

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Química

Carrera de Ingeniería Ambiental



Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería

Ambiental

“Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí”

Lissy Michelle Soto Castro

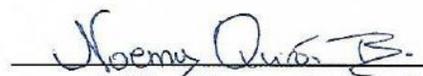
Guápiles, Junio 2019

“Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí”
Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura.

Miembros del tribunal



M.Sc. Diana A. Zambrano P.
Director



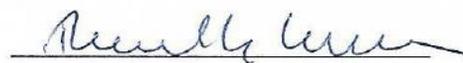
M.S.c. Noemy Quirós B.
Lector 1



Lic. Luis A. Vega V.
Lector 2



M.Sc. Diana A. Zambrano P.
Coordinador COTRAFIG



M.Sc. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

M.Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi familia que siempre ha sido el pilar, apoyo y guía durante todo mi caminar.

A mi madre Clara fuente de inspiración, a quien debo todo lo que soy y donde he llegado.

A mis hermanos José y Rodiney, por su incondicional ayuda y amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cumplir este sueño y darme las fuerzas necesarias día con día para luchar por él.

A la profesora M.Sc. Diana A. Zambrano, por aceptar y contribuir en el desarrollo del proyecto, así como todas sus enseñanzas en el transcurso de la carrera.

Al personal de la Unidad Técnica de Gestión Ambiental, al departamento de Catastro y otros departamentos de la Municipalidad de Pococí por contribuir con la información. A Alejandro, por su pronta ayuda ante cualquier consulta, por ponerse las botas y recorrer el río.

A Marco Méndez por su gran ayuda en los trabajos de laboratorios de Ingeniería Ambiental y por su mano amiga.

Al personal del CEQIATEC, por su ameno trato y gran contribución.

A Ari, por su gran carisma y la ayuda proporcionada para el muestreo.

A los colegas de ambiental, que de una u otra manera contribuyen con el aprendizaje y los buenos ratos compartidos.

A mis viejos amigos del TEC que fueron una guía en los primeros años de universidad.

A mis chiquis Silvi, Vale, Abi por ser esa ayuda en cada estudiada, ese apoyo ante cada dificultad, por los almuerzos, las lloradas, las risas, las películas, las comidas, con quienes disfruté las cosas pequeñas y grandes del TEC, gracias por tanto chicas.

A mis amigas de futbol, porque fueron el desahogo en el momento que más lo necesitaba, gracias hacer un antes y un después, por tantas risas y vivir conmigo una de las mejores experiencias de la U.

A mi amiga Yari, por siempre tener las palabras necesarias y cuando no, también. Gracias por cada abrazo y momento vivido.

A mi Dani, por ser ese apoyo y motor para seguir adelante.

A cada una de las personas con las que compartí pequeños o grandes momentos, a quien me hizo creer en lo lejos que podía llegar, son muchísimos para mencionar, por lo que agradezco de corazón a cada uno de ustedes, que me hicieron disfrutar realmente mi vida, fueron parte de lo que siempre recordaré.

A mi familia por tanto apoyo, por velar siempre por mis necesidades, por todas las veces que me escucharon y me impulsaron para seguir adelante. A Roberto por sus oraciones, por sus palabras de entendimiento y su constante apoyo. A mi tía Sandra, por ser siempre una segunda mamá y tanto apoyo brindado.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GENERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS	18
3.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES	20
3.3. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	22
3.4. CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y NO PUNTUAL.....	23
3.5. SANEAMIENTO AMBIENTAL.....	24
3.6. AGUA RESIDUAL.....	24
3.7. CALIDAD DEL AGUA.....	25
3.8. GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO (GIRH)	26
3.9. SANEAMIENTO AMBIENTAL CENTRADO EN EL HOGAR	26
3.10. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN AGUA URBANA.....	27
3.11. ENFOQUE DE LOS TRES PASOS	28
3.12. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	28
3.13. PROBLEMÁTICA.....	34
3.13.1. NIVEL MUNDIAL	34
3.13.2. NIVEL NACIONAL	35
3.14. ESTUDIOS RELACIONADOS.....	37
4. MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	40
4.2. ALCANCE DE ESTUDIO.....	41
4.3. ENCUESTAS REALIZADAS AL SECTOR COMERCIAL Y RESIDENCIAL.....	42
4.3.1. SELECCIÓN DE LA POBLACIÓN A ENCUESTAR	43
4.3.2. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA	44
4.3.3. APLICACIÓN DE LAS ENCUESTAS	48
4.3.4. RUTAS DE LAS ENCUESTAS	48
4.3.5. COMPOSICIÓN DE LA ENCUESTA.....	48
4.3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENCUESTA	49

4.4.	MONITOREO DE CUERPOS RECEPTORES DE AGUA SUPERFICIAL	50
4.4.1.	DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO	50
4.4.2.	ANÁLISIS IN SITU.....	52
4.4.3.	ANÁLISIS EX SITU	53
4.4.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL RÍO	54
4.5.	IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE VERTIMIENTO.....	57
4.6	PRIORIZACIÓN DE LAS SECCIONES DE ESTUDIO.....	59
4.6.1	PRIORIZACIÓN DE LAS ZONAS DE INTERVENCIÓN.....	59
4.6.2	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	59
4.7	ESTRATEGIAS DE GESTIÓN.....	60
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
5.1	IDENTIFICACIÓN DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN Y ASPECTOS SOCIOCULTURALES DE LA POBLACIÓN EN ESTUDIO	61
5.1.1	AGUAS RESIDUALES.....	61
5.1.2	SALUD PÚBLICA	74
5.1.3	CARACTERIZACIÓN DEL RÍO.....	78
5.1.4	RESIDUOS SÓLIDOS	83
5.2	CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL	88
5.3	PRIORIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	105
5.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	113
5.5	ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN	118
6.	CONCLUSIONES.....	132
7.	RECOMENDACIONES.....	136
7.	REFERENCIAS	137
8.	APÉNDICES.....	145
	APÉNDICE 1: ENCUESTA APLICADA.....	145
	APÉNDICE 2: RUTAS DE APLICACIÓN DE ENCUESTAS.....	147
	APÉNDICE 3: RESULTADOS CON LA TOTALIDAD DE POBLACIÓN ENCUESTADA.	155
	APÉNDICE 4: CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES	163
9.	ANEXOS.....	164
	ANEXO 1: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS I PERIODO MUESTREO	164
	ANEXO 2: RESULTADOS BIOLÓGICOS I PERIODO DE MUESTREO	170

ANEXO 3: RESULTADOS FÍSICO- QUÍMICOS II PERIODO DE MUESTREO	176
ANEXO 4: RESULTADOS BIOLÓGICOS II PERIODO DE MUESTREO	182
ANEXO 5: METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL	188
ANEXO 6: METODOLOGÍA PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE SATUACIÓN DE OXÍGENO (PSO).....	191

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del territorio Pococí y sus respectivos distritos-----	41
Figura 2. Ubicación del proyecto distrito Guápiles-----	42
Figura 3. Secciones de estudio -----	47
Figura 4. Localización de los puntos de muestreo-----	51
Figura 5. Separación de las aguas grises y aguas residuales -----	62
Figura 6. Manejo de las aguas residuales -----	63
Figura 7. Manejo de aguas grises -----	66
Figura 8. Frecuencia de mantenimiento al sistema de tratamiento -----	67
Figura 9. Conocimiento sobre el momento de realizar el mantenimiento-----	69
Figura 10. Conocimiento sobre la manera en que se realiza el mantenimiento-----	70
Figura 11. Razones de la frecuencia de mantenimiento al sistema de tratamiento-----	72
Figura 12. Disposición a conectarse al alcantarillado sanitario-----	74
Figura 13. Consideración de un ambiente saludable -----	76
Figura 14. Frecuencia de enfermedades presentes en la vivienda o comercio -----	77
Figura 15. Apreciación organoléptica comunitaria-----	80
Figura 16. Distribución sectorial de la percepción de olor y color -----	81
Figura 17. Distribución sectorial de la visualización de espumas y aceites -----	82
Figura 18. Calidad del servicio de recolección de basura-----	84
Figura 19. Manejo de la basura (residuos especiales, electrónicos) -----	87
Figura 20. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) -----	93
Figura 21. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno -----	94
Figura 22. Comportamiento de la concentración de Sólidos Suspendedos Totales (SST)-----	96
Figura 23. Comportamiento de los Sólidos Disueltos (SD) -----	97
Figura 24. Comportamiento de Nitratos (NO_3^-) -----	98
Figura 25. Comportamiento del Potencial de Hidrógeno (pH) -----	101
Figura 26. Comportamiento de Coliformes Fecales (CF)-----	102
Figura 27. Representación de los puntos de vertimiento-----	109
Figura 28. Presencia de residuos sólidos en la cuenca y sus riberas-----	112
Figura 29. Recopilación de información para sección Alta y Media-----	116
Figura 30. Recopilación de información para la sección Baja y 7 -----	117

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros de calidad de aguas superficiales	29
Cuadro 2. Estudios relacionados.....	38
Cuadro 3. Distribución de secciones y comunidades cercanas a los cuerpos de agua superficiales en estudio	43
Cuadro 4. Distribución de secciones y sus comunidades respectivas	44
Cuadro 5. Cantidad de encuestas a realizar por cada sección	46
Cuadro 6. Secciones y porcentajes del territorio a encuestar.....	46
Cuadro 7. Ubicación de los puntos de muestreo.....	50
Cuadro 8. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales.....	55
Cuadro 9. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.	56
Cuadro 10. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.	56
Cuadro 11. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total Obtenido	57
Cuadro 12. Simbología para la recopilación de información.....	59
Cuadro 13. Caudales obtenidos en cada punto de muestreo para los dos periodos establecidos.....	88
Cuadro 14. Resumen de los resultados por parámetro, punto y periodo de muestreo	89
Cuadro 15. Resumen de la clasificación físico-química de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores.	90
Cuadro 16. Comparación de la calidad biológica del agua (Índice BMWP-CR)	103
Cuadro 17. Puntos de vertimiento identificados en los cuerpos de agua en estudio.....	105
Cuadro 18. Propuesta de estrategias para la recuperación de la cuenca	120

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BMWP-CR: Macro invertebrados bentónicos

CEQIATEC: Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos

CF: Coliformes Fecales

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

COVS: Compuestos Orgánicos Semivolátiles

CT: Coliformes Totales

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

GyA: Grasas y Aceites

INDER: Instituto de Desarrollo Rural

INEC: Instituto Nacional de estadística y Censo

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

msnm: Metros sobre el nivel del mar

N-NH₄⁺: Nitrógeno Amoniacal

NO₃⁻: Nitratos

OD: Oxígeno Disuelto

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

PBC: Bifenilos Policlorados

pH: Potencial de Hidrógeno

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PSO: Porcentaje de Saturación de Oxígeno

SD: Sólidos Disueltos

SS: Sólidos Sedimentables

SST: Sólidos Suspendidos Totales

T: Temperatura

UCR: Universidad de Costa Rica

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

El manejo de las aguas residuales en relación con la contaminación de los ríos de Costa Rica, es un problema que merece especial atención. En el caso del distrito Guápiles, la Municipalidad de Pococí en su plan de gobierno, desea tomar medidas para la recuperación de la cuenca del río Guápiles, por lo que surge la necesidad de elaborar este proyecto, mediante el cual, se desarrolla una línea base del nivel de contaminación del río Guápiles y la quebrada Numancia. Se realizó un monitoreo para generar una primera línea base de los cuerpos de agua en estudio mediante parámetros físico-químicos y biológicos para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, para dos periodos (época seca y lluviosa), en seis sitios de muestreo que abarcan el área de influencia de la municipalidad. Según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para los Cuerpos Receptores, incluido en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S), se obtuvo una calidad buena durante el primer periodo y una calidad de contaminación incipiente para el segundo periodo a lo largo de la cuenca. Mediante la percepción de los miembros de las comunidades, tanto viviendas como comercios, se levantó el manejo que se le da a las aguas residuales y grises, su mantenimiento y, el nivel de aceptación de una posible instalación de alcantarillado sanitario municipal, como estrategia para remediar tal problemática, la percepción de la salud pública por cada sección, identificación de factores contaminantes presentes en los cuerpos de agua y el manejo de los residuos sólidos. Aunado a esto, se identificaron las fuentes de contaminación más relevantes, las zonas de los cuerpos de agua con mayor afectación como lo son la sección media con 66 puntos de vertidos de aguas negras y grises, clasificándose esta de prioridad uno, seguido de la sección Baja, Alta y 7; para su pronta intervención,

mediante una serie de estrategias presentadas que buscan la concientización de la población sobre la importancia del manejo de las aguas residuales, residuos sólidos y velar por el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Al promover mejoras en los sistemas individuales y desarrollar un plan de gestión del recurso hídrico y su entorno como tal, de manera que se vele por el desarrollo sostenible del distrito.

