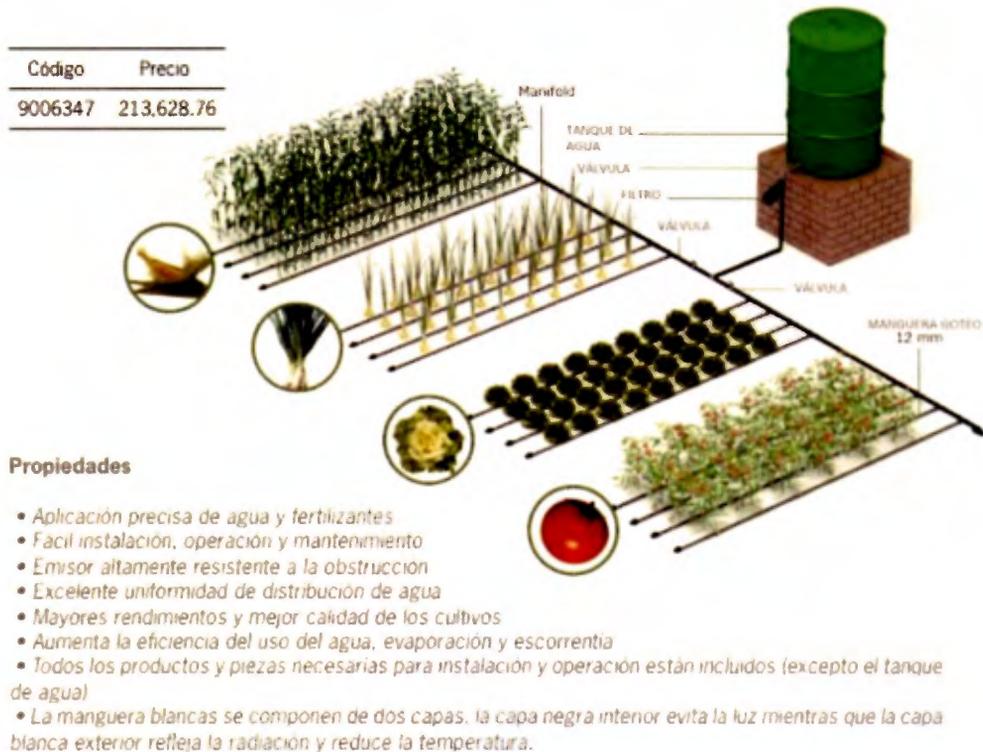


Figura 36. Sistema de riego por goteo a pequeña escala
Fuente: Durman Esquivel, 2019

6.1.2 Manejo de excretas

Las fincas lecheras tienden a acumular excretas en la sala de ordeño, en las áreas de suplementación y descanso, y en los repastos, debido a que usualmente se tienen cargas animales elevadas. Por otra parte, las fincas de ganado extensivo, si bien no acumulan las heces en un lugar en particular, producen cantidad excesivas que van a dar a los suelos, cuerpos de aguas superficiales y mantos acuíferos.

Realidad que se ve reflejada claramente en la zona de Abangares, con los resultados de las pruebas de calidad realizadas a lo largo de la cuenca, donde los resultados de parámetros como los coliformes fecales, escherichia coli y enterococcus faecalis sobrepasan los límites de los reglamentos nacionales hasta en tres órdenes de magnitud.

El paso más simple de manejo de excretas es la distribución de las deyecciones que quedan en el aparcadero luego del pastoreo; ello contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y evita los acúmulos de excretas que en el pastoreo siguiente afectan negativamente el consumo del pasto que allí crece. Adicionalmente deben tenerse métodos de recolección, procesamiento y almacenamiento de las excretas acumuladas en las instalaciones; esto se puede convertir en un recurso útil como fertilizante o combustible en las fincas, pero si no se tratan, son un contaminante de aire, agua y suelos.

Debido a las restricciones dictadas por el Ministerio de Salud, se debe contar con un plan de manejo de los remanentes producidos por la actividad ganadera. Un bovino adulto produce por día 22 kg de estiércol, existen varias opciones para su manejo: tanques sépticos, tanques de separación de sólidos, lagunas de oxidación, biodigestores y producción de abonos orgánicos. Considérese que, si se debe incurrir en un gasto para tratar el remanente, lo más recomendable es tener un beneficio o uso productivo de los mismos; tal es el caso del biogás o la producción de abonos orgánicos para los cultivos, entre ellos los forrajes de piso o de corte.

6.1.2.1 Características de un buen sistema de manejo de excretas

- Que permita un aseo adecuado
- Que facilite la remoción del estiércol
- Que consuma poca agua
- Que demande poca mano de obra
- Que conserve las propiedades nutritivas
- Que facilite el almacenado suficiente
- Que suprima la emisión de olores ofensivos
- Que permita el tratamiento adecuado al tipo de producto a obtener
- Que elimine patógenos

La deshidratación al sol y las lagunas de oxidación son metodologías que necesitan gran área superficial y la utilización de grandes cantidades de agua, por lo que la recomendación

fundamental para la zona de Abangares es relacionada con la utilización de biodigestores. El biodigestor es una estructura en la cual se fermentan excretas de animales o incluso del ser humano y se obtiene un gas llamado Biogás, que además es un buen fertilizante líquido que sale al final del proceso. Artesanalmente, el gas puede utilizarse para cocinar, calentar agua, iluminar, calentar cerditos pequeños o aves por medio de un calentador, e industrialmente para generar electricidad. Se establecen dos alternativas:

- Realizar un plan de manejo y recolección de excretas, autoridades competentes, empresas y dueños de fincas en conjunto, para trasladarlas a los biodigestores existentes en la zona, de empresas tales como la Dos Pinos. Donde los dueños de las fincas logren algún incentivo o beneficio, como abono para sus fincas, productos para alimentación o limpieza o hasta dinero.
- Promover la construcción de biodigestores artesanales en las fincas, con el fin de que los involucrados generen beneficios, ya sea abono o biogás, a partir de las heces de los animales. Proponer la posibilidad de que la municipalidad o instituciones públicas interesadas subsidien a los finqueros con algún tipo de ayuda inicial para la construcción de dichos biodigestores.

El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), en colaboración del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), elaboraron una guía para la creación e instalación de un biodigestor casero que se resume a continuación:

- Construcción del hueco donde se instalará el biodigestor cerca de la fuente de excretas.
- Marcado de pendientes a 45 grados y confección de lugares donde se van a colocar las alcantarillas.
- Colocación de los bloques de concreto donde se asentarán las alcantarillas y no se hundan en la tierra.
- Colocación de plástico para aislar al biodigestor de la humedad del suelo.
- Colocación de alcantarillas sobre el plástico y sobre el bloque de cemento cubierto por el plástico negro.

- Colocación de la válvula de salida del biodigestor, la cual consta de un empaque de hule para proteger el plástico, una arandela rígida de metal y una unión macho de PVC.
- Transporte y colocación de una doble bolsa plástica en el hueco del biodigestor, la cual asegura una mayor resistencia y vida útil del biodigestor.
- Instalación de la válvula de seguridad del biodigestor y de donde se conecta la tubería de PVC hacia el punto de consumo.
- Se infla la doble bolsa plástica con sopladora eléctrica, se llena de agua hasta establecer el sello de agua, lo que ocurre cuando alcanza un nivel que sobrepase los 20 cm sobre el borde superior de las alcantarillas.
- Instalación del alimentador de excretas, que puede ser un estañón de 200 litros, conectado de la base a la bolsa plástica tubular.
- Instalación de tubería de PVC para traslado de gas al lugar de consumo



Figura 37. Proceso de construcción e instalación de un biodigestor
Fuente: INTA, 2010

6.1.2.2 *Presupuesto preliminar para un biodigestor tradicional casero*

El biodigestor propuesto por el INTA, es de fácil instalación, económico y no se necesita de mano de obra especializada para su creación, que lo convierte en una excelente alternativa para el manejo de las excretas en las fincas y que estas tengan una retribución económica o beneficio.

Considerando que se cuenta con el espacio necesario en una finca ganadera para su construcción y contemplando las medidas de 8 metros de largo y 2 metros ancho, se puede

lograr dar un estimado del costo de un biodigestor para las personas de la zona que quieran implementarlo.

Cuadro 41. Presupuesto aproximado para biodigestor tradicional casero

Presupuesto aproximado biodigestor			
Material	Cantidad	Precio unitario	Total
Bloque concreto (15x20x40)	30	Ø560	Ø16 800
Alcantarilla concreto (90 cm)	2	Ø34 000	Ø68 000
Rollo de plástico negro	12	Ø650	Ø7 800
Tubo sanitario PVC 3 pulg.	4	Ø12 400	Ø49 600
Válvula de seguridad	2	Ø4 000	Ø8 000
Ecotank 55 galones	1	Ø40 000	Ø40 000
Cercha de madera (techo)	1	Ø55 000	Ø55 000
Lámina teja plástica (techo)	16	Ø3 300	Ø52 800
Cumbrera	6	Ø3 500	Ø21 000
Accesorios tubería	1	Ø12 000	Ø12 000
Total			Ø331 000
15% ferretería local			Ø380 650

Fuente: Construplaza, 2019

6.1.3 Prevención y manejo del sobrepastoreo

La rotación del pastoreo en base al crecimiento de los pastos está eliminando muchos problemas que se presentan con el sobrepastoreo. Los animales suelen preferir un mismo lugar para pastar, por eso es importante inspeccionar el terreno continuamente para ubicar áreas desnudas y para apartar el ganado de ellas, es necesario identificar los lugares favoritos del ganado y desviarlos de esa área. Algunas hierbas pueden crecer muy rápido y es prudente identificarlas para formular un patrón de rotación, en los lugares con frecuentes precipitaciones es conveniente rotar a menudo. El período de rotación siempre debe ser flexible y combinado según las necesidades de los animales y los recursos de las tierras. Con un buen conocimiento de rotación y menos utilización de productos químicos el sobrepastoreo puede dejar de ser un problema.

Entre otras soluciones claves consisten en la compresión de la tasa de crecimiento de las plantas ya que cada especie de planta necesita más, o menos tiempo para crecer hasta alcanzar

la madurez. Controlar los accesos y eliminar los obstáculos a la movilidad en los pastos comunales. Utilizar métodos de conservación del suelo y el silvopastoreo, junto la exclusión controlada del ganado en áreas delicadas y el pago por servicios medioambientales en el uso del suelo para la ganadería para limitar su degradación.

Por último, por parte de autoridades competentes, se deben de realizar campañas de concientización a los dueños y trabajadores del ganado del gran impacto que tiene el sobrepastoreo sobre los suelos, cuerpos superficiales de agua y los mantos acuíferos. Realizar visitas a los sitios de pastoreo del ganado, realizar estudios de suelos de esas zonas, rotular las zonas de mayor impacto y degradación y cuidar las zonas con pastos vírgenes para prevenir problemas en ellos.

6.1.4 Control de turbiedad

Además de las medidas ya contempladas para prevención del sobrepastoreo, que a su vez ayudan al control de la turbiedad, se proponen a continuación una serie de recomendaciones de instalación de equipo como medida de mitigación y disminución de la turbiedad en la cuenca:

- Colocación de trampas para desprendimiento de material y control de deslizamientos. Principalmente en los terrenos más escarpados y de mayor pendiente, por ejemplo, en el distrito de Sierra, al norte y sureste del distrito del distrito de San Juan y al Suroeste del pueblo de Limonal.



Figura 38. Ejemplo de barrera flexible para desprendimiento de materiales
Fuente: Interempresas, 2019



Figura 39. Barreras de protección fijas
Fuente: Interempresas, 2019

- Colocación de desarenadores y sedimentadores. Realizar el estudio preliminar de caudal y carga de sedimentos a tratar para lograr las medidas adecuadas de las unidades. Colocar principalmente en los lugares cerca de los puntos de las estaciones y las confluencias de los ríos principales.