Palabras clave: Aguas residuales, aguas grises, residuos sólidos, Guápiles, Numancia, análisis, cuerpos de agua, vertimientos, estrategias.

ABSTRACT

The management of the wastewaters related to the contamination of the rivers in Costa Rica, is a problem that deserve special attention. In the case of the district of Guápiles, the Municipality of Pococí in its government plan, wants to take some strategies in order to recuperate the basin of the river, for this reason it is a need to elaborate this project, on this way, it is developed a base line of the contamination level of the Guápiles river and the Numancia Creek. A monitoring was carried out to generate a first baseline of the bodies of water studied by physic-chemic and biological parameters to evaluate and classify the quality of the superficial body of waters, for two periods of samplings (dry and rainy season) was done, in six sampling sites that take the area of influence of the municipality. According to the Dutch Index for the Valorization of the Quality Water for the Receptor Bodies (Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para los Cuerpos Receptores), included in the Regulation for the Evaluation and Classification of the Quality of Superficial Body Waters (Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales) (N° 33903-MINAE-S), it was obtained a good quality during the first period and an incipient contamination for the second period along the basin of the river. Through the perception of the members of the communities, both dwelling-houses and commerce, that allow to know the manage given to the residual and gray waters, its maintenance, the acceptance level of a possible installation of a municipal sewage system as an strategy to solve the problem, perception of the public health by each section, identification of pollutants factors presented in the bodies of water and the management of the solid waste. Joined to this the contamination factors more relevant were identified, the bodies water zones more affected like the middle section with 66 points of gray and black waters discharges, this one

was classified as priority zone, followed by the low/high section and 7; for its soon intervention by a series of actions and strategies presented that look for the conscience of the population about the importance of the handling of the wastewaters, solid wastes and watch out for the maintenance of the aquatic ecosystems. By promoting improvements in the individual systems and developing a water resource management plan and its environment to ensure the sustainable development of the district.

Key Words: Wastewaters, gray waters, solid wastes, Guápiles, Numancia, analysis, water bodies, dumpers, strategies.

1. INTRODUCCIÓN

El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Su conservación y calidad están estrechamente vinculadas prácticamente con todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como con la salud de la población (Calvo & Mora, 2011).

En Costa Rica, para el año 2016 se contó con una disponibilidad de recurso renovable de agua dulce de 103 120 millones de metros cúbicos, un 2,64% menos que el año anterior (Herrera, 2017).

El acelerado crecimiento económico, demográfico e industrial sucedido en las últimas décadas a nivel mundial, ha desencadenado una serie de alteraciones al ambiente. El medio acuático ha sido uno de los más afectados debido al vertido de desechos líquidos y sólidos, que alteran las características propias del agua superando, en la mayoría de los casos, la capacidad de autodepuración de los sistemas (Guevara & Herrera, 2014).

Los cuerpos de agua, lagos, ríos y océanos sufren de diferentes tipos de contaminación, causados, en su mayoría, por las actividades del ser humano. Los ríos se contaminan por amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos procedentes de fuentes puntuales urbanas, industriales y áreas de ganadería; nutrientes de origen difuso, en áreas agrícolas y urbanas; contaminantes derivados de problemas de eutrofización; acidificación; filtraciones de vertederos de escombros (basureros); filtraciones de embalses (Fernández, 2012). La degradación de la calidad del agua debido a la incorporación de estos contaminantes se ha traducido en la disminución de la salud general de las comunidades acuáticas de estos ecosistemas (Herrera, 2011).

Esta tesis investigativa, pretende dar a conocer una línea base del nivel de contaminación de la cuenca medio alta del río Guápiles y la quebrada Numancia, realizada por medio de una caracterización de los cuerpos de agua, con análisis físico-químicos y biológicos. Desarrollada mediante dos periodos representativos de la época lluviosa y la época seca, los cuales comparados con las normas vigentes permiten clasificar estas aguas superficiales por su calidad. Además, se pretende dar a conocer el punto de vista de las comunidades del distrito, con respecto a temáticas como gestión de aguas residuales, salud pública, manejo de residuos sólidos, relacionadas con la situación actual de la zona.

Aunado a esto, se elaboró una base de datos de las fuentes de contaminación directa a ambos cuerpos de agua y la priorización sobre su intervención, la cual se puede llevar a cabo mediante una serie de estrategias, que tienen como finalidad crear conciencia entre la población sobre la importancia de un manejo adecuado de las aguas residuales, así como disminuir el nivel de contaminación del río y mantener un ecosistema saludable.

Mediante estas acciones, se busca que la Municipalidad de Pococí logre una concientización de las comunidades del distrito, y se posibilite la disminución de los niveles de contaminación que generan problemas en la salud de las personas y el deterioro ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la cuenca media alta del río Guápiles, del cantón de Pococí, para la definición de una línea base respecto a los niveles de contaminación.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el nivel de contaminación actual, de la quebrada Numancia y la cuenca media alta del río Guápiles.
- Priorizar las secciones de estudio de acuerdo al impacto de las fuentes de contaminación identificadas.
- Proponer estrategias de gestión para la disminución de la contaminación y asegurar la calidad de los cuerpos de agua en estudio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las cuencas hidrográficas son sistemas biofísicos que definen la superficie terrestre que drena el agua y los sedimentos transmitidos en ella, nutrientes y constituyentes químicos, hasta un punto en un canal de arroyo o un río definido por límites topográficos. Estas son sistemas utilizados para estudiar el ciclo hidrológico, y nos ayudan a comprender cómo las actividades humanas influyen en este (Brooks, Ffolliott, & A., 2013). A su vez, un río es una corriente natural de agua que fluye desde elevaciones más altas, por lo general terrenos montañosos, a un cuerpo de agua estancado en elevaciones más bajas, generalmente es un lago o un océano, el flujo de agua generalmente se limita a un canal o una red de canales interconectados. Es importante recalcar, que los arroyos y ríos más pequeños se alimentan de ríos progresivamente más grandes, conocidos como ríos de orden superior, el tamaño de estos y la cantidad de agua aumenta en su recorrido y su pendiente disminuye (Wilmoth & Lerner, 2009).

Las aguas superficiales actúan como fuente de agua y contribuyen a la agricultura, el comercio y el transporte. Desde una perspectiva ambiental, las aguas superficiales son responsables de la erosión y deposición de una porción significativa de los sedimentos de áreas urbanas, y muchas aguas superficiales con corriente, transportan materiales suspendidos y disueltos a otros cuerpos de agua (Kaufman, Rogers, & Murray, 2011).

Diversas actividades afectan las relaciones entre la tierra, el agua y otros recursos naturales en una cuenca. A menudo se llevan a cabo de forma independiente, sin tener en cuenta cómo afectan a otras áreas, independientemente de las fronteras políticas, el agua y sus componentes fluyen desde las elevaciones más altas a las más bajas según los límites de la

cuenca. Lo que una persona o grupo hace en una dirección ascendente puede afectar el bienestar de los que están aguas abajo (Brooks, Ffolliott, & A., 2013). Por lo anterior, el desafío para las personas que viven en cuencas hidrográficas es mitigar los efectos de todos los cambios que afectan negativamente el bienestar humano y el funcionamiento de ecosistemas (Brooks et al., 2013).

Para los países en desarrollo, la situación es bastante diferente. Las Naciones Unidas estiman que tres cuartas partes de la población de los países menos desarrollados tienen un saneamiento inadecuado y que menos de la mitad tiene acceso a agua potable. Las condiciones generalmente son peores en áreas rurales donde los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales son ineficaces o inexistentes, y el agua purificada no está disponible o es demasiado cara de obtener (Cunningham & Heimer, 2013).

En los ríos, las causas más importantes del deterioro de la calidad del agua son generalmente la sedimentación, la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo), las bacterias coliformes fecales y los bajos niveles de oxígeno disuelto causados por el alto contenido orgánico (por ejemplo, aguas residuales, recortes de pasto, pasto y escurrimiento de forraje). La escorrentía agrícola, que incluye pesticidas, fertilizantes y sedimentos, es la principal fuente de contaminación de los ríos, seguida de la descarga de aguas residuales municipales (Bortman & Odle, 2013).

Por lo tanto, se hace necesario realizar una apropiada gestión de las aguas superficiales contemplando el aumento de la demanda de agua en un futuro inmediato, lo cual propicie a un desarrollo sostenible. El uso y la gestión del recurso hídrico, depende de las características físicas y biológicas de las cuencas hidrográficas, aunado a esto, se debe tener en cuenta, la

incidencia de las poblaciones en sus alrededores, con respecto a las actividades económica, social y cultural que se ven desarrolladas en la región.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Para determinar el alcance potencial o real de la contaminación, es necesario emprender un monitoreo del sitio contaminado. Esto con frecuencia implica la caracterización del sitio, es decir, identificar el área y/o el volumen del medio ambiente potencialmente contaminado. Puede también implicar comparaciones con sitios de control no contaminados para evaluar los niveles bases de contaminantes. Para llevar a cabo la caracterización del sitio, es importante establecer regímenes de muestreo adecuados para la muestra en particular, ya sea suelo, agua o aire (Pepper, Gerba, & Brusseau, 2006).

Una vez que el cuerpo de agua deteriorado es identificado, se realiza un estudio para identificar las fuentes y concentración de contaminantes. Posteriormente, se desarrolla un plan con el fin de reducir la fuente o fuentes más significativas de manera que se cumplan los estándares de calidad del agua. Los métodos elegidos para la restauración de un sitio en particular estarán determinados por la naturaleza del lugar, el nivel de degradación existente y el resultado deseado a lo largo del tiempo. Las causas subyacentes de la degradación deben identificarse como bióticas, abióticas o como una combinación de ambas. La información recopilada para el desarrollo del plan y la evaluación del sitio, deben presentar una imagen bastante clara de la ruta que seguirá el proyecto de restauración, y dará forma a metas alcanzables a través de objetivos del proyecto cuidadosamente estructurados, de la identificación del sitio y de estrategias de implementación (Pepper et al., 2006).

Se debe considerar en los primeros pasos del muestreo, evaluar la morfología e hidrología del cuerpo de agua superficial, por lo que se pueden identificar las ubicaciones de muestreo

apropiadas, recolectando una muestra apropiada y representativa dependiendo del tipo de agua superficial (Kaufman et al., 2011).

Los factores que afectan la ubicación de muestreo incluyen: compuestos químicos de importancia, profundidad del cuerpo de agua, tasa de flujo, tamaño, si hay una ubicación específica de relevancia, topografía y composición del fondo del cuerpo de agua. En configuraciones complejas de aguas superficiales, se miden datos como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto para evaluar la calidad del agua, estos parámetros contribuyen a conocer si existe alguna estratificación horizontalmente o verticalmente dentro de la columna de agua, de manera que monitorear estos factores, mejora las posibilidades seleccionará ubicaciones de muestreo apropiadas y un número efectivo de muestras (Kaufman et al., 2011).

Realizar la caracterización en el sitio permitirá obtener información más concreta sobre las propiedades del sitio, sin embargo, es importante considerar que según Kaufman et al. (2011), la mayoría de los hogares contienen sustancias químicas que deben ser considerados contaminantes si fueran liberados al medio ambiente o eliminados incorrectamente. Estos productos químicos pueden ser: limpiadores, disolventes, gasolina, entre otros.

Además de sustancias químicas y contaminantes orgánicos comúnmente presentes en áreas urbanas: compuestos orgánicos volátiles (COV), líquidos de fase no acuosa densa, líquidos ligeros en fase no acuosa, hidrocarburos aromáticos polinucleares, compuestos orgánicos semivolátiles (COVS), bifenilos policlorados (PCB), plaguicidas y herbicidas, metales pesados, fertilizantes comunes que incluyen nitratos, fósforo y potasio, gases de invernadero, monóxido de carbono, partículas (polvo), ozono, bacterias como bacterias coliformes, virus, productos farmacéuticos, cianuro (Kaufman et al., 2011).