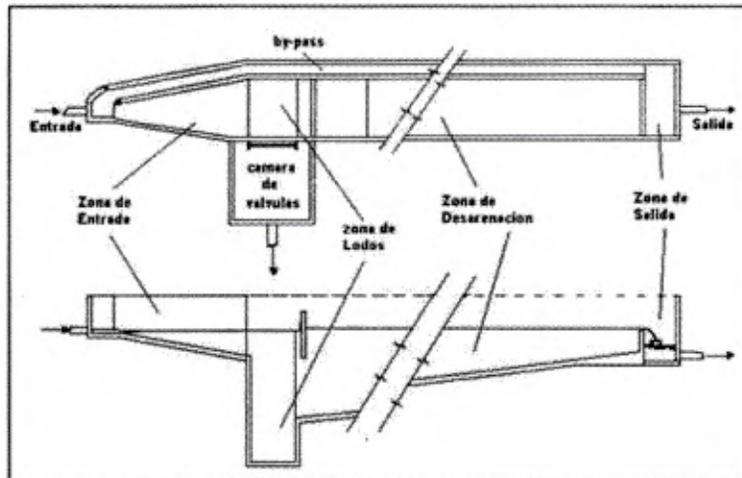


Figura 40. Desarenador convencional
Fuente: Vidal, 2016

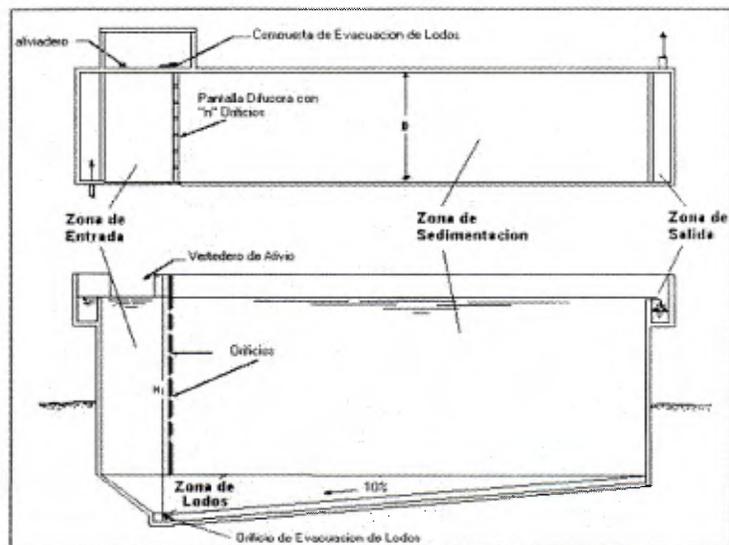


Figura 41. Sedimentador convencional
Fuente: Vidal, 2016

6.1.5 Colocación de estaciones meteorológicas y fluviográficas

Con el fin de lograr de lograr una mayor área de influencia y mayor información de los eventos y cambios climáticos en la zona, se propone la instalación de nuevas estaciones meteorológicas y fluviográficas en distintos puntos estratégicos.

Con ayuda de personal del Centro de Investigaciones y Estudios en Desarrollo Sostenible (CIEDES) de la Universidad de Costa Rica, se recomienda la ubicación de puntos potenciales para las estaciones. Se recomienda, la instalación de estaciones fluviográficas y meteorológicas en las cercanías de la subcuenca del río San Juan, debido a que las estaciones instaladas en la actualidad, se distribuyen en otras zonas y se necesita contar con información sobre la parte baja de la cuenca. Por otra parte, se recomienda la instalación de al menos una estación fluviográfica en el pueblo de Limonal, para contar con más información de la parte media de la cuenca y porque es uno de nuestros puntos de control más importantes en los balances hídricos. Por último, considerando que la parte alta es la que presenta mayores fenómenos climáticos, se propone la instalación de tres nuevas estaciones en Altos de Cebadilla, Marsellesa y el Liceo San Rafael.

Como parte de las mismas reestructuraciones, se recomienda a la Municipalidad de Abangares, como ente encargado de la administración del acueducto, la incorporación de personal, así como la calificación del mismo mediante talleres y cursos, para que puedan dar apoyo integral en la labor de mantenimiento de las estaciones, así como en el manejo de los datos que se generan continuamente.

De acuerdo a las cotizaciones brindadas por la empresa Campbell Scientific del año 2019, cada una de las estaciones tiene un costo de \$5 688,60.

6.1.6 Programa de saneamiento

Uno de los parámetros más representativos e importantes a tomar en cuenta en el análisis de la calidad del agua son los coliformes fecales, por sus consecuencias en la transmisión de enfermedades a los seres humanos. Según los análisis de resultados de diferentes puntos de la cuenca, los coliformes fecales abundan en las aguas en cantidades que superan tres órdenes

de magnitud los límites establecidos, razón por la cual, es de extrema preocupación e inmediatez la promoción de un programa de saneamiento en el cantón de Abangares.

La principal recomendación para lograr iniciar un proceso de saneamiento del cantón de Abangares, es que se redoblen los esfuerzos por poner en vigencia el Plan Regulador escrito en el año 2011, así como actualizarlo a las exigencias y cambios que se han dado hasta el año 2019, con esto se puede iniciar una campaña de saneamiento teniendo bien claro los diferentes usos de suelo permitidos.

Según se estima, el 95% de los hogares de la zona, poseen un sistema de tanque séptico para la disposición de sus negras, taques sépticos totalmente artesanales, construidos sin drenajes y sin ninguna especificación técnica. Por lo que la municipalidad debería darse a la tarea, la revisión de dichos tanques sépticos, con el fin de mejorarlos, imponer ciertas condiciones en su uso y analizar hasta qué punto, estos están dañando los suelos, aguas superficiales y mantos acuíferos.

Se recomienda, además, que se inicien las obras de factibilidad, presupuestos, estudios de suelos e hidrológicos, para saber si es posible, factible y eficiente, la construcción de un sistema sanitario de aguas negras y grises en la ciudad de Las Juntas, así como la creación de una planta de tratamiento que se encargue de todas estas aguas.

Por último, la educación ambiental es un pilar en las metas que se quieren cumplir en cuanto a la calidad del agua y mejora del medio ambiente no solo en nuestro país sino también en el mundo entero. Promover talleres ambientales en escuelas, colegios, cooperativas, cámaras de ganaderos y ferias del agricultor, donde la población se informe de las causas y consecuencias de no tomar las precauciones debidas y también los beneficios de tomarlas. Promover la separación de residuos, el reciclaje y el compostaje como forma de disposición de los mismos, y por supuesto, inculcar en cada familia el deseo de hacerse cargo responsablemente de sus aguas negras, dando un buen mantenimiento a sus tanques sépticos.

Algunos de los temas que se pueden tratar en dichos talleres y capacitaciones son:

- 1) Métodos de gestión de residuos sólidos: separación y clasificación en casa, reciclaje, compostaje, etc. Público meta: general, principalmente niños y jóvenes.
- 2) Métodos de reducción de sobrepastoreo: ciclo hidrológico, tasas de crecimiento vegetativo, ciclos de germinación de las plantas, capacidad digestiva de los animales, etc. Público meta: productores y empresas relacionadas de la zona
- 3) Métodos de control de agroquímicos: tipos de fertilizantes y pesticidas, forma eficiente y racional de aplicación, usos adecuados y consecuencias. Público meta: productores y empresas relacionadas de la zona.
- 4) Salud ocupacional en actividades socioeconómicas como agricultura, ganadería y minería. Público meta: general.
- 5) Construcción adecuada de tanques sépticos: dimensiones, tuberías, escape y drenajes. Público meta: general.

6.1.7 Minería

La minería es una de las actividades de la zona con mayor repercusión para el medio ambiente, pero sobre todo para los habitantes, por lo que se recomienda:

La reubicación de las rastras, ya que estas se encuentran en los patios de los hogares de los mineros. Según funcionarios municipales, se cuenta con un lote municipal de dos hectáreas en San Juan Grande, propuesta previa aceptada por el alcalde de Abangares y representantes del gremio minero, únicamente a falta del estudio geotécnico del terreno. Reubicar las rastras implica trasladarlas a otro terreno alejado de los cuerpos de agua, fuera de los hogares y de los centros poblacionales. La reubicación necesariamente trae consigo la construcción de nuevas y mejores pilas de colas con un diseño apropiado y amigable con el ambiente.

Además de la reubicación será necesaria la construcción de una pila bien diseñada con más capacidad volumétrica para almacenar las colas, una estructura para albergar las rastras y

otros equipos como son quebradores, fraguas para retortas, equipo de fundición y extractores de vapores de mercurio entre otros.

Si bien en las pasadas pruebas de laboratorio, realizadas por el CIEDES y varios estudiantes para sus proyectos de graduación, no se encontraron cantidades significativas de mercurio en los distintos puntos de muestreo, se recomienda seguir con la toma de muestras y ejecución de pruebas de laboratorio regularmente, para tener un control actualizado del elemento, ya que es uno de los tóxicos.

Actualizar las bases de datos únicamente con pruebas de laboratorio y resultados de ciertas sustancias y elementos es una gran medida preventiva e informativa, pero también se recomienda realizar entrevistas y censos para determinar la cantidad exacta de personas que se están dedicando a la actividad, la cantidad exacta de rastras que existen en la zona y los posibles puntos de extracción de material y disposición de los desechos.

Por su parte, con la ayuda de las autoridades competentes, y en vista de que en el cantón de Abangares y sus postrimerías existen gran cantidad de familias que se dedican a la actividad, promover la creación de una institución que vele por las condiciones de los trabajadores en cuanto a la salud y seguridad ocupacional, que se cumpla la ley, las jornadas de trabajos, el equipo de trabajo mínimo y las remuneraciones económicas tanto de trabajo como por la materia prima extraída.

6.1.8 Mejoramiento de drenajes

Lo mejor para mejorar el drenaje es modificar las condiciones del terreno de manera que después de un aguacero el agua superficial (la "escorrentía") se disipe gradualmente en vez de hacerlo en un torrente, de modo que circule más lentamente, se esparza y se sumerja dentro del terreno. Para lograrlo:

- Evite cortar las plantas y los árboles, especialmente en las pendientes y a lo largo de los arroyos y ríos.

- Dirija el agua superficial hacia las plantas, las zanjas de riego y las tierras bajas. Se pueden poner huertos o construir estanques para peces en los lugares donde se acumula el agua
- Construya barreras vivas, muros de contención bajos y otras estructuras de control de la erosión para detener y dirigir el agua superficial
- Mejore los suelos aplicando métodos agrícolas sostenibles, de modo que el agua penetre en el suelo
- Dirija el agua de los grifos y los pozos hacia las zanjas de drenaje o hacia los pozos de absorción
- Recoja el agua de lluvia de los techos en cisternas y recipientes para su consumo o diríjala hacia los estanques, los campos o los huertos.
- Cuide las plantas que haya a los costados de los caminos o construya canales de drenaje a lo largo de éstos, prestándoles mantenimiento para que no se obstruyan.