3.3. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Se refiere a las sustancias no deseables en concentraciones tales que puedan ocasionar alteraciones en su estructura y funcionamiento. Es la alteración de un medio o vector ambiental (aire, agua o suelo) contaminado por sustancias materiales, descargas o emisión de desechos sólidos líquidos o gaseosos (Encias, 2011).

La contaminación ambiental abarca la contaminación del aire, el agua y el suelo en el momento en que se dé una descarga de material, en cualquier estado físico, que cause un daño real o potencial al bienestar de la salud humana o al medio ambiente (Corbett, 2008).

Este concepto está ligado con los contaminantes emergentes, los cuales pueden definirse como cualquier sustancia química sintética o natural o cualquier microorganismo que no se detecte comúnmente en el medio ambiente, pero que pueda entrar en él y causar efectos adversos ecológicos y/o para la salud humana. Los contaminantes emergentes se encuentran en concentraciones variables en aguas residuales tratadas y no tratadas, efluentes industriales y escorrentías agrícolas que se infiltran en ríos, lagos y aguas costeras (UNESCO, 2011). Los riesgos potenciales para la salud humana de los contaminantes emergentes por medio de la exposición a través del agua potable y los productos agrícolas continúan siendo una preocupación muchos productos químicos reconocidos como contaminantes emergentes podrían causar alteraciones endocrinas en los seres humanos y en la fauna acuática (provocando anomalías congénitas y trastornos del desarrollo, y afectando la fertilidad y la salud reproductiva), incluso en concentraciones muy bajas (UNESCO, 2017).

La contaminación del agua se define como contaminación antropogénica de cuerpos de agua (ríos, lagos, aguas subterráneas, estuarios y océanos) de la descarga, directa o indirectamente, de una sustancia que cambia el funcionamiento del sistema (Hanley et al., 2013). La

contaminación altera la composición y las características de un cuerpo de agua y su calidad. Por ejemplo, la descarga de desechos orgánicos de las alcantarillas a los ríos acelera los procesos biológicos, y en el proceso consume oxígeno que puede causar la pérdida de la vida acuática. Los nutrientes de los fertilizantes y la ganadería del sector agrícola pueden conducir a la eutrofización de ríos y lagos, y pueden dar lugar a floraciones de algas tóxicas y cambios en las comunidades de fauna y flora de agua dulce. Además, la mala calidad del agua reduce la cantidad de agua utilizable y, por lo tanto, agrava el problema de la escasez de agua (OECD, 2017).

Las aguas residuales no tratadas, vertidas en el medio ambiente, ocasionan un impacto en la calidad del agua que, a su vez, afecta la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo. La contaminación del agua ha aumentado en la mayoría de los ríos, debido a la creciente cantidad de aguas residuales como resultado del crecimiento demográfico, el aumento de la actividad económica y la expansión de la agricultura, así como el vertido de aguas residuales sin tratamiento (o apenas con niveles mínimos) (PNUMA, 2016) citado por (UNESCO, 2017).

3.4. CONTAMINACIÓN PUNTUAL Y NO PUNTUAL

Las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación afectan la calidad del agua. Las fuentes puntuales son ubicaciones discretas que descargan contaminantes, principalmente tuberías de salida industriales o plantas de tratamiento de aguas residuales. Las fuentes no puntuales son más difusas e incluyen la escorrentía pluvial y la escorrentía de la agricultura, la tala, la construcción y otras actividades de uso de la tierra (Bortman & Odle, 2013).

Los sistemas de fuentes puntuales se caracterizan por vertidos de contaminación muy localizadas. Las distribuciones de la contaminación en los sitios asociados con las emisiones

puntuales siguen un patrón general, por lo general, está muy cerca de la ubicación de la liberación de contaminantes. La zona de origen en general abarca un área relativamente pequeña y contiene la mayoría de la masa contaminante (Pepper et al., 2006).

Las fuentes puntuales se pueden provenir de fábricas, vertidos de aguas residuales municipales, sin un tratamiento adecuado de los residuos estaban causando eutrofización; y tanto las fuentes no puntuales como la escorrentía de la agricultura generan entradas de fósforo, nitrógeno y otros agroquímicos en los principales cuerpos de agua (IANAS, 2019).

3.5. SANEAMIENTO AMBIENTAL

Es el conjunto de acciones técnicas, disposiciones legales y medidas estratégicas planificadas, tendientes a la prevención y mejoramiento de la calidad del medio ambiente humano. Dentro de las acciones técnicas se tiene, el tratamiento de aguas residuales, la utilización de rellenos sanitarios para confinar y eliminar los residuos sólidos y la utilización de filtros en chimeneas para mitigar la contaminación del aire. Disposiciones legales como convenios internacionales ratificados por nuestra Asamblea Legislativa o las leyes y reglamentos que de alguna manera ayudan a prevenir o mitigar la contaminación como la ley orgánica del ambiente y la ley forestal. Además, de medidas estratégicas planificadas como los planes de manejo de áreas boscosas, plan regulador urbano, etc. (Campos, 2003).

3.6. AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales se consideran como una combinación de uno o más de efluentes domésticos, que consisten en aguas negras (excremento, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas servidas de lavado y baño), agua de establecimientos comerciales e instituciones, incluidos hospitales; efluentes industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas, y

escorrentías agrícola, hortícola y acuícola (Raschid-Sally y Jayakody, 2008) citado por (UNESCO, 2017).

Estas aguas se producen por fuentes antropogénicas con contaminantes generados por las descargas de aguas residuales industriales, las actividades agrícolas, las operaciones mineras, los derrames accidentales y los vertederos ilegales, así como los productos químicos de los sistemas de tratamiento y distribución de agua (IANAS, 2019).

Las aguas residuales domésticas e industriales son las principales fuentes de contaminantes emergentes, como lo son los disruptores endocrinos, los productos farmacéuticos y los productos para el cuidado personal, que se encuentran en partes por trillón (ppt) a partes por billón (ppb) en las aguas superficiales. Incluso en estos niveles de concentración diminutos, se ha demostrado que los contaminantes emergentes tienen efectos adversos en la vida acuática y la salud humana (IANAS, 2019).

Cuando las aguas residuales no tratadas se acumulan y se deja que se vuelvan sépticas, la descomposición de la materia orgánica que contiene dará lugar a condiciones molestas, incluida la producción de gases malolientes. Estas se caracterizan por contener numerosos microorganismos patógenos y alto contenido de materia fecal que pueden desencadenar daños agudos en la salud de la población y químicos tóxicos, como desechos de procesos industriales que también pueden producir enfermedades que se manifiestan a largo plazo (IANAS, 2019).

3.7. CALIDAD DEL AGUA

Término empleado para describir las características físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico, dependiendo generalmente del uso al que se destina. Se basa en la utilización

conjunta de parámetros de tipo físico-químicos y biológicos, con base en los cuales se evalúan los diferentes fenómenos o alteraciones que puede presentar un cuerpo de agua, de origen natural como las condiciones climáticas, geológicas y geoquímicas predominantes en la cuenca o factores antrópicos como los asentamientos poblaciones y las actividades industriales, agrícolas y pecuarias (Mesa, 2014).

3.8. GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO (GIRH)

GWP define a la GIRH como un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales. A nivel de cuencas hidrográficas o lacustres y de acuíferos, GIRH puede definirse como un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socio-económico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (GWP & INBO, 2009).

La GIRH está basada en la idea de que los recursos hídricos son un componente integral de los ecosistemas, un recurso natural y un bien social y económico, ya que tiene un valor económico en todos sus usos (los cuales compiten entre sí). Implica, asimismo, reformar los sistemas humanos para hacer posible que las personas obtengan beneficios sostenibles e igualitarios de estos recursos (GWP, 2011).

3.9. SANEAMIENTO AMBIENTAL CENTRADO EN EL HOGAR

Este modelo coloca al grupo involucrado en el núcleo del proceso de planificación. Se basa en los principios de que los grupos involucrados son miembros de una zona que se extienden desde los hogares hasta el país. Las decisiones se toman a través de consultas con todos los

involucrados y afectados por la decisión, conforme a los métodos escogidos por la zona en cuestión (Morel, Schertenleib & Zurbruegg, 2003).

Los problemas han de resolverse de la forma más cercana posible a su origen. Solo si la zona afectada no es capaz de resolver el problema, podrá exportarlo, a la zona del próximo nivel. Las decisiones y la responsabilidad de implementarlos, pasan del hogar a la comunidad, a la ciudad, y finalmente al gobierno central. Además, establece un sistema circular de gestión de recursos, es decir, promueve la minimización del traspaso de los desechos más allá de los límites de cada círculo mediante la reducción de los aportes de desechos generados e incrementando las actividades de reciclaje/reutilización en cada círculo. Enfatiza la conservación de recursos como agua, bienes de consumo utilizados por los hogares, el comercio, la industria y aguas pluviales (Morel, et al. 2003).

3.10. PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN AGUA URBANA

Consiste en la interacción entre los procesos hidrológicos, químicos y biológicos, dentro de los ecosistemas acuíferos para el diseño e implementación de soluciones ecohidrológicas para el uso, la extracción y el tratamiento del agua. Enfoque en el que los productos, procesos y las actividades se llevan a cabo de tal manera que el impacto ambiental de los mismos sea lo más bajo posible (Bernal, 2010).

Las estrategias de producción limpia, implican un mejoramiento continuo de la gestión ambiental, complementadas con prácticas y actitudes por parte de las empresas y las entidades oficiales, por medio del uso de indicadores, auditorías ambientales, reconsideración de la elección de materias primas, mejoramiento de la eficiencia de los procesos, reciclaje y el aprovechamiento adecuado del agua (Bernal, 2010).

Además, estas estrategias son muy valiosas como instrumentos de política ambiental destinados a ser utilizados de manera permanente y sistemática a nivel público y privado. Con su uso, los procesos y procedimientos a nivel industrial son cada vez más limpios, ahorran y minimizan recursos naturales, desperdicios y energía al tiempo que disminuyen de manera dramática los índices de contaminación (Bernal, 2010).

3.11. ENFOQUE DE LOS TRES PASOS

El suministro de agua y la gestión de las aguas residuales deben de estar estrechamente interconectados para que los niveles de extracción y descarga de agua en el ambiente sean mínimos. Por ende, la gestión del agua podría traducirse en prevenir o reducir la producción de aguas residuales, en tratamiento y recuperación de componentes de residuos y en la eliminación segura de cualquier componente de desecho no reciclado o reutilizado (Nhapi & Gijzen, 2005).

3.12. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

Por medio de análisis físico-químicos y biológicos, se determinan una serie de parámetros que permiten identificar la calidad de las aguas superficiales. A continuación, se presentan estos de manera descriptiva, con su respectiva definición y aquellos aspectos de importancia con respecto a los cuerpos de agua superficial.

Cuadro 1. Parámetros de calidad de aguas superficiales

Parámetro	Definición	Importancia o impacto en cuerpos hídricos	Referencia
Oxígeno disuelto (OD).	Cantidad de moléculas de oxígeno que se encuentran disueltas en el agua. ⁽¹⁾	Las variaciones en este parámetro, pueden influir en la abundancia y los tipos de especies que viven en estos. Las bacterias y otros organismos descomponen los compuestos orgánicos biodegradables, lo que consume OD, del cual dependen muchas especies deseables de peces, otros organismos acuáticos, y la vida silvestre. ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Brooks et al., 2013).
Porcentaje de saturación de oxígeno (PSO).	Es el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas. ⁽¹⁾	La contaminación orgánica de las aguas se manifiesta como disminución en la concentración de OD. Las aguas residuales vertidas, consumen el oxígeno en su degradación que al llegar a altos contenidos vuelven el ambiente anóxico, generando la proliferación de bacterias anaeróbicas, turbidez y malos olores, impidiendo el desarrollo de la vida de las especies superiores. ⁽²⁾	⁽¹⁾ (Roldán & Ramírez, 2008). ⁽²⁾ (Gil, 2006).
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).	Es la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos heterótrofos, para transformar la materia orgánica metabolizable de la muestra a examinar. ⁽¹⁾	Es un parámetro de la calidad de aguas superficiales, cuanto más bajo es el valor de DBO, más saludable es el agua analizada. ⁽²⁾ Se considera que una concentración de DBO mayor a 10 mg/L es característica de aguas muy contaminadas y valores por debajo de los 3 mg/L se puede considerar como una contaminación débil. ⁽³⁾	⁽¹⁾ (Gil, 2006). ⁽²⁾ (Boardman, 2011). ⁽³⁾ (Rivera, Encina, Muñoz & Mejias, 2004).