A continuación, se presentan las recomendaciones en cuanto a los plazos en que se deben accionar todas las medidas descritas anteriormente, así como la forma en que se puede hacer frente a los costos asociados de las mismas:

Cuadro 42. Recomendación de plazos e inversión de las medidas de control

Medidas	Plazo	Inversión
Sistema de riego por goteo	mediano plazo	privada, municipal, concesiones, instituciones estatales
Manejo de excretas	inmediato	privada, empresas afines, patrocinadores
Biodigestores	inmediato	privada, empresas afines, patrocinadores
Manejo sobrepastoreo	inmediato	municipal
Manejo de turbiedad	corto plazo	municipal
Colocación estaciones	inmediato	municipal
Programa saneamiento	corto y largo plazo	municipal
Capacitaciones	inmediato	municipal, instituciones estatales
Reubicación de rastras	corto plazo	municipal
Mejoramiento drenajes	inmediato	municipal
Reforestación	inmediato	municipal

Referente a los sistemas de riego por goteo, se recomienda que las acciones empiecen a fructificar lo más pronto posible, sin embargo, se apunta hacia una acción a mediano plazo, debido a la inversión y los cambios que esta medida conlleva. Se debe mutar a los dichos sistemas empezando por la parte media, zona donde se da la mayor demanda de agua para el sector agrícola, luego la parte baja y por último la parte alta. La inversión debe ser en su mayoría privada, por parte de los grandes productores de la zona, sin dejar de lado la participación municipal y de instituciones estatales, con la otorgación de ciertos beneficios a las personas que pongan en práctica la medida, tales como concesiones de agua y hasta territoriales, exoneración de algún tipo de impuesto, ayuda con maquinaria, etc.

Medidas como el manejo de las excretas y la implementación de biodigestores se catalogan como de efecto inmediato, primeramente porque su impacto en la calidad del agua es elevado y las pruebas de indicadores microbiológicos superan los límites hasta en tres grados de magnitud y también porque la inversión planteada para estas medidas es muy baja y cualquier productor la puede asumir, sin embargo, en dicha inversión, se busca el aporte de empresas afines y patrocinadoras, que se vean beneficiadas con que se traslade el material hasta sus biodigestores.

El manejo del sobrepastoreo, turbiedad, mejoramiento de drenajes y reforestación son medidas de suma importancia y de efecto inmediato. Son de inversión municipal, debido a que son ellos los que deben de dedicar personal para cumplir con dichas acciones.

En cuanto al tema minero, la reubicación de las rastras se cataloga a corto plazo debido a que los efectos negativos sobre los mineros y sus familias son incalculables, teniendo en cuenta también que la Municipalidad ya cuenta con un terreno para disponer estas rastras desde el 2017 en San Juan Grande, a falta únicamente de la aprobación del consejo.

El programa de saneamiento por su parte, consta de dos partes, una que puede iniciarse a corto plazo, que es la verificación y la corrección de los tanques sépticos de todos los hogares, principalmente las zonas más concurridas como Las Juntas, Limonal y Colorado. La

construcción de alcantarillado sanitario si se cataloga a largo plazo debido a la cantidad de obras preliminares e inversión estatal que conlleva.

6.2 Recomendaciones sobre plan de seguimiento y verificación

Para poder realizar una debida autenticación y verificación del cumplimiento de los objetivos, que se quieren lograr con la implementación del riego por goteo, se propone un plan de seguimiento en el cual se instalen bases medidoras de caudal en los puntos donde se ubican las estaciones meteorológicas actuales y las futuras, así como en puntos especiales de zonas agrícolas, principalmente en la parte media. Además, se propone realizar una medida manual por lo menos una vez al mes con medidores de caudal de alta tecnología, con certificación ISO, así como la implementación de aforos. Acciones realizadas con el fin de verificar el verdadero ahorro de caudal con la implementación del sistema.

Gracias a las cotizaciones de las empresas ENVISO S.A. y SATEC S.A. se estima un presupuesto final para la compra de equipo relacionado con la medición de caudal de ~~Q~~ 426 280.

En lo que respecta a la verificación de la posible existencia de patógenos como los coliformes fecales, *e-coli* o *e-faecalis*, luego de ejecutar las medidas de prevención y mitigación descritas anteriormente, se recomienda un plan de seguimiento en la cuenca por medio de pruebas de laboratorio con muestras de diferentes puntos, parte alta, media y baja. Pruebas que se realizarán una vez por mes.

Con la ayuda de la docente e investigadora M.Sc. Kenia Barrantes Jiménez de la Sección de Infección y Nutrición del Instituto de Investigaciones en Salud (INISA), se presupuesta lo que sería un paquete de análisis para un mes, el cual cuenta con 5 pruebas para 5 puntos de muestreo diferentes.

Cuadro 43. Presupuesto pruebas de laboratorio (patógenos)

Número de Análisis	Análisis Solicitado	Costo unitario del Análisis (colones)	Costo Total del Análisis (colones)
5	Coliformes fecales	10 000	50 000
5	<i>Escherichia coli</i>	11 000	55 000
5	Enterococcus faecalis	12 000	60 000
5	Colifagos somáticos	40 000	160 000
Descuento (1 análisis)			73 000
Total			252 000

Fuente: INISA, 2019

Para pruebas por patógenos se destinaría entonces, un total de 252 000 colones por mes, dicha cotización incluye un descuento de un punto de muestreo por mes. Se utilizará la metodología "Detección de coliformes fecales y *Escherichia coli* en agua por la técnica de Número Más Probable" (ME-MI-01) y 9230 A y B "Fecal Enterococcus/Streptococcus groups": de acuerdo con APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Parte 9221, 23era edición, 2017. El límite de detección de los métodos utilizados es: menos de 1,1 NMP/100 ml para agua clorada y menos de 1,8 NMP/100 ml para agua sin clorar (*E. faecalis*, coliformes fecales y *Escherichia coli*).

Si dicha acción se saliera del presupuesto del interesado, se propone que al menos se realicen las pruebas de coliformes fecales y de *Escherichia coli*.

Entre las principales recomendaciones para el control de la disponibilidad de recursos, se mencionó anteriormente, enfocarse en el buen funcionamiento y mantenimiento preventivo de las estaciones meteorológicas presentes en la zona, así como la necesidad de agregar más estaciones en distintos puntos prioritarios de interés.

Se recomienda que se sigan midiendo parámetros como la temperatura, radiación solar, precipitación, humedad, dirección y velocidad del viento con los rangos y frecuencias de medición actuales que son cada cinco minutos y que se recopilen en bases de datos auténticas

y bien identificadas. Con el fin de realizar reportes anuales de estos valores, promedio, mínimos y máximos para comprender con mayor acierto la estacionalidad y las variaciones que se dan entre la época seca y la época lluviosa. Además, a manera de ejemplo, el control de la variable de precipitación es de suma importancia ya que revela información sobre tormentas y almacenamiento, de suma importancia para tener una respuesta eficaz ante eventos extraordinarios y también para proyectos de embalses propuestos en la zona.

Referente a los parámetros indicadores de la calidad del agua, se presenta a continuación la frecuencia recomendada de su medición y la razón de dicha elección.

Cuadro 44. Frecuencia de medición de indicadores de la calidad del agua

Indicador	Frecuencia	Razón
Sólidos disueltos	mensual	elevados niveles de sedimentos quejas de usuarios
Color	mensual	elevados niveles de sedimentos quejas de usuarios
Turbiedad	mensual	elevados niveles de sedimentos quejas de usuarios
Potencial hidrógeno	mensual	presencia de plaguicidas y fertilizantes
Oxígeno disuelto	mensual	procesos microbiológicos
Coliformes fecales	mensual	parámetros microbiológicos muy por encima de los límites
<i>Escherichia coli</i>	mensual	parámetros microbiológicos muy por encima de los límites
<i>Enterococcus faecalis</i>	trimestral	parámetros microbiológicos muy por encima de los límites
Colifagos somáticos	trimestral	parámetros microbiológicos muy por encima de los límites
Alcalinidad	trimestral	minerales y sales presentes, niveles aceptables
Dureza	trimestral	minerales y sales presentes, niveles aceptables
Nitritos	trimestral	descarga de materia orgánica, niveles aceptables
Nitratos	trimestral	utilización de fertilizantes, niveles aceptables
Nitrógeno amoniacal	trimestral	excretas de animales, niveles aceptables
Conductividad	trimestral	grado de contaminación del agua, niveles aceptables
Temperatura	trimestral	reacciones químicas en el agua, niveles aceptables
Fósforo	semestral	costo elevado de medición valores aceptables en muestras anteriores
Metales	semestral	costo elevado de medición valores aceptables en muestras anteriores
Mercurio	semestral	costo elevado de medición valores aceptables en muestras anteriores

Cabe destacar que las mediciones catalogadas como frecuencia mensual, son las que presentan una mayor importancia debido a que son los factores con mayor afectación a las fuentes de agua según los resultados de las pruebas realizadas. Por otra parte, parámetros como los metales, fósforo y mercurio, se catalogan con frecuencia semestral debido a que los resultados de las pruebas realizadas y datos de otros proyectos de investigación de instituciones y de graduandos muestran valores muy por debajo de los límites de aceptación, sin embargo, son variables que debido a su toxicidad y demás impactos, se deben ver reflejadas en las diferentes bases de datos.

7. ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD PRESENTE Y FUTURA

Para proceder a realizar un análisis cuantitativo de la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca del río Abanares, lo primero que se debe tomar en cuenta es la demanda de agua de la población y de las principales actividades socioeconómicas de la zona, por lo que el presente capítulo se destinará en gran parte a estimar, según métodos e información vigente y actualizada, los valores de demanda para toda actividad que utilice el recurso.

7.1 Estimación de la demanda de agua por actividad

7.1.1 Estimación de la demanda de agua poblacional

Utilizando como referencia la estimación de Darío Rodríguez en su proyecto de graduación del año 2013 titulado *"Evaluación de las fuentes superficiales de la red fluvial del río Abangares para el refuerzo del acueducto de la ciudad de Las Juntas"*, la dotación de agua para el cantón de Abangares es 166,13 litros de agua por habitante por día. Sin embargo, tomando en cuenta el desarrollo del cantón en los últimos años y la recomendación del ingeniero Francisco Bogantes de la Municipalidad de Abangares y la ingeniera Paola Vidal del área de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Costa Rica, se utilizará una dotación de 180 litros por habitante por día.

Se proyectará la población utilizando de nuevo el método geométrico descrito en el capítulo 4 para el cálculo de estimación de desechos sólidos, pero esta vez utilizando el año 2019 para la población de diseño. Donde se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 45. Estimación de la población de Abangares 2019 según método geométrico

Distrito	Población 2011	Tasa de crecimiento	Población 2019
Las Juntas	9 621	0,0073	10 198
Sierra	2 525	0,0105	2 746
San Juan	1 662	0,0101	1 802
Colorado	4 704	0,0084	5 030
Total	18 512		19 776

Por lo que el consumo total de agua en el cantón de Abangares, para uso doméstico será:

$$19\,776 \text{ hab} \times 180 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}} = 3\,559\,680 \frac{\text{l}}{\text{día}} \approx 3\,560 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Cuadro 46. Estimación de consumo de agua por distrito para uso doméstico

Distrito	Población 2011 (hab)	Consumo (m³/día)
Las Juntas	9 621	1 732
Sierra	2 525	455
San Juan	1 662	300
Colorado	4 704	1073
Total	18 512	3 560

Cuadro 47. Estimación de consumo de agua por parte para uso doméstico

Parte	Distritos	Consumo (m³/día)
Alta	Sierra	455
Media	Las Juntas	2 032
	San Juan	
Baja	Colorado	1 073
Total		3 560

7.1.2 Estimación de la demanda de agua comercial

Como parte de la demanda comercial se estará tomando en cuenta además de todos los comercios de la zona, las instituciones del gobierno como municipalidad y demás institutos, las preferenciales como escuelas, iglesias y hogares de ancianos.

Cabe destacar, debido a la falta de información de los acueductos de Colorado, Sierra y San Juan, se procederá a realizar un cálculo más subjetivo y por ende inexacto de la cantidad de agua que estos distritos utilizan, pero que nos da una aproximación bastante acertada de su consumo. Se cuenta únicamente con registro de consumo de agua para el distrito de Las Juntas, el cual es la cabecera del cantón.