<p>Demanda química de oxígeno (DQO).</p>	<p>Es una medida de la carga de contaminantes en términos de oxidación química completa utilizando agentes oxidantes fuertes. Implica el reflujo de una muestra en un ácido fuerte con un exceso de dicromato de potasio, y no específicamente mide el contenido orgánico e inorgánico en la muestra, sino la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación. Este enfoque, proporciona una medida directa del impacto potencial de consumo de oxígeno en el contenido de oxígeno del cuerpo de agua.⁽¹⁾</p>	<p>Se considera que siempre la DQO será mayor o igual a la DBO, y la diferencia aumenta con la presencia de sustancias tóxicas que hagan la muestra de agua biológicamente resistente a la degradación.⁽²⁾</p>	<p>⁽¹⁾ (Pepper et al., 2006). ⁽²⁾ (Sierra,2011).</p>
<p>Sólidos suspendidos totales (SST).</p>	<p>Se definen como todos los sólidos suspendidos en agua que no pasarán por un filtro de fibra de vidrio de 2,0µm, el filtro se seca en un horno entre 103 y 105 °C, y es pesado. El aumento en peso del filtro representa la cantidad de SST.⁽¹⁾</p>	<p>Niveles excedentes de SST puede provenir de cualquiera de los puntos (aguas residuales municipales) o fuentes no puntuales (agricultura y construcción), sus niveles crecientes dan como resultado un cuerpo de agua incapaz de soportar una diversidad de vida acuática. Estos absorben el calor y pueden aumentar la temperatura de un cuerpo de agua, pueden disminuir la cantidad de oxígeno disuelto, debido al consumo de materia orgánica al respirar las bacterias y un posible efecto indirecto al unirse los contaminantes al sedimento suspendido.⁽¹⁾</p>	<p>⁽¹⁾ (Pepper et al., 2006).</p>
<p>Sólidos disueltos (SD).</p>	<p>Son los sólidos que atraviesan un filtro con poro de 0,45 µm. Se componen de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con</p>	<p>La concentración de SD en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos</p>	<p>⁽¹⁾ (Jiménez, 2001).</p>

	diámetro de 10-3 a 1 μm . Los disueltos son moléculas e iones, que se encuentran diluidos en el agua. ⁽¹⁾	orgánicos que dan color, olor, sabor y, eventualmente, toxicidad al agua que los contiene. ⁽¹⁾	
Sólidos sedimentables (SS).	Los sólidos sedimentables son el grupo de sólidos cuyos tamaños de partícula corresponde a 10 μm o más y que pueden sedimentar. ⁽¹⁾	Muchos procesos arrojan en sus afluentes cantidades apreciables de estos materiales, influyendo en los cuerpos de aguas receptores y obstruyendo el paso de la luz solar que disminuye la actividad fotosintética de las plantas acuáticas. Además, la acumulación que provoca este parámetro en el agua dificulta la vida de algunos organismos, afectando sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos y obstruyen ríos. ⁽²⁾	⁽¹⁾ (España, Quintero, & Reyes, 2017). ⁽²⁾ (Solano, 2011)
Grasas y aceites (GyA).	Se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales que se refieren a su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar películas muy finas en la superficie del agua. Se consideran compuestos como hidrocarburos, esteres, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular y cualquier otro material que sea extraído por el solvente de una muestra acidificada y que no se volatilice durante las manipulaciones de la determinación. ⁽¹⁾	Las grasas llegan al agua por actividades antrópicas, su presencia y medición están relacionadas con el manejo de aguas residuales. La presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua, además, de que se adhieren a las branquias de los peces. ⁽¹⁾ En procesos aeróbicos, las GyA reducen la eficiencia de la transferencia de oxígeno y causan flotación de espuma en la superficie del agua, esto puede afectar las pérdidas de biomasa en el efluente, disminuye la eficiencia en los tratamientos. A temperaturas bajas las grasas pueden solidificarse y crear problemas en los sistemas como obstrucción y producción de olores. ⁽²⁾	⁽¹⁾ (Sierra, 2011). ⁽²⁾ (Jeganathan, 2006).

Potencial de hidrógeno (pH).	Se define como el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno. La concentración aumenta y la solución se vuelve más ácida a medida que el valor de pH disminuye por debajo de 7,0; la solución se vuelve más alcalino a medida que disminuye la concentración y el valor de pH aumenta por encima de 7,0. Los valores de pH del agua natural varían de aproximadamente 5,0 a 8,5. ⁽¹⁾	Cuando el pH del agua afecta y/o se ve afectado por reacciones químicas, los sistemas acuáticos responden según la tolerancia de ciertos organismos, este afecta la disponibilidad de ciertos químicos o nutrientes en el agua para su absorción por las plantas, directamente a los peces y otras formas de vida acuática. En general, los límites tóxicos son valores de pH inferiores a 4,8 y superiores a 9,2. ⁽²⁾	⁽¹⁾ (Nemerow et al., 2009). ⁽²⁾ (Brooks et al., 2013).
Temperatura (T).	Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua. ⁽¹⁾	Esta propiedad termodinámica influye notablemente en las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua. Afecta a la fauna y flora acuáticas, la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases. Al incrementarse la temperatura, la velocidad de biodegradación de los compuestos orgánicos, también se incrementa, pero la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye, lo que puede generar graves disminuciones en las concentraciones de oxígeno disuelto para los meses de verano. ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2002).
Índice de calidad de macroinvertebrados (BMWP-CR).	Los macroinvertebrados acuáticos son todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas. Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos principalmente. ⁽¹⁾	La composición de sus comunidades refleja la calidad de los ecosistemas acuáticos, estos indicadores reflejan las condiciones de su hábitat; son relativamente fáciles de identificar; representan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo y	⁽¹⁾ (Roldán, 2016).

		proporcionan información para integrar efectos acumulativos. ⁽¹⁾	
Coliformes fecales (CF).	Son bacilos cortos, no esporulados, gram negativo que fermentan a la lactosa con producción de gas y ácidos orgánicos. Estas se clasifican como el grupo de bacterias coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44,5 ° C y producir indol a partir del triptófano, donde la mayoría de organismos identificados son E. Coli. ⁽¹⁾	Estos llegan a los cuerpos de agua en las heces fecales que son transportados allí principalmente por las aguas residuales, sistemas sépticos que operan incorrectamente, procesos de escorrentía en terrenos de cultivo agrícola y en zonas de alimentación de animales, generando la contaminación del recurso. Son un indicador comúnmente empleado para identificar la presencia de microorganismos patógenos que pueden causar serios problemas de salud pública. ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Prieto, 2008).
Coliformes totales (CT).	Son bacilos cortos, no esporulados, aerobios y anaerobios facultativos, gram negativo que fermentan a la lactosa con producción de gas y ácidos orgánicos. ⁽¹⁾	Esta prueba es una herramienta valiosa para la evaluación de la calidad bacteriológica de aguas relativamente limpias, incluye especies fecales y ambientales, estas están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. ⁽²⁾	⁽¹⁾ (Asano, Burton, Leverenz, Tsuchihashi & Tchobanoglous, 2007). ⁽²⁾ (Prieto, 2008).
Nitratos (NO ₃ ⁻).	Son especies iónicas naturales que forman parte del ciclo de nitrógeno y su presencia está relacionada con la contaminación reciente con materiales de origen fecal. ⁽¹⁾	Su presencia se debe a la descomposición de materia orgánica y el uso de la mayoría de fertilizantes inorgánicos y orgánicos, sistemas sépticos y almacenamiento de estiércol, plaguicidas y herbicidas, los cuales pueden generar afectación en la salud pública. ⁽¹⁾	⁽¹⁾ (Tuesca, Ávila, Sisa, & Pardo, 2015).
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺).	Es uno de los componentes transitorios en el agua, al ser parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Se puede presentar en condiciones	Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal, provocan la disminución del nivel de oxígeno disuelto, el cual es consumido en los procesos de degradación	⁽¹⁾ (González, 2013). ⁽²⁾ (Rodríguez, 2011).

	normales al proveniente de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza. ⁽¹⁾	bacteriana de nitrógeno amoniacal. Provocando un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad del agua, muerte de especies que habitan en el sitio, entre otras consecuencias. ⁽²⁾	
--	--	--	--

3.13. PROBLEMÁTICA

3.13.1. NIVEL MUNDIAL

Desde la década de los 90, la contaminación de las aguas ha empeorado en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia. Entre las principales causas están el aumento de los vertidos de aguas residuales no tratadas en las corrientes de agua dulce (ríos y lagos) y las prácticas no sostenibles de uso del suelo que aumentan la erosión y conducen a un aumento de las cargas de abonos y sedimentos. Esta tendencia es impulsada por el crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento del número de estructuras industriales y agrícolas de pequeñas dimensiones que no siempre están bien gestionadas y generan aguas residuales no tratadas (UNESCO, 2016).

Ante esta situación se deben adoptar medidas para evitar que aumente la contaminación, restaurar los ecosistemas degradados y adoptar un enfoque integral de la gestión de aguas residuales. El seguimiento y evaluación de la calidad del agua, son esenciales para entender la intensidad y el alcance del desafío global de la calidad del agua y para implementar acciones correctivas adecuadas que sustenten la salud del ecosistema. A escala mundial, hay un impulso significativo para incorporar los flujos ambientales a la formulación de la

adopción de un enfoque basado en el ecosistema para manejar las cuencas, incluyendo la valoración económica de los servicios de los ecosistemas, es una manera de reconocer (y cuantificar) los beneficios de los servicios de los ecosistemas para los medios de sustento y el empleo (UNESCO, 2016).

En América Latina la población que no está conectada a la red de saneamiento depende principalmente de sistemas de eliminación in situ, como las letrinas y fosas sépticas. En estos sistemas, las aguas residuales se eliminan por escorrentía o percolación directa hacia los cursos de agua y acuíferos cercanos, lo cual generalmente contamina el agua. En términos generales, los sistemas de alcantarillado urbanos presentan un mayor desafío porque la recolección e interceptación por tuberías concentra los efluentes en una cantidad de sitios de eliminación limitada (UNESCO, 2017). Casi la totalidad de las aguas residuales urbanas, incluyendo todos los residuos industriales excepto los más tóxicos, eran evacuadas en las masas de agua más cercanas sin ningún tipo de tratamiento (UNESCO, 2017).

3.13.2. NIVEL NACIONAL

En Costa Rica, el recurso hídrico superficial durante muchos años ha sido afectado por el mal manejo de las cuencas hidrográficas, debido principalmente a prácticas antropogénicas inadecuadas que generan el ingreso de contaminantes a los cuerpos de agua, los ríos y quebradas que cubren el territorio nacional, han servido como medio de eliminación de aguas negras, domésticas, industriales, agropecuarias y residuos sólidos (Solano, 2011).

Para el año 2016, en el país, 70% de la población contaba con tanque séptico, 14,4% con alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales, 13,4% con alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento, 1,6% con letrina y apenas 0,5% sin sanitario (AyA, MINAE & MS, 2016).

Producto de la baja cobertura de alcantarillado sanitario y el deficiente o nulo tratamiento, las aguas residuales están siendo vertidas en ríos y mares del país, los recursos hídricos que atraviesan las distintas ciudades están siendo altamente amenazados, poniendo en riesgo la salud de aproximadamente un 60% de la población costarricense, sin mencionar el daño ambiental al que se exponen los recursos naturales (Herrera, 2017).

Según datos de la Dirección de Aguas del MINAE, existen aproximadamente 1749 puntos de vertido de aguas residuales distribuidos geográficamente en las cuencas hidrográficas de todo el país. Como parte de la operación ordinaria de las actividades que cuentan con un permiso de vertido, otorgado por la Dirección de Aguas, se generan en total de 125 957 Ton DQO/año y 131 384 Ton SST/año que se vierten a los ríos que integran las cuencas hidrográficas del país. Específicamente en la cuenca de Tortuguero, (sitio de desembocadura del río Guápiles) se tienen valores de 24 vertidos, con DQO de 54,45 Ton/año y SST de 13,48 Ton/año (Herrera, 2017).