Cuadro 48. Consumo por categoría en metros cúbicos para el distrito de Las Juntas por día

Categoría	Consumo (m³)
Ordinaria	82
Preferencial	41
Gobierno	8
Total	131

Fuente: Municipalidad de Abangares, 2019

De acuerdo a la información anterior se procede a realizar cálculos proporcionales para los distritos faltantes, proporción que se obtendrá de acuerdo a la población de cada distrito en comparación con el distrito de Las Juntas, de la siguiente forma:

Cuadro 49. Estimación de consumo comercial por distrito por día

Distrito	Población 2019	Proporción con respecto a Las Juntas	Consumo (m³/día)
Las Juntas	10 198	1,00	131
Sierra	2 746	0,27	36
San Juan	1 802	0,18	24
Colorado	5 030	0,49	65
Total	19.776		256

Cuadro 50. Estimación de consumo de agua por parte para uso comercial

Parte	Distritos	Consumo (m³/día)
Alta	Sierra	36
Media	Las Juntas	145
	San Juan	
Baja	Colorado	65
Total		256

7.1.3 Estimación de la demanda de agua por ganadería

Además de todos los daños e implicaciones negativas derivadas de la ganadería al medio ambiente, salud humana y fuentes de agua. no hay que dejar de lado que la actividad por si

sola es causa de impactos al recurso hídrico y su agotamiento. Los animales necesitan del líquido vital para poder vivir, crecer, producir y reproducirse, por lo que la demanda generada, solamente en esta actividad socioeconómica es muy alta.

Si bien, los tipos de ganadería predominantes en la zona de Abangares son la vacuna y la porcina, no hay que dejar de lado la avícola, y como se describió anteriormente, la ganadería vacuna se puede dividir en varios tipos de acuerdo a su propósito final.

Refiriéndonos a la ganadería vacuna, según el proyecto de investigación "*El Recurso Hídrico en Sistemas de Producción Animal en Costa Rica*" del año 2013, del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica. la cantidad de agua que necesita un animal es diferente si se utiliza para la producción de leche o de carne, se puede cuantificar de la siguiente forma:

Cuadro 51. Consumo de agua por animal por día según propósito

Tipo	Peso promedio (kg)	Consumo de agua al día (l)
Carne	500	70
Leche	450	90
Doble propósito	475-500	105

Fuente: Wing Ching, 2013.

Los animales destinados a la producción de leche tienen una demanda superior del líquido vital, demanda que depende de muchos factores, tales como las características de la leche, la cantidad que se produce por día, el clima del lugar donde se encuentren los animales, el tipo de alimentación en cuanto a su proporción de agua y materia seca y el tiempo de producción en que se encuentre el animal, ya que estos producen leche por un lapso aproximado de hasta 10 meses por año, donde alcanzan su pico de producción al quinto mes y empiezan a perderlo gradualmente.

En la misma investigación, se logró obtener una estimación del gasto de agua en las granjas vacunas de leche en lo referente a higiene de los animales, limpieza de establos y corrales y otros, la cual se cuantificó en 86 litros de agua por animal. De acuerdo los conocimientos de

expertos en el tema como el director de la carrera de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica Carlos Arroyo y el mismo autor del proyecto de investigación descrito anteriormente Rodolfo Wing Ching. en nuestro país, no se destina más agua que la que consumen los propios animales en la ganadería extensiva o esta es insignificante, debido a la actividad no da para incurrir en gastos extra de corrales y riego, por lo que los animales andan en la intemperie la mayor parte de su vida.

Referente a la ganadería avícola, según el Manual Técnico de Dotaciones de Agua del MINAE del año 2003, un ave a las 8 semanas de nacido consume 2 litros de agua por día y para labores de limpieza se gastan 20 litros por animal por día.

En cuanto a la ganadería porcina, de acuerdo a una evaluación realizada por el Programa de Investigación y Transferencia Tecnológica en Cerdos (PITTA – Cerdos) en la Escuela Centroamericana de Ganadería (ECAG) y con la colaboración del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), descrita en el "*Manual para el Productor: Tecnologías Sostenibles para el Manejo de Remanentes en Granjas Porcinas*" del año 2010, del Ministerio de Agricultura y Ganadería, estiman que una cerda lactante consume en promedio 25 litros de agua por día, mientras que una cerda gestante consume 15 litros de agua por día. Además, se gastan 65 litros por animal en lo referente a baños y limpieza de los corrales.

Para realizar el cálculo final de la estimación de consumo de agua para ganadería se tendrán en cuenta las siguientes afirmaciones:

- Se utilizará el censo del INEC del año 2014
- No hay gasto de riego, limpieza o higiene en la ganadería vacuna de carne
- Los animales de trabajo se incluirán en la categoría de carne
- En cuanto a la ganadería porcina, tomando en cuenta el consumo de 15 litros para cerdas gestantes y el de 25 litros para cerdas lactantes, se utilizará un promedio de 20 litros por día por animal.

Cuadro 52. Estimación de la demanda de agua por ganadería

Descripción	Cantidad animales	Consumo por alimentación (l/día)	Consumo por limpieza e higiene (l/día)	Consumo total (l/día)
Ganado vacuno de carne	21 906	70	0	1 533 420
Ganado vacuno de leche	1 290	90	86	227 040
Ganado vacuno doble propósito	8 099	105	86	1 546 909
Ganado avícola	34 564	2	20	760 408
Ganado porcino	9 727	20	65	826 795
Total de consumo (l/día)				4 894 572
Total de consumo (m³/día)				4 895

Con la ayuda de funcionarios de la Municipalidad de Abangares, se logró zonificar el tipo de ganadería que se da en cada parte y cada distrito. Por ejemplo, la totalidad del ganado vacuno se da en la parte alta, el de doble propósito se da en la parte media y tanto el vacuno de carne como el avícola y porcino se dan en la parte media y en la parte baja, pero en menor proporción, por lo que se toma la decisión de utilizar para la parte baja un 50% de ganado vacuno de carne y un 30% del ganado avícola y porcino.

Cuadro 53. Estimación de consumo de agua por parte para uso ganadero

Parte	Tipo	Consumo (m ³ /día)
Alta	Vacuno leche	227
Media	Vacuno doble propósito, 50% vacuno carne, 70% porcino, 70% avícola	3 425
Baja	50% vacuno carne, 30% porcino, 30% avícola	1 243
Total		4 895

7.1.4 Estimación de la demanda de agua por agricultura

Como ya se mencionó anteriormente, al igual que la ganadería, la agricultura es un riesgo para el recurso hídrico por su propia demanda, al ser una de las actividades socioeconómicas más importantes de la zona.

Para poder obtener una estimación de la demanda de agua por cultivo, se utilizará el Manual Técnico del Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional y Departamento de Aguas en su capítulo primero de "*dotaciones de agua para calcular las necesidades de las solicitudes de aprovechamiento de aguas*" del año 2004, que es el método que se encuentra vigente.

El método consiste en el cálculo de la evapotranspiración y el Uso Consuntivo de los cultivos utilizando como base las ecuaciones de Blaney y Criddle, que dependen de la temperatura mensual, altura media de la zona y el coeficiente normal estacional de uso de consumo de los cultivos bajo riego (K).

$$Eto = \frac{2\,120 - (0.294\,h)}{360}$$

Donde,

Eto: evapotranspiración (mm)

h: altura (m)

Se utilizarán alturas promedio según la zona del cultivo en estudio, utilizando la información de la sede regional del MAG de Abangares y el mapa modelo de elevaciones de la cuenca.

Se procede entonces a calcular el Uso Consuntivo de cada cultivo de la siguiente forma:

$$Uc = K * Eto$$

Donde,

Uc: Uso Consuntivo (mm)

K: coeficiente de consumo para los cultivos con riego (adimensional)

Eto: evapotranspiración (mm)

El módulo de riego es el caudal por unidad de área requerido por cada cultivo en litros por segundo por cada hectárea cultivada, se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Mr = \frac{Uc}{Ef} * 0,116$$

Donde,

Mr: módulo de riego (l/s/ha)

Uc: Uso Consuntivo (mm)

Ef: eficiencia del sistema de riego

0.116: factor de conversión de unidades

Las eficiencias también están definidas en el manual, para un riego básico utilizando únicamente gravedad se utiliza un 50% de eficiencia, por aspersión, presurizado o micro aspersión utilizando algún tipo de rotor o spray se utiliza 70% y por goteo se utiliza un 90%.

Por último, se calcula el caudal requerido para riego para cada cultivo de la siguiente forma:

$$Q = Mr * A$$

Donde,

Q: caudal (l/s)

Mr: módulo de riego (l/s/ha)

A: área de riego (ha)

Cuadro 54. Cálculo de la estimación de demanda por agricultura

Cultivo	Altura promedio (m.s.n.m)	Eto (mm)	K	Uso consuntivo Uc (mm)	Eficiencia de riego Ef	Módulo de riego Mr	Área (ha)	Caudal requerido (l/s)
Caña de azúcar	68	5,83	0,85	4,96	0,50	1,15	623,80	717,58
Arroz	203	5,72	1,05	6,01	0,50	1,39	301,30	420,06
Café	904	5,15	0,75	3,86	0,50	0,90	350,00	313,67
Mango	203	5,72	0,75	4,29	0,70	0,71	202,30	143,90
Frijol	700	5,32	0,65	3,46	0,50	0,80	88,50	70,96
Limón mesina	203	5,72	0,60	3,43	0,70	0,57	85,30	48,54
Maíz	700	5,32	0,70	3,72	0,50	0,86	54,80	47,32
Sandía	68	5,83	0,70	4,08	0,70	0,68	47,50	32,14
Aguacate	700	5,32	0,53	2,82	0,70	0,47	22,50	10,51
Papaya	203	5,72	0,60	3,43	0,70	0,57	8,30	4,72
Ayote	700	5,32	0,70	3,72	0,70	0,62	3,30	2,04
Plátano	700	5,32	0,80	4,25	0,50	0,99	2,30	2,27
Limón mandarina	836	5,21	0,60	3,12	0,70	0,52	2,00	1,04
Chile dulce	836	5,21	0,60	3,12	0,70	0,52	1,40	0,72
Chamol	836	5,21	0,70	3,64	0,70	0,60	0,80	0,48
Chile picante	272	5,67	0,60	3,40	0,70	0,56	0,80	0,45
Tiquisque	836	5,21	0,70	3,64	0,70	0,60	0,50	0,30
Total (l/s)								1 816,70
Total (m³/día)								156 963,09

Cuadro 55. Estimación de la demanda de agua por partes de agricultura

Parte	Tipo de cultivo	Consumo (m³/día)
Alta	Café, frijol, maíz, aguacate, ayote, plátano, limón mandarina, chile dulce, chamol, tiquisque	34 930,22
Media	Caña de azúcar, arroz, mango, limón mesina, maíz, aguacate, papaya, ayote, plátano, limón mandarina, chile dulce, chamol, chile picante, tiquisque	71 514,14
Baja	Caña de azúcar, arroz, mango, limón Mesina, maíz, sandía, aguacate, papaya, ayote, plátano	50 518,73
Total		156 963,09

7.1.5 Estimación de la demanda de agua por minería

Como ya se comentó anteriormente los mineros de la zona de Abangares en su vasta mayoría, poseen las rastras en sus propias casas y los trabajos de lavado de material y herramientas lo realizan en las orillas de los ríos, por lo que la demanda de agua por minería se considera sumamente baja, por ende, incluida en demanda poblacional.