La cuenca del río Guápiles, es uno de los principales ríos del cantón de Pococí, el recorrido de su cauce se extiende por las principales zonas comerciales y urbanas de la región, lo que lo convierte en uno de los ríos más propensos a presentar altos niveles de contaminación a lo largo de su recorrido. Las diversas actividades comerciales, agrícolas y ganaderas, pueden variar la calidad del río por las sustancias específicas en su vertimiento, el acarreo de esta problemática afecta las zonas bajas del río, el cual desemboca en los canales de Tortuguero, característica por ser una zona rica en biodiversidad, la cual se podría ver amenazada. Por lo tanto, es necesario el análisis del río y la obtención de una línea base de los niveles de contaminación, con el fin de colaborar con la recuperación de la cuenca.

3.14. ESTUDIOS RELACIONADOS

Con el fin de obtener un apoyo bibliográfico, sobre distintos proyectos relacionados al recurso hídrico y sus problemáticas, se realiza una recopilación de estudios, tanto a nivel país como fuera de este, los cuales permiten obtener distintas visiones sobre la forma de identificar las fuentes de contaminación existentes, los análisis para determinar los niveles de contaminación, su impacto, así como alternativas de gestión para la frecuente generación de residuos sólidos y aguas residuales que afectan directamente los cuerpos de agua, los cuales se mencionan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estudios relacionados

Nombre del proyecto	Lugar del estudio	Objetivo	Características del estudio
Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media-alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo.	Microcuenca del río Damas, Desamparados.	Conocer el impacto ambiental ocasionado por acciones antropogénicas, en el agua de la microcuenca del río Damas, el origen y composición de las aguas residuales y residuos sólidos depositados en la misma, de modo que se enriquezca la información existente en la zona y se ayude a incrementar las bases de datos necesarias para la realización de planes de acción específicos a futuro, que ayuden a mejorar la calidad del agua del cauce del río Damas (Solano, 2011).	Esta investigación buscó recopilar información suficiente que explique el origen de la contaminación del agua del cauce del río Damas, demostrar su impacto ambiental y social en la calidad de vida dentro de la microcuenca y plantear algunas posibles soluciones que ayuden a reducir el impacto que las actividades humanas tienen sobre el río, a mediano y largo plazo. Se realizan pruebas químicas a diversas muestras de agua. (DQO, DBO, SST, SSed, amonio, nitrito, Mn, Ni, Cd, Fe, Cu, Zn, cloruro, nitrato, sulfato, conductividad y turbiedad), además de la identificación de los focos importantes de contaminación por aguas residuales (Solano, 2011).
Estudio del estado actual para el desarrollo de un Plan de Saneamiento Ambiental para la comunidad urbana del cantón de La Unión, Cartago.	Comunidad urbana del cantón de La Unión, Cartago, Costa Rica.	Realizar estudio de prefactibilidad con indicadores adecuados al plan de saneamiento ambiental de las aguas residuales para el cantón de La Unión, Cartago (Rodríguez, 2016).	En este estudio se presentan los resultados de algunos indicadores de saneamiento del cantón: estado de las PTAR y de la red hidrológica, además de datos de la infraestructura de los hogares del cantón (separación de aguas residuales y pluviales, instalaciones para la gestión de aguas residuales, ubicación y nivel de las salidas de aguas residuales con respecto a la calle), se monitorearon los parámetros

			universales de análisis obligatorio para plantas de tratamiento de aguas residuales y se realizó el monitoreo de los ríos del cantón mediante parámetros de interés para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales y de análisis obligatorio de vertido (Rodríguez, 2016).
Caracterización de fuentes de contaminación y estrategia de manejo ambiental de la microcuenca del río Jaboncillal, San José, Costa Rica.	La microcuenca del río Jaboncillal, se ubica en la provincia de San José en el cantón de Goicoechea.	Evaluar las fuentes de contaminación puntual y difusa y proponer una estrategia de manejo sostenible para la microcuenca del río Jaboncillo (Brenes, 2015).	Se realizó un mapa de uso del suelo y la caracterización de las fuentes de contaminación puntual y difusa, mediante análisis físico-químicos como DBO ₅ , DQO y SST (Brenes, 2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El proyecto se realizó en el distrito Guápiles, perteneciente al cantón de Pococí, ubicado al norte de la provincia de Limón, sector noreste de Costa Rica, cuyas coordenadas geográficas son 10°12'56''N, 83°47'32''O, limita al Norte con el distrito Roxana, y el distrito La Rita, al Sur con el cantón Oreamuno y el cantón Turrialba, al Este con el distrito Jiménez y al oeste con el cantón Heredia, cantón Sarapiquí, cantón Vázquez de Coronado, la ubicación se presenta en la Figura 1. En términos generales, se caracteriza por tener una extensión aproximada de 222,62 km², tiene una altura media de 262 msnm (INDER, 2014). Alberga una población cerca de los 36 469 habitantes siendo este el distrito con mayor población del cantón (INEC, 2011). Posee precipitaciones medias de 3500 a 5000 mm al año y una temperatura promedio anual de 17-23°C (INDER, 2014).

Guápiles es el distrito primero de Pococí, cabecera del cantón y se compone por quince barrios: Ángeles, Calle Vargas, Cacique, Cecilia, Coopevigua, Diamantes, Emilia, Floresta, Garabito, Jesús, Palma Dorada, Palmera, San Miguel, Sauces, Toro Amarillo y ocho poblados: Blanco, Calle Ángeles, Calle Gobierno, Corinto, Flores, La Guaria, Marina, Rancho Redondo (Piedra, 2017).

Destaca como los distritos con mayor influencia urbana, esto debido a las dinámicas multidimensionales que allí se realiza como actividades comerciales, servicios, agroindustria, palmito, ganadería, ornamentales, turismo, así como de infraestructura importante, sobre todo tomando en cuenta su posición geográfica y cercanía con respecto al puerto de Limón,

uno de los más importantes para el intercambio comercial de Costa Rica, y del cual Guápiles forma parte de la ruta de acceso (Ruta 32) (INDER, 2014).

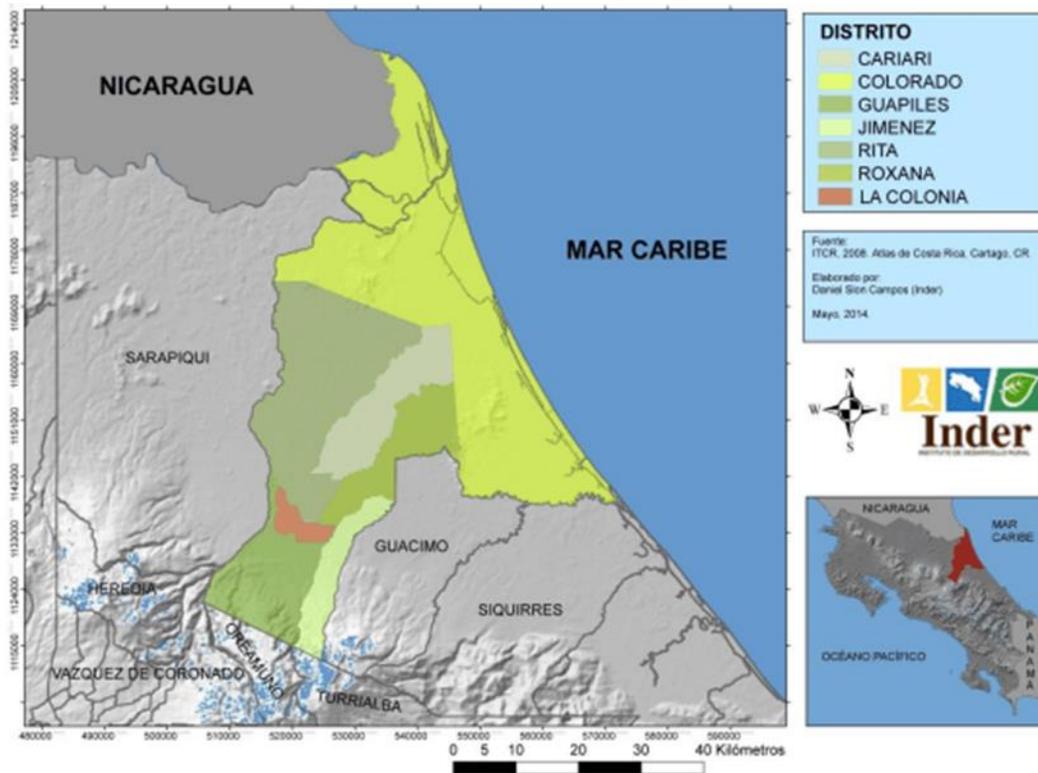


Figura 1. Ubicación del territorio Pococí y sus respectivos distritos

Fuente: Inder

4.2. ALCANCE DE ESTUDIO

El proyecto se ubica en el distrito de Guápiles perteneciente al cantón de Pococí, de la provincia de Limón. Este abarca de manera parcial ciertos barrios de la comunidad como lo son: Santa Cecilia, Los Ángeles, Sinaí, Coopevigua Uno, Coopevigua Dos, Coopevigua Tres, Centro, Zurquí, Maderos, Palmas, Pinares y Belén. A pesar que el nacimiento del río Guápiles y de la Quebrada Numancia está ubicado al sur de la ruta 32, se inició el proyecto al lado norte de la misma, dado que el nacimiento se ubica a pocos kilómetros de esta y se caracteriza por ser una zona con poca intervención humana, pocos asentamientos y lugares comerciales

o industriales. El proyecto se extiende hasta parte de las comunidades Maderos, Coopevigua tres y Palmas, dado que hasta este punto se ubica la zona de mayor densidad poblacional del distrito y de mayor interés para la Municipalidad de Pococí.

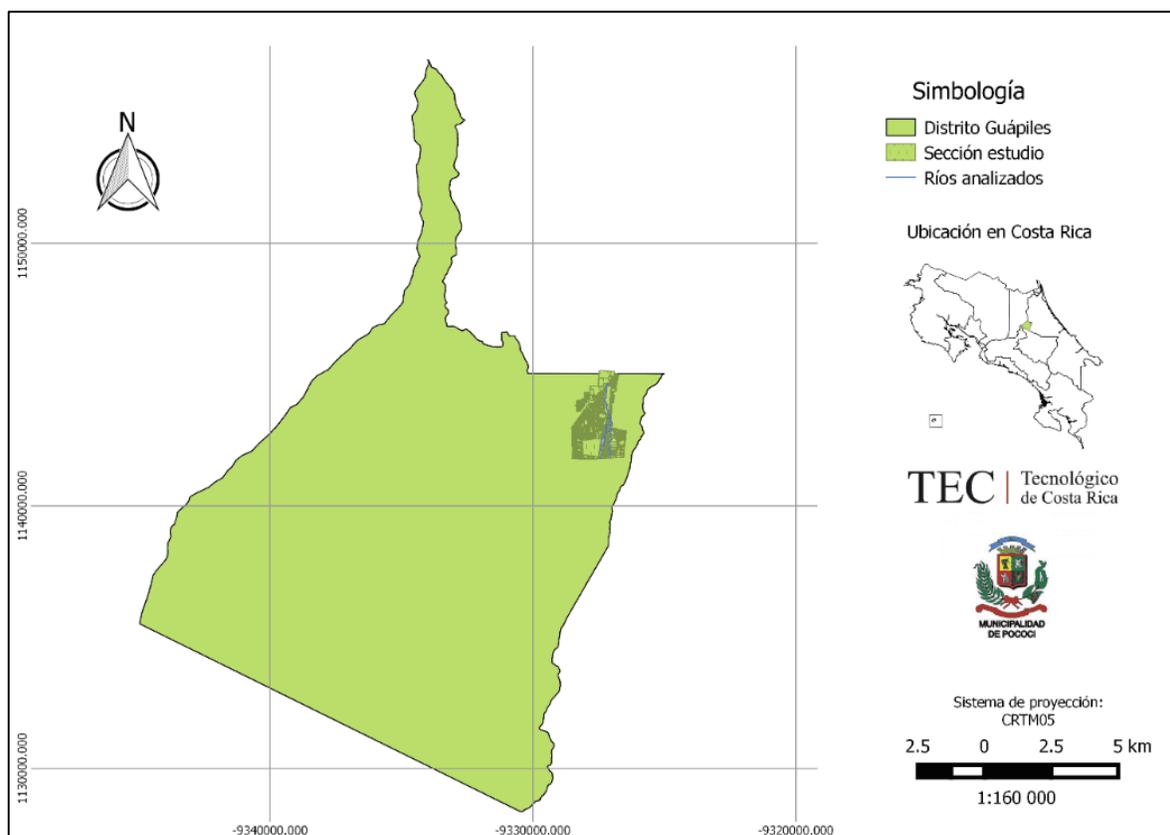


Figura 2. Ubicación del proyecto distrito Guápiles

4.3. ENCUESTAS REALIZADAS AL SECTOR COMERCIAL Y RESIDENCIAL

Se levantó una encuesta para conocer la opinión de distintas personas en hogares y comercios ubicados en las comunidades del distrito Guápiles, las cuales se encontraban en las laderas o tenían cierta interacción con las aguas superficiales en estudio como lo es el río Guápiles, la quebrada Numancia y otros cuerpos de agua adyacentes. Dicha encuesta pretende recopilar información sobre el manejo de las aguas grises y residuales (aguas negras), el

mantenimiento de los sistemas de tratamiento, el manejo de los residuos sólidos y consideraciones de salud pública (Apéndice 1).

4.3.1. SELECCIÓN DE LA POBLACIÓN A ENCUESTAR

De la población a encuestar se excluyeron aquellas comunidades que se encuentran alejadas del río Guápiles y la quebrada Numancia, así como aquellas que el sistema de alcantarillado pluvial no se integra a los cuerpos de agua en estudio. Entre las zonas estudiadas se consideran las comunidades de: Santa Cecilia, Los Ángeles, Sinaí, Coopevigua Uno, Coopevigua Dos, Coopevigua Tres, Centro, Zurquí, Maderos, Almendros, Urba, Palmas, Laureles, Pinares, Palma Dorada, Llama del bosque y Belén.

La selección de la población a estudiar se distribuyó en 14 secciones, donde se realizó una sectorización similar entre las comunidades, tanto por su posición geográfica como por su distribución con respecto al alcantarillado pluvial o cuerpos de agua cercanos. Se realizó una serie de preguntas referente a la calidad del río Guápiles y quebrada Numancia a las viviendas con una interacción directa a estos cuerpos de agua (Cuadro 3), excluyendo de esta sección del cuestionario a las que presentan una mayor distancia y solo tienen vinculación con el alcantarillado pluvial (Cuadro 4).

Cuadro 3. Distribución de secciones y comunidades cercanas a los cuerpos de agua superficiales en estudio

Sección	Comunidades
Zona Alta	Centro, Pinares
Zona Media	Centro, Belén
Zona Baja	Maderos, Coopevigua dos, Coopevigua tres
7	Las Palmas

Cuadro 4. Distribución de secciones y sus comunidades respectivas

Número de Sección	Comunidades
1	Santa Cecilia, Centro, Llama del bosque, Los Almendros
2	Los Ángeles, La Urba, Sinaí
3	Centro, San Francisco
4	Coopevigua uno
5	Residencial Sarquis, Palma Dorada
6	Zurquí, Los Laureles
8	Maderos
9	Pinares
10	Coopevigua dos, Coopevigua tres
11	Belén

4.3.2. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

La unidad de topografía, catastro y gestión ambiental de la Municipalidad de Pococí, proporcionaron información hidrológica y el mosaico catastral, por medio de estos e imágenes satélites de Google Earth, se contabilizaron los sitios a ser encuestados, donde se contemplan tanto hogares como comercios en las distintas secciones establecidas, encontrando un total de 3899 unidades como población de estudio. Cada sección y el número de unidades de viviendas contabilizadas se presentan en el Cuadro 5.

Para obtener el tamaño de la muestra se utilizó la ecuación (1) (Sarmah & Bora, 2012):

$$n_0 = \frac{z^2 * p * q}{e^2} \quad (1)$$

Donde:

n_0 = tamaño de la muestra

z = desviación del valor medio aceptado según el nivel de confianza deseado
= 1,96 para un 95% de confianza

p = proporción de la población con la característica deseada presente en la población = 0,5

$q = \text{proporción de la población sin la característica deseada } (1 - p) = 0,5$

$e = \text{precisión o error emitido} = 5\%$

Donde se obtiene:

$$n_0 = \frac{(1,96)^2 * (0,5) * (0,5)}{(0,05)^2} = 384 \text{ unidades}$$

Esta fórmula requiere de una corrección para poblaciones pequeñas y obtener así mayor precisión en los resultados. Lo que se obtiene mediante la siguiente formula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}} \quad (2)$$

Donde:

$n = \text{tamaño de la muestra corregido}$

$N = \text{Total de sitios}$

Donde se obtiene:

$$n = \frac{384}{1 + \frac{(384 - 1)}{3899}} = 350 \text{ unidades corregido}$$

A partir de las ecuaciones (1) y (2), en el Cuadro 6, se presenta el número de encuestas a aplicar por sector. La sectorización, se realizó con el fin de obtener un mayor detalle del estudio de la población. Se contempló el porcentaje que representa cada sección de muestra con respecto a la población total a estudiar. Los cuales se presentan en el Cuadro 6 y su ubicación espacial en la Figura 3.

Cuadro 5. Cantidad de encuestas a realizar por cada sección

Secciones	Número de unidades de la zona (N_x)	Relación porcentual (%) (N_x÷3899)*100	Número de encuestas por aplicar (n_x) (%*350)
Zona Alta	226	5,80	20
Zona Media	185	4,74	17
Zona Baja	245	6,28	22
1	411	10,54	37
2	648	16,62	58
3	225	5,77	20
4	306	7,85	27
5	322	8,26	29
6	216	5,54	19
7	138	3,54	12
8	225	5,77	20
9	322	8,26	29
10	298	7,64	27
11	132	3,39	12

Cuadro 6. Secciones y porcentajes del territorio a encuestar

Secciones	Porcentaje del territorio (%)
Zona Alta	5,80
Zona Media	4,74
Zona Baja	6,28
1	10,54
2	16,62
3	5,77
4	7,85
5	8,26
6	5,54
7	3,54
8	5,77
9	8,26
10	7,64
11	3,39

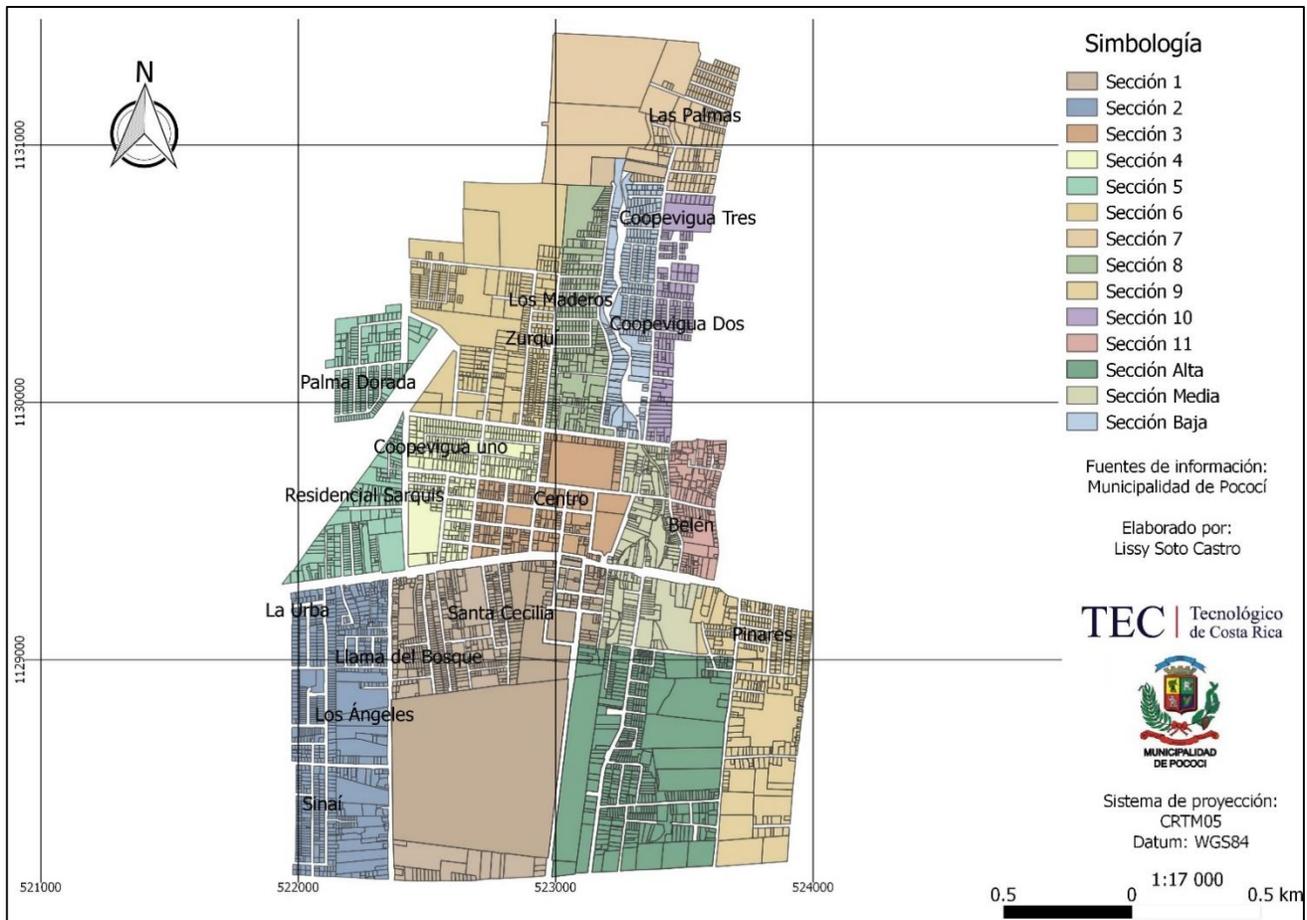


Figura 3. Secciones de estudio

La sectorización se desarrolló bajo la metodología de muestreo estratificado, la cual asegura la existencia de sujetos provenientes de cada uno de los sectores distinguidos en la población. Una vez identificados los estratos, dentro de cada uno se selecciona una cantidad de sujetos utilizando un procedimiento al azar (muestreo aleatorio o sistemático), donde se distribuyen las localidades a encuestar por cada lado de la cuadra, de manera que no se repitan los sitios a encuestar y se obtenga una mejor distribución de los mismos (Grasso, 2006).

Además, se decidió utilizar la metodología de encuesta personal, dado que según Grasso (2006), presenta una mayor tasa de respuesta, el contacto humano directo permite entrevistas más extensas, permite construir un sentido de confianza y alienta a obtener información

honestas, proporciona oportunidades de observación con un entrevistador y permite mayor explicación en el caso de existir preguntas ambiguas.

La encuesta contempla preguntas bajo la metodología de rating, el cual consiste en preguntas cerradas que permite expresar la respuesta en una escala de varias posiciones marcando una como la más coincidente. Se presentan opciones de cuatro posiciones referentes a la frecuencia de los sucesos (Grasso, 2006).

4.3.3. APLICACIÓN DE LAS ENCUESTAS

Se coordinó con la Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Pococí y con la Universidad de Costa Rica, para la aplicación de las encuestas, donde se obtuvo la participación de 8 voluntarios. A los mismos se les brindó una capacitación previa a la aplicación, con el fin de dar a comprender la temática a desarrollar, el lenguaje a utilizar y las rutas de encuestas establecidas por cada sector.

4.3.4. RUTAS DE LAS ENCUESTAS

Con el fin de lograr una adecuada distribución de los sitios a encuestar se realiza una ruta por cada sección, en esta se considera realizar encuestas por lados de cuerdas, de manera que se logre una mejor distribución de la muestra y se abarque la totalidad del territorio. Además, de servir como complemento para la ubicación, guía y entendimiento del proyecto a los encuestadores voluntarios (Apéndice 2).

4.3.5. COMPOSICIÓN DE LA ENCUESTA

La encuesta abarca varias temáticas, entre estas se encuentran:

- Datos generales del encuestado y el tipo de actividad que se desarrolla en esa localidad (doméstico, comercial, industrial, etc.)

- Manejo de aguas residuales, con el fin de identificar posibles vertimientos inadecuados de aguas grises y residuales, que puedan integrarse directa o indirectamente a los cuerpos de agua en estudio.
- La temática anterior incluye puntos sobre un posible alcantarillado sanitario, con el fin de evaluar su aceptación como estrategia de mejoramiento de manejo de aguas residuales.
- Se contempla una sección sobre salud pública, para identificar alguna relación con el inadecuado manejo de las aguas residuales y su afectación directa con la población.
- Se agrega una sección referente a la identificación de características inusuales en los cuerpos de agua, para aquellas personas que vivan a las laderas de los mismos, con el fin de identificar sectores de mayor contaminación.
- Mediante un primer reconocimiento del río Guápiles, se identificó una gran cantidad de residuos sólidos en su cauce y laderas, por lo que se desea conocer el manejo que se les da a los residuos.