7.1.6 Estimación de demandas adicionales de agua

Según información de la Unidad Hidrológica Tempisque – Pacífico Norte de la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), en la cuenca del río Abangares, existen 368 metros cúbicos por segundo concesionados para actividades turísticas, distribuidos en su mayoría en el distrito de la Sierra en las cercanías a una de las mayores atracciones turísticas de la provincia como lo es Monteverde. Por otra parte, 5324 metros cúbicos por segundo son concesionados para actividades industriales, donde hay que tomar en cuenta las grandes empresas como CEMEX, COONAPROSAL, Dos Pinos y el Parque Industrial en el sector de Limonal.

7.1.7 Estimación de la demanda total de agua para la cuenca del río Abangares

Cuadro 56. Sumatoria de estimaciones de demanda de agua

Actividad	Consumo (m³/día)
Poblacional	3 560
Comercial	256
Turismo	368
Industrial	5 324
Ganadería	4 895
Agricultura	156.963
Total	171 366

Como podemos observar en el cuadro anterior, la demanda estimada del consumo total de agua por día en la cuenca del río Abangares es de aproximadamente 172 mil metros cúbicos por día, lo que equivale a 1,98 metros cúbicos por segundo.

Cuadro 57. Sumatoria de demandas de agua por parte

Parte	Sector	Consumo (m³/día)	Consumo (m³/s)
Alta	Poblacional, Comercial, Turismo, Ganadería, Agricultura	36 016,22	0,42
Media	Poblacional, Comercial, Ganadería, Agricultura	71 514,14	0,89
Baja	Poblacional, Comercial, Industrial, Ganadería, Agricultura	50 518,73	0,68
Total		156 963,09	1,99

7.2 **Estimación de la cantidad de agua (oferta) en la zona**

Para cuantificar la cantidad de agua presente en la cuenca se utilizará el balance hídrico realizado por Angie Araya Lescouflair en el año 2015, en su proyecto de graduación para optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil y que lleva por nombre "Integración del balance hídrico

de la red fluvial de la cuenca del río Abangares, Guanacaste”. La oferta se dividirá en las tres partes ya mencionadas: alta, media y baja. Para la parte alta se utilizará el caudal de los ríos Gongolona, Aguas Claras, Boston y Santa Lucía, para la parte media se utilizarán los caudales de la cuenca de Limonal Viejo, mientras que para la parte baja se utilizará el caudal del río Congo y los 0,7 m³ que aporta el canal del Sur.

Cuadro 58. Estimación del caudal aportado para la parte alta

Punto	Caudal (m³/s)
Gongolona	0,67
Aguas Claras	0,43
Boston	0,25
Santa Lucía	1,16
Total	2,51

Fuente: Araya, 2015

Cuadro 59. Promedios mensuales para la parte alta en m³/s

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
Gongolona	0,22	0,11	0,05	0,03	0,28	0,79	0,83	1,07	1,46	1,62	1,04	0,51	0,67
Aguas Claras	0,12	0,06	0,03	0,02	0,16	0,51	0,49	0,69	1,02	1,13	0,66	0,26	0,43
Boston	0,07	0,04	0,02	0,01	0,05	0,3	0,26	0,39	0,66	0,72	0,37	0,13	0,25
Santa Lucía	0,32	0,18	0,08	0,04	0,25	1,37	1,1	1,74	3,08	3,39	1,7	0,64	1,16
Promedio	0,73	0,39	0,18	0,10	0,74	2,97	2,68	3,89	6,22	6,86	3,77	1,54	2,51

Fuente: Araya, 2015

La calibración del balance hídrico involucra las cuencas de los ríos Gongolona, Boston, Aguas Claras, Santa Lucía y San Juan. Estas cuencas abarcan un 71,7 % del área de la cuenca Limonal Viejo (Araya, 2015). Por esta razón, el total del caudal de las cuencas anteriores se encuentra adicionado al siguiente valor de caudal del punto de control de la cuenca de Limonal Viejo.

Cuadro 60. Estimación del caudal aportado para la parte media

Punto	Caudal (m ³ /s)
Limonal Viejo	4,77

Fuente: Araya, 2015

Cuadro 61. Promedios mensuales para la parte media en m³/s

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
Promedio	1,50	0,81	0,37	0,19	1,41	5,57	4,56	7,19	11,86	13,17	7,54	3,11	4,77

Fuente: Araya, 2015

Cuadro 62. Estimación del caudal aportado para la parte baja

Punto	Caudal (m ³ /s)
Congo	1,96
Canal del Sur	0,70
Total	2,66

Fuente: Araya, 2015

Cuadro 63. Promedios mensuales para la parte baja e m³/s

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Promedio	0,57	0,31	0,14	0,07	0,44	2,08	1,52	2,92	5,22	5,85	3,22	1,17	1,96
Canal del Sur	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Total	1,27	1,01	0,84	0,77	1,14	2,87	2,22	3,62	5,92	6,55	3,92	1,87	2,66

Fuente: Araya, 2015

7.3 Proyección del crecimiento poblacional y demás sectores

Para poder realizar una proyección de la disponibilidad de agua en la cuenca del río Abangares en los próximos años, es necesario estimar el crecimiento o decrecimiento que van a experimentar todos los sectores involucrados. Para el cálculo de cada uno de estos porcentajes se utilizará la tasa de crecimiento geométrico.

La tasa de crecimiento geométrico se aplica al crecimiento compuesto durante períodos discretos, tales como el pago y la reinversión de intereses o dividendos. Si bien es posible que la tasa de crecimiento continuo, basada en el modelo de crecimiento exponencial, sea más realista, la mayoría de los fenómenos económicos se mide a intervalos únicamente, en cuyo caso el modelo de crecimiento continuo es más adecuado. Es una herramienta muy utilizada por entes de gran importancia en nuestro país como en Banco Central y la Autoridad

Reguladora de Servicios Públicos. La tasa de crecimiento medio durante n períodos se calcula de la siguiente manera:

$$i = \left(\frac{n2^{m2-m1}}{n1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde,

i: tasa de crecimiento geométrico

n1: cantidad inicial, asociada al inicio del periodo en estudio

n2: cantidad final, asociada al final del periodo en estudio

m1: año inicial, inicio del periodo en estudio

m2: año final, final del periodo en estudio

7.3.1 Estimación del crecimiento poblacional

Cuadro 64. Tasa de crecimiento geométrico poblacional

Indicador	Años					Tasa de crecimiento geométrico
	2010	2011	2012	2013	2014	
Población (hab.)	18 333	18 512	18 696	18 895	19 081	1,02 %

Fuente: MIDEPLAN, 2017. Modificado por Fernández, 2019

7.3.2 Estimación del crecimiento comercial e industrial

Cuadro 65. Tasa de crecimiento geométrico comercial e industrial

Indicador	Años					Tasa de crecimiento geométrico
	2010	2011	2012	2013	2014	
IDHc	0,711	0,730	0,735	0,726	0,770	2.01 %
Consumo eléctrico per cápita (Kwh)	634,9	697,9	700,8	696,7	708.5	2.78 %
	2000			2011		
Tasa de empleo (%)	37,0			44,1		1,61 %
Tasa de crecimiento geométrico promedio						2,14%

Fuente: MIDEPLAN, 2017, INEC, 2014. Modificado por Fernández, 2019

7.3.3 Estimación del crecimiento turístico

Cuadro 66. Tasa de crecimiento geométrico turístico

Indicador	Años					Tasa de crecimiento geométrico
	2013	2014	2015	2016	2017	
Demanda turística Guanacaste (%)	37,6	38,4	53,8	52,9	49,8	7,3 %
Demanda turística Puntarenas (%)	19,7	21,5	28,3	30,1	29,8	10,9 %
Tasa de crecimiento geométrico promedio						9,1%

Fuente: ICT, 2019. Modificado por Fernández, 2019

La mayor actividad turística de la zona se encuentra en el distrito de Sierra, en las cercanías de Monteverde, razón por la cual, como se comentó anteriormente en el capítulo de uso de suelo de la zona, la ciudad de Las Juntas de Abangares se está convirtiendo en los últimos años en una ciudad dormitorio para todos los turistas que visitan dicha zona. Por esta razón y porque la cuenca del Río Abangares, en su gran parte se encuentra en la provincia de Guanacaste, pero contiene un área de la provincia de Puntarenas en la parte baja, es que se decidió obtener un promedio de la tasa de crecimiento entre ambas provincias.

Por otra parte, el Instituto Costarricense de Turismo en su último Plan de Turismo 2017 – 2021 indica que la tasa de crecimiento de turismo del país es de un 8 % interanual, si consideramos que los mayores atractivos turísticos se encuentran en las playas, montañas y volcanes de nuestro país, la tasa de 9,1% es bastante acertada para nuestra zona.

7.3.4 Estimación del crecimiento del sector ganadero

Cuadro 67. Tasa de crecimiento geométrico del sector ganadero

Indicador	Años		Tasa de crecimiento geométrico
	2014	2019	
Pastos modificados para ganadería (ha)	29 298	33 920	3 %

Fuente: INEC, 2014. MAG, 2019. Modificado por Fernández, 2019

7.3.5 Estimación del crecimiento del sector agrícola

Para estimar el crecimiento del sector agrícola se utilizará la información de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA), basando dicho crecimiento en las hectáreas cultivadas en la zona de Abangares de los principales cultivos de la zona en los últimos 5 años.

Cuadro 68. Tasa de crecimiento geométrico del sector agrícola

Cultivo	Tasa de crecimiento geométrico
Arroz	28 %
Maíz	-3 %
Café	11 %
Frijol	0 %
Sandía	5 %
Tasa de crecimiento promedio	8 %

Fuente: SEPSA, 2019. Modificado por Fernández, 2019

7.4 Posibles escenarios futuros relacionados con la disponibilidad del recurso hídrico en la zona

El balance hídrico corregido nos muestra tanto promedios anuales como promedios mensuales de la cantidad de agua presente en la zona, con dichos datos se procederá a analizar diferentes escenarios y proyecciones relacionados con la cuantificación de la oferta y demanda del recurso hídrico en la cuenca del río Abangares. Se plantean tres diferentes escenarios:

- Escenario #1: crecimiento normal
- Escenario #2: crecimiento acelerado poblacional, agropecuario y comercial.
- Escenario #3: se realizan modificaciones en los sistemas de riego

7.4.1 Escenario #1: Crecimiento normal

En el siguiente escenario se tiene como premisa principal que todos los sectores tomados en cuenta van a tener un aumento de forma gradual, igual al de los años anteriores, por lo que el consumo de agua en la zona en los próximos años será el siguiente:

7.4.1.1 Parte alta

Cuadro 69. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte alta

Consumo (m ³ /s)																
Sector	Tasa de crecimiento	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2043	2045	2050	2055	2056
Poblacional	0,0102	0,0053	0,0054	0,0054	0,0055	0,0055	0,0056	0,0056	0,0059	0,0062	0,0066	0,0068	0,0069	0,0073	0,0076	0,0077
Comercial	0,0214	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008	0,0009	0,0009
Industrial	0,0214	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,0910	0,0043	0,0047	0,0051	0,0056	0,0061	0,0066	0,0073	0,0112	0,0173	0,0268	0,0348	0,0414	0,0640	0,0989	0,1079
Ganadero	0,0300	0,0026	0,0027	0,0028	0,0028	0,0029	0,0030	0,0031	0,0036	0,0042	0,0048	0,0053	0,0056	0,0065	0,0075	0,0078
Agrícola	0,0800	0,4043	0,4366	0,4716	0,5093	0,5500	0,5940	0,6416	0,9427	1,3851	2,0352	2,5637	2,9903	4,3938	6,4559	6,9724
Total		0,4169	0,4498	0,4853	0,5236	0,5650	0,6097	0,6580	0,9639	1,4134	2,0740	2,6112	3,0449	4,4723	6,5709	7,0966

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) En los meses de febrero, marzo y abril, que representa puntos máximos de la época seca, el agua disponible no es suficiente para solventar la demanda desde el presente.
- 2) A partir del año 2027 la demanda supera la oferta de agua para los primeros cinco meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Lo que representa un grave problema, ya que estamos hablando casi de medio año con déficit de agua.
- 3) A partir del año 2043, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta.
- 4) A partir del año 2056, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 6,86 m³/s.