4.3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENCUESTA

Se desarrolló una base de datos con la totalidad de las encuestas efectuadas, donde mediante el programa Microsoft Excel, se generaron gráficos de barras en los que se visualizan los porcentajes de cada sección para cada una de las preguntas realizadas. Estos se desarrollaron para la totalidad de las encuestas, así como por cada sección. Además, mediante el programa QGIS y los datos proporcionados por la Municipalidad de Pococí sobre el mosaico catastral, se generó para cada pregunta seleccionada, un mapa que permite visualizar las respuestas afirmativas, negativas o mayoritarias en cada sección de estudio, representando cada polígono mediante una escala de colores para cada porcentaje establecido.

4.4. MONITOREO DE CUERPOS RECEPTORES DE AGUA SUPERFICIAL

4.4.1. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

Para determinar los puntos de muestreo, se realiza un recorrido de reconocimiento a lo largo del río Guápiles y quebrada Numancia. Se hace una identificación visual de las zonas con mayor impacto sobre el río, los cuales pueden ser puntos clave para la toma de muestras. Aunado a esto, mediante imágenes satelitales de Google Earth e información proporcionada por la Unidad de Topografía de la Municipalidad de Pococí, se contemplan otras quebradas y el alcantarillado pluvial que se une al cauce del río. Definiéndose así 6 puntos de muestreos determinado en posiciones y sus coordenadas geográficas presentadas en el Cuadro 7 y su ubicación espacial se presenta en la Figura 4.

Cuadro 7. Ubicación de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Cuerpo de agua	Coordenada geográfica	Distancia desde ruta 32
1	Quebrada Numancia-Zona alta	10°12'10"N 83°47'13"O	K0+012 m
2	Río Guápiles- Zona media	10°12'48"N 83°47'16"O	K1+387 m
3	Quebrada Numancia-Zona media	10°12'48"N 83°47'11"O	K1+293 m
4	Río Guápiles- Zona media	10°13'04"N 83°47'13"O	K1+827 m
5	Río Guápiles- Zona baja	10°13'30"N 83°47'16"O	K2+665 m
6	Río Guápiles- Zona baja	10°13'49"N 83°47'12"O	K3+317 m

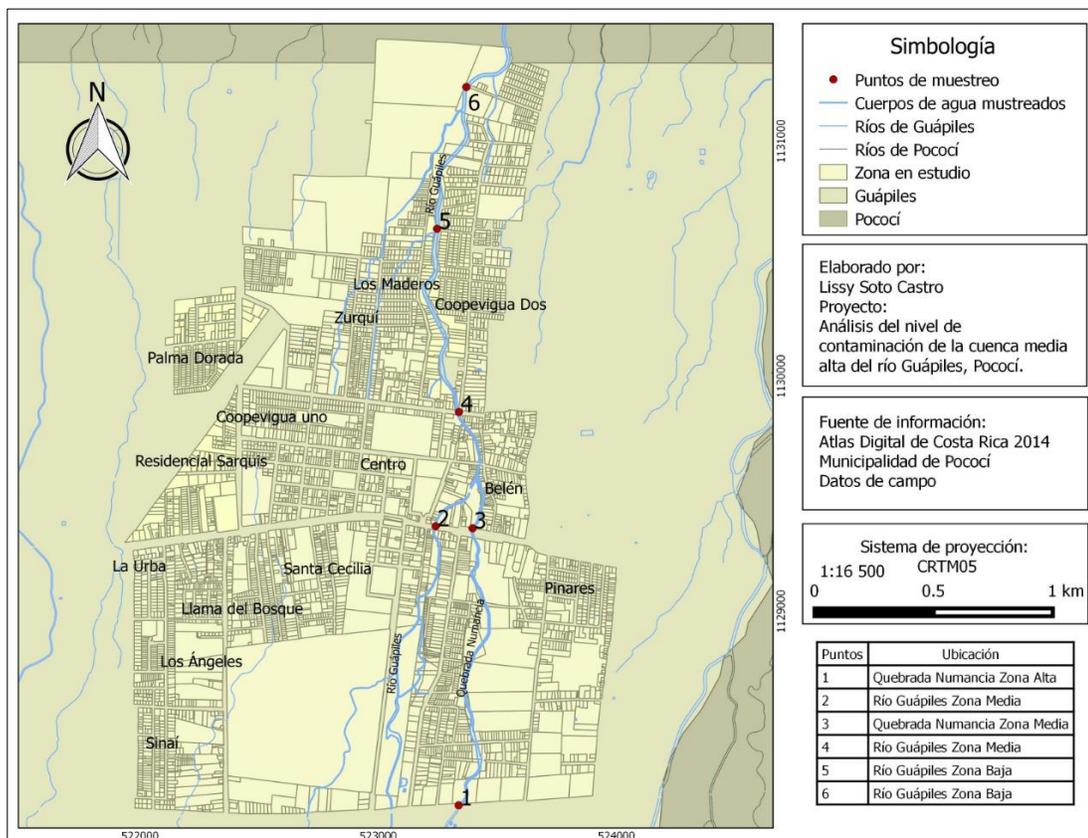


Figura 4. Localización de los puntos de muestreo

Se toma un punto inicial ubicado en la quebrada Numancia cercano a la ruta 32, dado que, la naciente se ubica a pocos kilómetros y no se ha evidenciado influencia antropogénica considerable. Los puntos 2, 3 y 4 se ubican en el sector central, característico de una mayor densidad comercial y poblacional, lo que genera, un mayor interés por parte de la municipalidad y de relevancia para el proyecto. De esta manera se pretende determinar en qué medida se ve afectada la calidad del río y los incumplimientos que se dan ante las regulaciones de manejo de agua establecidas.

Los puntos 5 y 6 se caracterizan por ser una zona con mayor densidad de viviendas, los cuales también son de interés por las posibles afectaciones que puedan generar al cuerpo de agua en estudio y su relación directa con la salud pública. Cercano a estos puntos, se anexan aguas

provenientes del alcantarillado pluvial de las comunidades que conforman el centro y la zona de mayor influencia poblacional, los cuales reflejan relevancia dado que pueden generar alteraciones por el acarreo de aguas contaminantes a pesar de no ser colindantes con los cuerpos de agua en estudio.

Para determinar la calidad de los cuerpos de agua, se realizan análisis físico-químicos para la clasificación inicial, complementarios y microbiológicos, basados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S) contemplados en el índice Holandés de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales. Por lo que se contemplan los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Disueltos (SD), Nitrato (NO_3^-), Nitrógeno Amoniacal (N-NH^{+4}), Grasas y Aceites (GyA), Potencial de hidrógeno (pH), Temperatura (T), Coliformes Fecales (CF), Coliformes Totales (CT), Macro invertebrados bentónicos (BMWP-CR).

Se realizaron dos periodos de muestreo con el fin de analizar la incidencia de las condiciones climáticas en la calidad del agua, se clasificaron en periodo I invierno (época lluviosa) y periodo II verano (época seca). Esta clasificación se hizo con base en los caudales registrados en las fechas en que se realizaron los muestreos de calidad, siendo estas el 12 de diciembre del 2018 y el 05 de febrero del 2019.

4.4.2. ANÁLISIS IN SITU

Para cada uno de los puntos de muestreo, el laboratorio Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), realiza mediciones para obtener los

parámetros de pH, temperatura y oxígeno disuelto, por medio de un pH metro y un medidor de oxígeno. La toma de muestra y los análisis realizados se realizaron mediante los métodos establecidos en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” cumpliendo con el decreto N° 25018-MEIC y el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S). Además, de manera independiente de estos, se realiza la cuantificación de caudal, por medio del método área-velocidad con flotador, este consiste en determinar el área mojada (transversal) de la sección y luego medir la velocidad del flujo (Anexo 5).

4.4.3. ANÁLISIS EX SITU

La Municipalidad de Pococí financió una parte de los análisis realizados en el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), los que involucraron la toma de muestra en cada uno de los puntos de muestreo establecidos, bajo las condiciones de preservación adecuadas para mantener las muestras en las condiciones óptimas y ser transportadas al laboratorio, donde se efectuaron los análisis correspondientes a los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos, Grasas y Aceites, Nitratos, Oxígeno Disuelto, Nitrógeno Amoniacal, Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Macro invertebrados bentónicos. Para estos últimos, se contó con dos profesionales en biología para la toma de muestra y su posterior análisis, tal y como se establece en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S).

4.4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL RÍO

Se genera una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel, con las mediciones realizadas de ancho, largo, profundidades y tiempos recorridos por el flotador, con el fin de determinar el área transversal, la velocidad y con esto obtener el caudal para cada uno de los puntos de muestreo, mediante la ecuación (3) (Lozano, 2013):

$$Q = A * V_m \quad (3)$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A: Área transversal de la sección mojada (m²)

V_m: Velocidad media del flujo (m/s)

Se determina el Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO) por medio del Oxígeno Real In Situ y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio (Anexo 6).

Además, se realizó la comparación de los resultados obtenidos para cada parámetro según los límites establecidos en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S), donde se clasificó cada zona del punto de muestreo según la clase establecida, su uso y la escala de calidad del cuerpo de agua.

Se consideró una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis complementario, junto con sus valores, con el fin de conocer de manera más específica las alteraciones de la calidad de las aguas superficiales, los cuales se refieren en el Cuadro 8.

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

Parámetro Complementarios (Unidades)	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos (NO ₃ ⁻) (mg N/L)	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Sólidos Disueltos(mg/L)	<250	250 a <500	500 a 1000	>1000	>1000
Grasas y Aceites (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Biológicos					
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	<20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

ND: No detectable por método utilizado

(1): Natural o que no afecte el uso indicado

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE.

Se realizó una valoración con el Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua, con el fin de determinar los niveles de contaminación orgánica en tramos particulares del río y temporalmente dependientes. Tal clasificación se realizó mediante la sumatoria de puntos correspondientes a cada ámbito, los cuales se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH⁴⁺ (mg/L)*
1	91-100	<= 3	<0,50
2	71-90 111-120	3,1 – 6,0	0,50 – 1,0
3	51-70 121-130	6,1 – 9,0	1,1 – 2,0
4	31-50	9,1 – 15	2,1 – 5,0
5	<=30 y >130	>15	> 5,0

*Nitrógeno Amoniacal

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE.

Posteriormente, la sumatoria de puntos se traslada a un código de colores, el cual permite obtener una escala de estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado para la clasificación de la calidad del cuerpo hídrico, el cual se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Sumatoria de puntos	Interpretación de calidad	Código de color
1	3	Sin contaminación	Azul
2	4 - 6	Contaminación incipiente	Verde
3	7 – 9	Contaminación moderada	Amarillo
4	10 – 12	Contaminación severa	Anaranjado
5	13 - 15	Contaminación muy severa	Rojo

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE.

El índice BMWP-CR, es un índice que asigna puntuaciones a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados, según el grado de contaminación presente en el cuerpo hídrico. En función de este puntaje se establecen niveles desde calidad de aguas no contaminadas hasta aquellas muy contaminadas, esto se trasladadas a un color representativo, como se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total Obtenido

Nivel de calidad	BMWP'	Color Representativo
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101 – 120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada.	61 – 100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36 – 60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16 -35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	Rojo

Fuente: Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE.

Mediante el programa QGIS, la información proporcionada por la unidad de topografía, catastro y gestión ambiental de la Municipalidad de Pococí, y la base de datos generada en el programa Microsoft Excel con los resultados obtenidos de las encuestas realizadas, se realizan gráficos que permiten visualizar las respuestas afirmativas, negativas o mayoritarias para cada sector establecido.

4.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE VERTIMIENTO

Se coordina junto con la Municipalidad de Pococí, dos recorridos por el cauce del río Guápiles y de la quebrada Numancia, donde se identifican los vertimientos directos o algunas irregularidades de desvíos del cuerpo de agua, en el transcurso de los mismos, para este se

levantó una base de datos en Microsoft Excel donde se brinda una pequeña descripción de cada elemento encontrado y se evidencia con su respectiva fotografía. Además, se tomaron puntos con la aplicación GPS Tracker, de cada uno de las fuentes de vertimiento encontradas, los cuales se nombran ligados a la base de datos mencionada anteriormente, de manera que se pueda identificar a que fuente de contaminación pertenece, la distancia de cada punto a partir de la ruta 32 y su ubicación específica. Esto contribuyó a generar un mapa, mediante el programa QGIS, que permite visualizar de una mejor manera, la distribución de dichos puntos de interés y los sectores con mayor influencia.