7.4.1.2 Parte media

Como ya se mencionó anteriormente, las cuencas del río Gongolona, Boston, Aguas Claras y Santa Lucía, son parte de la cuenca de Limonal Viejo, debemos sustraer el caudal ya utilizado en la parte alta.

Cuadro 70. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte media

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)												
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2037	2040	2045	2050
Poblacional	0,0102	0,0235	0,0237	0,0240	0,0242	0,0245	0,0247	0,0250	0,0263	0,0276	0,0282	0,0291	0,0306	0,0322
Comercial	0,0214	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0019	0,0019	0,0019	0,0021	0,0024	0,0025	0,0027	0,0029	0,0033
Industrial	0,0214	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,0910	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0300	0,0396	0,0408	0,0420	0,0433	0,0446	0,0459	0,0473	0,0548	0,0635	0,0674	0,0737	0,0854	0,0990
Agrícola	0,0800	0,8277	0,8939	0,9654	1,0427	1,1261	1,2162	1,3135	1,9299	2,8357	3,3075	4,1665	6,1220	8,9952
Total		0,8925	0,9602	1,0332	1,1120	1,1970	1,2887	1,3876	2,0131	2,9292	3,4056	4,2719	6,2409	9,1296
Suma parte alta		1,3094	1,4100	1,5185	1,6356	1,7620	1,8984	2,0457	2,9771	4,3426	5,0532	6,3459	9,2858	13,6019

Para el presente escenario, en la parte media, podemos confirmar lo siguiente:

- 1) En los meses de febrero, marzo y abril, que representa puntos máximos de la época seca, el agua disponible no es suficiente para solventar la demanda desde el presente.
- 2) A partir del año 2025 la demanda supera la oferta de agua para los primeros cinco meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Lo que representa un grave problema, ya que estamos hablando casi de medio año con déficit de agua.
- 3) A partir del año 2037, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta.
- 4) A partir del año 2050, la demanda supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 13,17 m³/s.

7.4.1.3 Parte baja

Cuadro 71. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #1 en la parte baja

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)													
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2039	2040	2045	2050	2051
Poblacional	0,0102	0,0124	0,0125	0,0127	0,0128	0,0129	0,0130	0,0132	0,0139	0,0146	0,0152	0,0153	0,0161	0,0170	0,0172
Comercial	0,0214	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0012	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016
Industrial	0,0214	0,0616	0,0629	0,0643	0,0656	0,0670	0,0685	0,0699	0,0778	0,0864	0,0941	0,0961	0,1068	0,1188	0,1213
Turístico	0,0910	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0300	0,0144	0,0148	0,0153	0,0157	0,0162	0,0167	0,0172	0,0199	0,0231	0,0260	0,0268	0,0311	0,0360	0,0371
Agrícola	0,0800	0,5847	0,6315	0,6820	0,7366	0,7955	0,8591	0,9278	1,3633	2,0031	2,7253	2,9433	4,3246	6,3543	6,8627
Total		0,6739	0,7226	0,7750	0,8316	0,8925	0,9582	1,0291	1,4759	2,1284	2,8618	3,0828	4,4801	6,5276	7,0398

Para el presente escenario, en la parte media, podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Gracias al significativo aporte del canal del Sur, los primeros cinco meses del año se pueden abastecer hasta el 2027, si no existiera el canal, la demanda superaría la oferta desde el presente.
- 2) A partir del año 2039, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta.
- 3) A partir del año 2051, la demanda supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 6,55 m³/s.

7.4.2 Escenario #2: crecimiento acelerado poblacional, agropecuario y comercial

En este escenario se va a tomar en cuenta un crecimiento acelerado de todos los sectores involucrados de un 5%, por diversas razones, tales como la ampliación de la carretera Cañas – Liberia, ampliación de la carretera Cañas – Barranca, la creación del embalse en el sector de Marimba, nuevas políticas municipales y concesiones de terrenos para el sector agropecuario e industrial, etc.

7.4.2.1 Parte alta

Cuadro 72. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte alta

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)												
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2034	2035	2039	2040	2043
Poblacional	0,0602	0,0053	0,0056	0,0060	0,0063	0,0067	0,0071	0,0075	0,0101	0,0127	0,0135	0,0171	0,0181	0,0216
Comercial	0,0714	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0009	0,0011	0,0012	0,0016	0,0017	0,0021
Industrial	0,0714	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,1410	0,0043	0,0049	0,0056	0,0064	0,0073	0,0083	0,0095	0,0183	0,0311	0,0355	0,0601	0,0686	0,1019
Ganadero	0,0800	0,0026	0,0028	0,0030	0,0033	0,0035	0,0038	0,0041	0,0061	0,0082	0,0089	0,0121	0,0131	0,0165
Agrícola	0,1300	0,4043	0,4569	0,5163	0,5834	0,6592	0,7449	0,8417	1,5508	2,5286	2,8573	4,6588	5,2644	7,5960
Total		0,4169	0,4706	0,5313	0,5998	0,6772	0,7647	0,8635	1,5862	2,5818	2,9164	4,7497	5,3659	7,7381

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) En los meses de febrero, marzo y abril, que representa puntos máximos de la época seca, el agua disponible no es suficiente para solventar la demanda desde el presente.
- 2) A partir del año 2024 la demanda supera la oferta de agua para los primeros cinco meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Lo que representa un grave problema, ya que estamos hablando casi de medio año con déficit de agua.
- 3) A partir del año 2034, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta.
- 4) A partir del año 2043, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 6,86 m³/s.
- 5) Por lo que, si la zona tiene el crecimiento establecido en el escenario, la demanda de agua se solventará 9 años antes teniendo en cuenta su promedio mensual y 13 años antes teniendo en cuenta su caudal mensual máximo.

7.4.2.2 Parte Media

Cuadro 73. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte media

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)										
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2039	2040
Poblacional	0,0602	0,0235	0,0249	0,0264	0,0280	0,0297	0,0315	0,0334	0,0447	0,0599	0,0757	0,0802
Comercial	0,0714	0,0017	0,0018	0,0020	0,0021	0,0022	0,0024	0,0026	0,0036	0,0051	0,0068	0,0072
Industrial	0,0714	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,1410	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0800	0,0396	0,0428	0,0462	0,0499	0,0539	0,0582	0,0628	0,0923	0,1357	0,1846	0,1993
Agrícola	0,1300	0,8277	0,9353	1,0569	1,1943	1,3495	1,5250	1,7232	3,1749	5,8496	9,5377	10,7776
Total		0,8925	1,0048	1,1314	1,2743	1,4353	1,6170	1,8220	3,3156	6,0503	9,8046	11,0643
Suma Parte alta		1,3094	1,4754	1,6627	1,8741	2,1126	2,3817	2,6855	4,9018	8,9667	14,5543	16,4303

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Nuevamente, en los meses de febrero, marzo y abril, que representa puntos máximos de la época seca, el agua disponible no es suficiente para solventar la demanda desde el presente.
- 2) A partir del año 2021 la demanda supera la oferta de agua para los primeros cinco meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Lo que representa un grave problema, ya que estamos hablando casi de medio año con déficit de agua.
- 3) A partir del año 2030, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta.
- 4) A partir del año 2039, la demanda supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 13,17 m³/s.
- 5) Por lo que, si la zona tiene el crecimiento establecido en el escenario, la demanda de agua se solventará 7 años antes teniendo en cuenta su promedio mensual y 11 años antes teniendo en cuenta su caudal mensual máximo.

7.4.2.3 Parte baja

Cuadro 74. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #2 para la parte baja

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)										
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2031	2035	2039
Poblacional	0,0602	0,0124	0,0131	0,0139	0,0148	0,0157	0,0166	0,0176	0,0236	0,0250	0,0316	0,0399
Comercial	0,0714	0,0008	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0011	0,0012	0,0017	0,0018	0,0024	0,0032
Industrial	0,0714	0,0616	0,0629	0,0643	0,0656	0,0670	0,0685	0,0699	0,0778	0,0794	0,0864	0,0941
Turístico	0,1410	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0800	0,0144	0,0156	0,0168	0,0181	0,0196	0,0212	0,0229	0,0336	0,0363	0,0493	0,0671
Agrícola	0,1300	0,5847	0,6607	0,7466	0,8437	0,9533	1,0773	1,2173	2,2428	2,5344	4,1323	6,7375
Total		0,6739	0,7532	0,8425	0,9432	1,0567	1,1846	1,3289	2,3795	2,6769	4,3020	6,9418

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Gracias al aporte del canal del Sur, los primeros cinco meses del año se pueden abastecer hasta el 2024, si no existiera el canal, la demanda superaría la oferta desde el presente.
- 2) A partir del año 2031, la demanda de agua va a ser tal que se va a superar el promedio anual de oferta.
- 3) A partir del año 2039, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 6,55 m³/s.
- 4) Por lo que, si la zona tiene el crecimiento establecido en el escenario, la demanda de agua se solventará 8 años menos teniendo en cuenta su promedio mensual y 12 años menos teniendo en cuenta su caudal mensual máximo.

7.4.3 Escenario #3: modificaciones en los sistemas de riego para cultivo

El presente escenario considera realizar las debidas modificaciones en los sistemas de riego de la zona para disminuir en la medida de lo posible la demanda de agua agrícola, utilizando la alternativa de riego por goteo en todos los cultivos.

Cuadro 75. Estimación del consumo de agua por agricultura con modificación ideal en el sistema de riego

Cultivo	Altura promedio (m.s.n.m)	Eto (mm)	K	Uso consuntivo Uc (mm)	Eficiencia de riego Ef	Módulo de riego Mr	Área (ha)	Caudal requerido (l/s)
Caña de azúcar	68	5,83	0,85	4,96	0,90	0,64	623,80	398,66
Arroz	203	5,72	1,05	6,01	0,90	0,77	301,30	233,36
Café	904	5,15	0,75	3,86	0,90	0,50	350,00	174,26
Mango	203	5,72	0,75	4,29	0,90	0,55	202,30	111,92
Frijol	700	5,32	0,65	3,46	0,90	0,45	88,50	39,42
Limón mesina	203	5,72	0,60	3,43	0,90	0,44	85,30	37,75
Maíz	700	5,32	0,70	3,72	0,90	0,48	54,80	26,29
Sandía	68	5,83	0,70	4,08	0,90	0,53	47,50	25,00
Aguacate	700	5,32	0,53	2,82	0,90	0,36	22,50	8,17
Papaya	203	5,72	0,60	3,43	0,90	0,44	8,30	3,67
Ayote	700	5,32	0,70	3,72	0,90	0,48	3,30	1,58
Plátano	700	5,32	0,80	4,25	0,90	0,55	2,30	1,26
Limón mandarina	836	5,21	0,60	3,12	0,90	0,40	2,00	0,81
Chile dulce	836	5,21	0,60	3,12	0,90	0,40	1,40	0,56
Chamol	836	5,21	0,70	3,64	0,90	0,47	0,80	0,38
Chile picante	272	5,67	0,60	3,40	0,90	0,44	0,80	0,35
Tiquisque	836	5,21	0,70	3,64	0,90	0,47	0,50	0,23
Total (l/s)								1063,69
Total (m³/día)								91902,62

Cuadro 76. Estimación del consumo de agua por agricultura con modificación ideal en el sistema de riego por parte

Parte	Tipo	Consumo (m³/día)
Alta	Café, frijol, maíz, aguacate, ayote, plátano, limón mandarina, chile dulce, chamol, tiquisque	19 497,19
Media	Caña de azúcar, arroz, mango, limón mesina, maíz, aguacate, papaya, ayote, plátano, limón mandarina, chile dulce, chamol, chile picante, tiquisque	42 136,57
Baja	Caña de azúcar, arroz, mango, limón Mesina, maíz, sandía, aguacate, papaya, ayote, plátano	30 268,86
Total		91 902,62

Se puede observar claramente, con las respectivas modificaciones en los sistemas de riego, existe una disminución en la demanda de agua por agricultura mayor a 65 mil metros cúbicos por día, lo que nos dará mayor cantidad de años con disponibilidad del recurso, o agua suficiente para poder desarrollar la zona en otros sectores.

7.4.3.1 Parte alta

Cuadro 77. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte alta

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)															
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2034	2035	2040	2045	2050	2055	2060	2063
Poblacional	0,0102	0,0053	0,0054	0,0054	0,0055	0,0055	0,0056	0,0056	0,0059	0,0062	0,0062	0,0066	0,0069	0,0073	0,0076	0,0080	0,0083
Comercial	0,0214	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,0010	0,0010
Industrial	0,0214	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,0910	0,0043	0,0047	0,0051	0,0056	0,0061	0,0066	0,0073	0,0112	0,0159	0,0173	0,0268	0,0414	0,0640	0,0989	0,1529	0,1985
Ganadero	0,0300	0,0026	0,0027	0,0028	0,0028	0,0029	0,0030	0,0031	0,0036	0,0041	0,0042	0,0048	0,0056	0,0065	0,0075	0,0087	0,0095
Agrícola	0,0800	0,2256	0,2436	0,2631	0,2842	0,3069	0,3315	0,3580	0,5260	0,7156	0,7729	1,1356	1,6686	2,4517	3,6024	5,2931	6,6678
Total		0,2382	0,2568	0,2768	0,2985	0,3219	0,3472	0,3744	0,5473	0,7423	0,8012	1,1744	1,7232	2,5303	3,7173	5,4637	6,8852

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Existe una disminución en la demanda de agua por agricultura mayor a 15 mil metros cúbicos por día.
- 2) El único mes que presenta déficit de agua desde el presente es el mes de marzo.
- 3) A partir del año 2034 la oferta supera la demanda de agua para los primeros meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.
- 4) A partir del año 2050, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.
- 5) A partir del año 2063, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 6,86 metros cúbicos por segundo. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.

7.4.3.2 Parte media

Cuadro 78. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte media

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)																
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2028	2030	2034	2035	2040	2044	2045	2050	2055	2057
Poblacional	0,0102	0,0235	0,0237	0,0240	0,0242	0,0245	0,0247	0,0250	0,0257	0,0263	0,0274	0,0276	0,0291	0,0303	0,0306	0,0322	0,0339	0,0346
Comercial	0,0214	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0019	0,0019	0,0019	0,0021	0,0021	0,0023	0,0024	0,0027	0,0029	0,0029	0,0033	0,0036	0,0038
Industrial	0,0214	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Turístico	0,0910	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0300	0,0396	0,0408	0,0420	0,0433	0,0446	0,0459	0,0473	0,0517	0,0548	0,0617	0,0635	0,0737	0,0829	0,0854	0,0990	0,1148	0,1218
Agrícola	0,0800	0,4876	0,5266	0,5687	0,6142	0,6634	0,7164	0,7738	0,9747	1,1369	1,5467	1,6705	2,4545	3,3393	3,6065	5,2991	7,7861	9,0817
Total		0,5524	0,5929	0,6365	0,6835	0,7343	0,7890	0,8480	1,0542	1,2201	1,6381	1,7641	2,5599	3,4554	3,7254	5,4335	7,9384	9,2418
Suma parte alta		0,7906	0,8497	0,9133	0,9821	1,0562	1,1361	1,2224	1,5243	1,7674	2,3804	2,5652	3,7343	5,0513	5,4486	7,9638	11,6557	13,5781

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Existe una disminución en la demanda de agua por agricultura mayor a 29 mil metros cúbicos por día.
- 2) El único mes que presenta déficit de agua desde el presente es el mes de abril.
- 3) A partir del año 2028 la oferta supera la demanda de agua para los primeros meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Por lo que se obtiene un aumento de tres años respecto al escenario #1.
- 4) A partir del año 2044, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.
- 5) A partir del año 2057, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 13,17 metros cúbicos por segundo. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.

7.4.3.3 Parte baja

Cuadro 79. Proyección del consumo mensual de agua para el escenario #3 y crecimiento normal para la parte baja

Sector	Tasa de crecimiento	Consumo (m ³ /s)														
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2034	2035	2040	2045	2050	2055	2057
Poblacional	0,0102	0,0124	0,0125	0,0127	0,0128	0,0129	0,0130	0,0132	0,0139	0,0144	0,0146	0,0153	0,0161	0,0170	0,0179	0,0182
Comercial	0,0214	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0010	0,0011	0,0011	0,0012	0,0014	0,0015	0,0017	0,0018
Industrial	0,0214	0,0616	0,0629	0,0643	0,0656	0,0670	0,0685	0,0699	0,0778	0,0846	0,0864	0,0961	0,1068	0,1188	0,1320	0,1377
Turístico	0,0910	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ganadero	0,0300	0,0144	0,0148	0,0153	0,0157	0,0162	0,0167	0,0172	0,0199	0,0224	0,0231	0,0268	0,0311	0,0360	0,0417	0,0443
Agrícola	0,0800	0,3503	0,3783	0,4086	0,4413	0,4766	0,5147	0,5559	0,8168	1,1112	1,2001	1,7634	2,5909	3,8069	5,5937	6,5244
Total		0,4395	0,4694	0,5016	0,5363	0,5736	0,6138	0,6571	0,9293	1,2338	1,3254	1,9028	2,7464	3,9802	5,7870	6,7265

Para el presente escenario en la parte alta podemos confirmar lo siguiente:

- 1) Existe una disminución en la demanda de agua por agricultura mayor a 20 mil metros cúbicos por día.
- 2) A partir del año 2034 la oferta supera la demanda de agua para los primeros meses del año: enero, febrero, marzo, abril y mayo. Por lo que se obtiene un aumento de siete años respecto al escenario #1.
- 3) A partir del año 2045, la demanda de agua va ser tal que se va superar el promedio anual de oferta. Por lo que se obtiene un aumento de seis años respecto al escenario #1.
- 4) A partir del año 2057, la demanda de agua supera el mes de máxima disponibilidad, que sería el mes de octubre con 13,17 metros cúbicos por segundo. Por lo que se obtiene un aumento de seis años respecto al escenario #1.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

La cuenca del río Abangares tiene una extensión de 300,89 m², lo que representa alrededor del 42% de la superficie del cantón de Abangares, su forma se define como alargada y cursan por ella 346 km de cauces de ríos de orden 5. Presenta una insuficiente capacidad de drenaje debido a la intermitencia de la mayoría de sus ríos, que pierden hasta en 25% de su longitud en la época seca.

De acuerdo a la distribución porcentual del área acumulada y la forma de la curva hipsométrica con una concavidad hacia abajo, la cuenca se describe con presencia de valles profundos y sabanas planas con gran capacidad erosiva.

De acuerdo a las características geológicas y climáticas del lugar, tales como precipitación, temperatura, elevación y pendientes, se logran identificar tres zonas bastantes marcadas en la cuenca: parte alta, parte media y parte baja. Gracias a la variación en dichos parámetros se encuentran en la zona gran cantidad de microclimas que propician el desarrollo de gran cantidad de usos del suelo y actividades socioeconómicas.

La parte alta se caracteriza por temperaturas bajas de hasta 16 grados centígrados, precipitaciones de hasta 4000 mm y elevaciones mayores a los 1400 m.s.n.m. Desarrollando en ella actividades como la agricultura, ganadería de leche y turismo.

La parte media se caracteriza por temperaturas que van desde los 28 hasta los 23 grados centígrados, precipitaciones de hasta 1800 mm y una elevación promedio que ronda los 400 m.s.n.m. Zona donde se ha desarrollado el mayor asentamiento de la población y por ende la mayor actividad comercial y de servicios, además de la ganadería extensiva de carne y la minería artesanal.

La parte baja se caracteriza por temperaturas altas mayores a los 32 grados centígrados, precipitaciones menores a 1400 mm y elevaciones que van desde los 0 a los 200 m.s.n.m. Se identifica en el distrito de Colorado un gran desarrollo industrial debido a la integración de

grandes empresas como CEMEX, Dos Pinos, Pinturas Sur y COONAPROSAL, además de la producción de cultivos extensivos como el arroz y la caña de azúcar.

La cuenca del río Abangares presenta una problemática muy seria debido a la carencia de un plan de manejo y protección de la misma y sus nacientes, inadecuado uso del suelo y daños por deforestación que provoca una permanente erosión.

La ganadería, es una de las actividades socioeconómicas con mayor crecimiento en el mundo y una de las más perjudiciales, provocando sobrepastoreo, contaminación por desechos y el aumento del cambio climático.

En Abangares existe diversidad de cultivos: frutas, hortalizas, semillas, vegetales, legumbres, etc., y su desarrollo sigue en aumento. Es la actividad socioeconómica que más atenta contra la disponibilidad del recurso hídrico, ya que más del 90% de la demanda de agua de la zona es utilizada en ella. Además de que su desarrollo implica el uso de fertilizantes, plaguicidas y tala de árboles que perjudican las fuentes superficiales y subterráneas.

El cantón de Abangares cuenta desde el año 2009 con un Plan Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, pero aún con el esfuerzo de la municipalidad solo se ha logrado una cobertura de recolección del 78,3%, muy por debajo del promedio nacional de 86% y del promedio de América Latina y el Caribe de 89,9%. Razón por la cual, se estima que un total de 4600 kg de residuos sólidos van a dar a los cuerpos superficiales.

Se tomaron cinco puntos de muestreo distintos para realizar el análisis de la calidad del agua, dos en la parte alta, dos en la parte media y uno en la baja de la cuenca. Según los resultados obtenidos y la debida comparación con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales y el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, el agua de los ríos de la cuenca es apta para el consumo humano únicamente si se realiza un exhaustivo tratamiento previo, que incluya por lo menos un tratamiento primario físico por rejillas, sedimentación o floculación y que incluya desinfección por cloro cuando menos. Al igual que el acueducto de Las Juntas existente que cuenta con planta potabilizadora, otra captación superficial requiere de estos

mismos procesos para su acondicionamiento. Para que esto sea sostenible en el tiempo, el deterioro en la calidad de agua debe frenarse, disminuirse y sostenerse mediante medidas de conservación planteadas y controles exhaustivos.

Los parámetros que incumplieron los límites de aceptabilidad de los reglamentos, por ende, los que deben de tomar mayor atención y medidas fueron el potencial de hidrógeno, con valores muy alcalinos en la parte alta, que podrían ser provocados por el uso de fertilizantes y plaguicidas, turbiedad provocada por la erosión que sufre la cuenca debido a su uso inadecuado del suelo y coliformes fecales debido a las excretas producidas en la actividad ganadera y el inexistente sistema de alcantarillado sanitario del cantón.

En el cantón de Abangares, más del 95% de los hogares depositan sus aguas residuales en tanques sépticos, en su mayoría muy artesanales y contruidos sin fundamentos por los propios dueños, a esto hay que sumarle la inexistencia de alcantarillado sanitario y tratamientos primarios de aguas residuales. Lo que se refleja claramente en los resultados obtenidos para los parámetros de coliformes fecales, e-coli y e-faecalis con valores superiores hasta en tres órdenes de magnitud en comparación con los aceptables.

Para estimar la demanda de agua en la zona de Abangares se utiliza el concepto de la tasa de crecimiento geométrico, tomando en cuenta el sector poblacional, comercial, industrial, turístico, agrícola y ganadero, siendo la demanda de agua por agricultura la mayor con alrededor del 92%.

La estimación de la demanda agrícola se puede cuantificar con el método descrito en el manual técnico de dotaciones de agua del MINAE, que toma en cuenta para su cálculo la altura promedio del cultivo, el coeficiente de consumo k para los cultivos en Costa Rica y la eficiencia del sistema de riego.

Para las tres partes involucradas de la cuenca, realizar modificaciones en los sistemas de riego se traduce en el ahorro de 65 000 metros cúbicos por día, lo que proporcionaría siete años de gozo del recurso hídrico.

Por último, la instrumentación de la cuenca finalmente se propone en tres líneas:

1. Controles de disponibilidad de agua, consumo y producción
2. Controles de seguimiento de calidad en campo, operativos de control y respuesta inmediata para impactos de las actividades
3. Muestreos y mediciones de laboratorio, seguimiento de parámetros relevantes asociados a las actividades desarrolladas en la cuenca

8.2 Recomendaciones

Se recomienda, por parte de la Municipalidad local y las instituciones involucradas, realizar un esfuerzo para poner en vigencia el Plan Regulador del cantón de Abangares, que es relevante incluir con respecto al tema, así como realizar un análisis exhaustivo en lo que respecta al uso del suelo en la zona que quede plasmado en dicho Plan Regulador.

Debido a que en el cantón de Abangares, principalmente en el distrito de las Juntas, los hogares y comercios se encuentran muy juntos y en espacios estrechos, para la implementación del Plan Regulador del cantón de Abangares, se recomienda que se regule dicho aspecto ya que existe una muy alta conductividad hidráulica en la zona, que genera la saturación de todo sistema fluvial. Además, se recomienda la sustitución de los sistemas individuales de saneamiento en las zonas más densamente pobladas y controles asociados para el buen funcionamiento de estos, en las zonas de mediana a baja densidad poblacional.

Se recomienda la implementación inmediata de planes de reforestación de la cuenca y controles de erosión, con el fin de brindar una mayor protección a las nacientes y para que las raíces de los árboles sirvan de soporte y se reduzca el transporte de material.

Se recomienda realizar un seguimiento mensual de los parámetros de calidad ambiental en los diferentes cuerpos de agua superficial, para continuar con el estudio del comportamiento de los índices de calidad y contaminación de la cuenca, así como asociar dichos datos de laboratorio con los obtenidos en campo en cuanto nivel y caudal.

Se recomienda realizar análisis estadísticos y matemáticos de los parámetros de la calidad de las fuentes de agua, en función y en conjunto con variables meteorológicas como la precipitación, humedad y temperatura.

Se recomienda mantener actualizados los mapas de uso de suelo de la zona del cantón para determinar el impacto que pueden tener las actividades socioeconómicas realizadas sobre la calidad del agua y el comportamiento de los parámetros estudiados.

En cuanto a la actividad minera, inicialmente se recomienda realizar un censo sobre la cantidad de personas que se dedican a esta actividad y la cantidad de rastras y su ubicación en el cantón. Posteriormente, unir representantes de todas las cooperativas y asociaciones mineras de la zona, con el fin de tomar medidas en lo que respecta a la salud ocupacional de los mineros y sus familias.

Es importante considerar la medición de otros parámetros indicadores de la actividad minera, determinados por una caracterización de las sustancias residuales generadas, ya que no son contemplados en este estudio y podrían incidir en la calidad del agua del río.

Debido a que en el cantón de Abangares y la mayoría del sector chorotega se realiza el riego por inundación, se recomienda mejorar la eficiencia de estos sistemas de riego cambiándolos a sistemas de aspersión, presurización y riego por goteo que promueva el ahorro del recurso hídrico hasta en un 40%.

Además del aumento en la eficiencia y el ahorro de agua, se recomienda el riego por goteo para poder llevar una estadística más veraz y completa sobre el consumo y dotación de agua de cada cultivo.

Se recomienda realizar una investigación para la identificación de los agroquímicos, fertilizantes y pesticidas utilizados en los cultivos de la zona, así como la debida capacitación a los agricultores acerca de buenas prácticas en la utilización de estos, ambas acciones con el fin de determinar si son factores determinantes en la contaminación de los cuerpos de agua superficial y para evitar el alto del contenido de sustancias químicas que aumenten el nivel de pH y fósforo de las fuentes.

Según los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua, la turbiedad es uno de los parámetros que más incumple los límites permitidos por los reglamentos nacionales, razón por la cual, se recomienda la implementación de turbidímetros por lo menos en los puntos donde se encuentran las estaciones meteorológicas y pluviométricas, además de la colocación de trampas de sedimentos en puntos estratégicos como los lugares más vulnerables a deslizamientos y donde exista mayor asentamiento del ganado.

Se recomienda la implementación de un programa de revisión de tanques sépticos de los hogares del cantón, con el fin de verificar su funcionamiento y saturación y evitar que las aguas residuales estén tomando otros rumbos o infiltren los mantos acuíferos. Por otra parte, realizar controles eficaces y exhaustivos para nuevos desarrollos que utilicen tanques sépticos, incorporar sistemas mejorados con filtros adicionales o biojardineras en las zonas de media y baja densidad poblacional.

Se recomienda el inicio de anteproyectos y estudios de factibilidad para el inicio de la construcción del alcantarillado sanitario en la ciudad de las Juntas, donde se encuentra el mayor asentamiento de la población y el sector comercial.

Se recomienda reubicar a la población que vive a la orilla de los ríos para eliminar las descargas de agua residual y brindarles mayor seguridad, ya que se encuentran expuestos a inundaciones por crecidas del río. Las autoridades competentes deben velar por el cumplimiento de retiros y controles para evitar descargas directas, así como aspectos relevantes a los estudios básicos, revisión de áreas de drenaje, operación y mantenimiento de adecuados.

Para aumentar el porcentaje de cobertura de recolección de residuos sólidos del cantón, se recomienda el estudio de nuevas rutas y horarios de recolección según la necesidad de las personas, así como la utilización de camiones de menor envergadura que se puedan utilizar en lugares de difícil acceso.

Para ayudar a solventar el problema de la concentración de coliformes fecales, se recomienda la incentivación a los ganaderos sobre la recolección de las excretas de sus animales, así como la construcción de pequeños biodigestores con lo que logren obtener un beneficio de las excretas, convirtiéndolas en abono.

Si no es posible o viable la construcción de biodigestores para algunos de los ganaderos, principalmente los que manejan menos cantidad de animales o menor extensión superficial, organizar un equipo dedicado al transporte de estas a los biodigestores existentes en la parte alta de la cuenca.

Se recomienda la creación de talleres y capacitaciones sobre el racionamiento del recurso hídrico en instituciones como escuelas, colegios, ferias del agricultor, cámaras de ganaderos, etc. Tales como el funcionamiento de un sistema de riego por goteo, fincas piloto, talleres sobre construcción y mantenimiento de biodigestores y biojardineras y sistemas de saneamiento individual mejorado, así como la eficiente operación y mantenimiento de los tanques sépticos ya existentes.

9. FUENTES DE INFORMACIÓN PRELIMINAR

Sheng, T. (1992). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

Aparicio, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México, D.F.: Limusa.

Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, Departamento de Aguas. Publicado en la Gaceta. (2004). Manual Técnico. Capítulo 1: Dotaciones de agua para calcular las necesidades de las solicitudes para aprovechamiento de aguas

Ministerio de Salud. Publicado en La Gaceta. (2005). Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen 1. Tercera edición.

MINAE. Publicado en La Gaceta. (2007). Reglamento de vertido y reúso de Aguas Residuales.

MINAE. Publicado en La Gaceta. (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2008). Atlas digital de Costa Rica 2008. Cartago.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2010). Manual para el Productor: Tecnologías Sostenibles para el Manejo de Remanentes en Granjas Porcinas. Programa de Investigación y Transferencia Tecnológica en Cerdos (PITTA – Cerdos) en la Escuela Centroamericana de Ganadería (ECAG) y con la colaboración del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). San José, Costa Rica.

Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES).(2012) Manejo integrado de los recursos hidráulicos de la cuenca del Río Abangares. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (2010). Plan Regulador del Cantón de Abangares
- Araya, G. (2011). Diagnóstico del estado actual de la planta potabilizadora de Las Juntas de Abangares. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Enginners Canada.(2011). Protocolo de Ingeniería del PIEVC para la Evaluación de la Vulnerabilidad de Infraestructuras y su Adaptación al Cambio Climático
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (2012). Manual Simplificado para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua (PSA).
- Rodríguez, D. (2013). Evaluación de las fuentes superficiales de la red fluvial del río Abangares para el refuerzo del acueducto de la ciudad de Las Juntas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Wing Ching, R. (2013).El Recurso Hídrico en Sistemas de Producción Animal en Costa Rica. Centro de Investigación en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Araya, A. (2014). Integración del balance hídrico de la red fluvial de la cuenca del río Abangares, Guanacaste. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2014). Atlas digital de Costa Rica 2014. Cartago.
- Barrasa, I. (2015). Caracterización y evaluación física, química y bacteriológica de la calidad del agua de la parte baja del Río Abangares. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Estadística y Censo (2015). Anuario estadístico 2012-2013 Compendio de datos actualizados del país, INEC: San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (s.f).Censo 2011 Población total por zona y sexo, según provincia, cantón y distrito. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/poblacion/temasespeciales-de-poblacion>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (s.f). Proyecciones distritales Población total por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo. Recuperado de <http://www.inec.go.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>.
- Vidal, P. (2016). Notas de Clase del Curso IC0924. San José: Universidad de Costa Rica.
- Serrano, A. (2016). Notas de Clase del Curso IC0808. San José: Universidad de Costa Rica.
- Ministerio de Salud. (2016). Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) 2016-2021. Primera edición. San José, Costa Rica
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica(MIDEPLAN). (2017) Índice de Desarrollo Social 2017. Área de Análisis y Desarrollo. San José, Costa Rica
- Quesada, J. (2017). Determinación de los requerimientos de gua para diferentes cultivos de la zona norte de Cartago. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola, Escuela de Ingeniería Agrícola, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio Nacional de Aguas. (2018). Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH). Segunda versión. San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Turismo (ICT). (2019) Cifras Turísticas. Pisos de Demanda 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017. Extraída. Recuperado el 13 de julio de 2019 de <https://www.ict.go.cr/es/estadisticas/cifras-turisticas.html>
- Municipalidad de Abangares. (2019). Abangares, Guanacaste, Costa Rica.
- Municipalidad de Colorado. (2019). Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sede Regional Abangares. (2019). Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

Dirección del Distrito de Riego Arenal Tempisque (DDRAT) de SENARA. (2019). Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2019). Estadísticas agropecuarias. Extraída. Recuperado el 12 de julio de 2019 de: <http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/Paginas/default.aspx>

10. INSTITUCIÓN INTERESADA EN EL PROYECTO Y POSIBILIDADES DE EJECUCIÓN

La Municipalidad de Las Juntas de Abangares, como parte del proyecto "Manejo integrado de los recursos hidráulicos de la cuenca del Río Abangares", presenta un interés en el proyecto debido a que es un aporte al esfuerzo de la institución por solucionar los problemas de disponibilidad y calidad del agua que se presentan actualmente. Este proyecto forma parte de una línea de investigación realizada en la zona, que cuenta con el apoyo del organismo municipal, la Universidad de Costa Rica y el Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible.

11. CONSTITUCIÓN DEL COMITÉ ASESOR

El siguiente grupo de profesionales serán los integrantes del comité asesor del proyecto de graduación.

Directora: Ing. Paola Vidal Rivera

Asesor 1: M.Sc. Rafael Oreamuno Vega

Asesor 2: Dr. Alberto Serrano Pacheco