Aunado a esto, se aforaron dos fuentes de agua que ingresan directamente al río, eligiéndose estas por mantener un flujo constante, lo cual se realizó mediante mediciones repetitivas de un volumen definido, el cual según Lozano (2013), debe ser un recipiente de fácil manejo y tener la capacidad de ser llenado por la muestra durante, al menos, 5 segundos sin rebosarse. Simultáneamente, por medio de un cronómetro se mide el tiempo transcurrido para su llenado, de esta manera se determinaron los caudales correspondientes, por medio de la ecuación (4) (Lozano, 2013):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Donde:

Q: caudal (L/s)

V: Volumen tomado (L)

t: Tiempo de llenado del recipiente (s)

4.6 PRIORIZACIÓN DE LAS SECCIONES DE ESTUDIO

4.6.1 PRIORIZACIÓN DE LAS ZONAS DE INTERVENCIÓN

La priorización de las zonas afectadas, se realiza mediante la interpretación de los análisis físico-químicos y biológicos, del análisis de las opiniones obtenidas mediante encuestas y los puntos de vertimiento identificados. Dando mayor énfasis a los valores de la prueba de coliformes fecales aunado a la cantidad de vertimientos identificados, siendo este un parámetro variable entre las zonas Alta, Media, Baja y 7, e indicador de una necesaria intervención en cuanto a tratamientos de aguas residuales y educación poblacional.

A partir de los puntos de vertimientos identificados, se determinó porcentualmente la cantidad de fuentes de contaminación con base a la totalidad de puntos obtenidos, representándose mediante un mapa, el porcentaje de vertimiento para la sección Alta, Media, Baja y 7. Con el fin de identificar aquellas zonas con mayor influencia antropogénica.

4.6.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se realizó un esquema con el fin de visualizar de una mejor manera, los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos obtenidos para ambos periodos de muestreo, las respuestas de las secciones más relevantes de la encuesta realizada, la cantidad de vertimientos en cada zona y cuerpo de agua, así como su prioridad de intervención. Aplicado a la sección Alta, Media, Baja y 7, para un mayor detalle se levantó el Cuadro 12.

Cuadro 12. Simbología para la recopilación de información

Símbolo	Descripción
pH*	Clase 1 o 2. Se decide representar con la clase de mayor calidad.
GyA*	Clase 1, 2, 3 o 4. No es detectable por el método utilizado, se decide representar con la clase de mayor calidad.

	Representación de época lluviosa (invierno).
	Representación de época seca (verano).
	Aplica en toda la sección, se utiliza para señalar las respuestas obtenidas en las encuestas.
	Indica el número del punto de muestreo (1,2, 3, 4,5 y 6).
	Indica el orden de prioridad de intervención en la sección de la cuenca.

4.7 ESTRATEGIAS DE GESTIÓN

Con base a los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos y biológicos, las fuentes de contaminación, los problemas identificados mediante las encuestas y el recorrido por los cuerpos de agua, se determinaron puntos clave a tratar, ante los cuales se plantean una serie de estrategias y acciones directamente relacionadas, basadas en la literatura, con el fin de mejorar el saneamiento y evitar la degradación de los cuerpos de agua.

Se aplicaron distintos enfoques, fundamentados en la literatura, como la gestión integral del recurso hídrico, el cual busca la ejecución de proyectos tomando en cuenta distintos ejes para la toma de decisiones como el social, económico, político, ambiental, demográfico y territorial. Considera un enfoque centrado en la vivienda, como eje inicial de acción ante las problemáticas continuando con una ampliación territorial. Además, involucra estrategias de producción más limpia al agua urbana, basándose en un uso mínimo de recursos y así disminuir su impacto ambiental. Implica tres pasos basados en la minimización y prevención, seguido del tratamiento para el reúso y la eliminación segura de cualquier componente de desecho no reciclado o reutilizado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 IDENTIFICACIÓN DE FOCOS DE CONTAMINACIÓN Y ASPECTOS

SOCIOCULTURALES DE LA POBLACIÓN EN ESTUDIO

Mediante la encuesta realizada se obtuvo información, sobre focos de contaminación y aspectos socioculturales que permiten identificar las zonas con mayor intervención antropogénica. Los resultados con la totalidad de la población encuestada se presentan en el Apéndice 3. Se realizó un análisis sobre las temáticas de mayor relevancia, como primera sección se establece la temática de aguas residuales descrita en el punto 5.1.1.

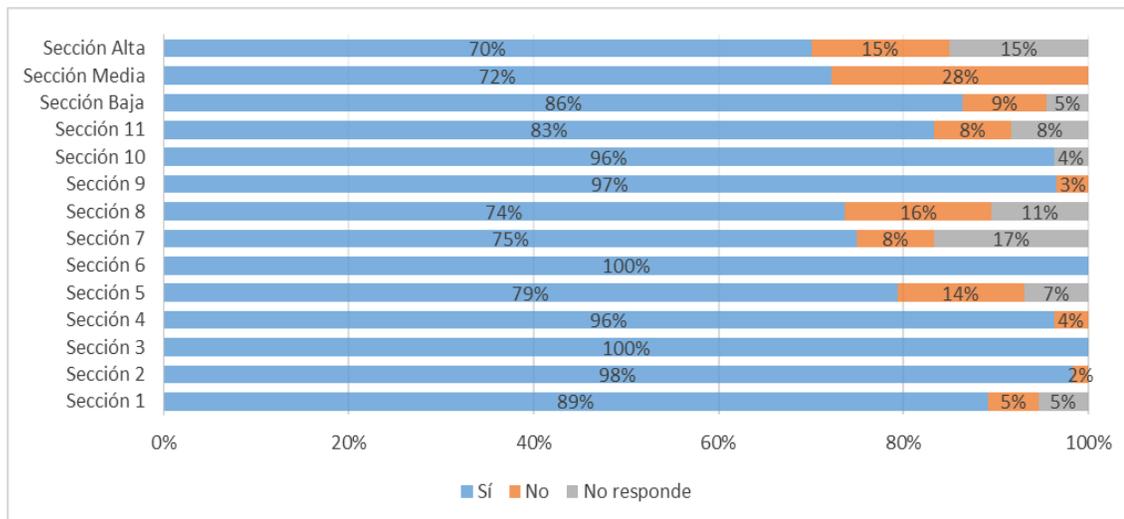
5.1.1 AGUAS RESIDUALES

Este apartado consta de seis preguntas, con sus respectivos gráficos donde se evidencia los porcentajes de respuestas para las catorce secciones consultadas, aunado, de una figura representativa de la distribución espacial. Primeramente, se consulta sobre la gestión de las aguas grises y residuales.

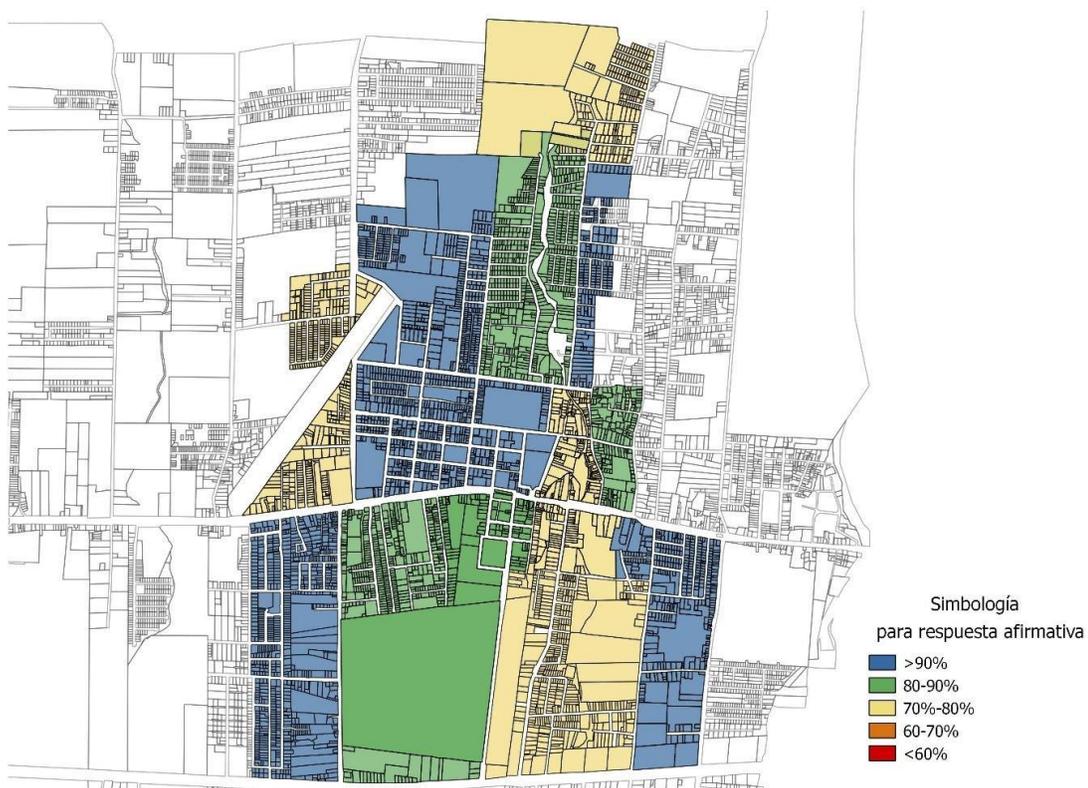
➤ Separación de las aguas grises (aguas jabonosas) y las aguas residuales (aguas negras)

Las aguas grises se encuentran separadas de las aguas residuales en la mayoría de los lugares encuestados 89%, representativo de 311 hogares y comercios. Sin embargo, como se puede observar en un rango del 2% al 28%, (Figura 5) correspondientes a cada uno de las secciones establecidas, no se realiza una separación de las aguas servidas. Por lo tanto, se pueden deducir dos escenarios, el primero, donde la totalidad de sus aguas son tratadas mediante un sistema de tratamiento común como lo es el tanque séptico y segundo donde las aguas usadas son vertidas directamente en alguna quebrada o río, impactando en la calidad de los cuerpos de agua. Es importante destacar, que un 28% de la Sección Media y un 15% de la Sección Alta, no tiene las aguas separadas, estas zonas podrían presentar un mayor grado de

afectación debido a la cercanía con los cuerpos de agua en estudio. La tendencia se presenta gráficamente por zonas en la Figura 5, según los porcentajes de afirmación en cada sección.



(a)



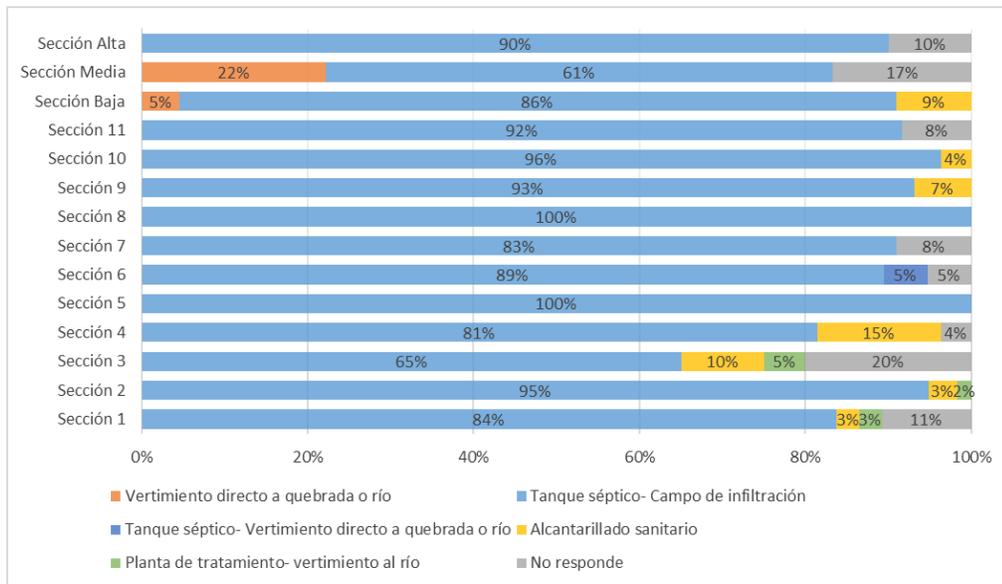
(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

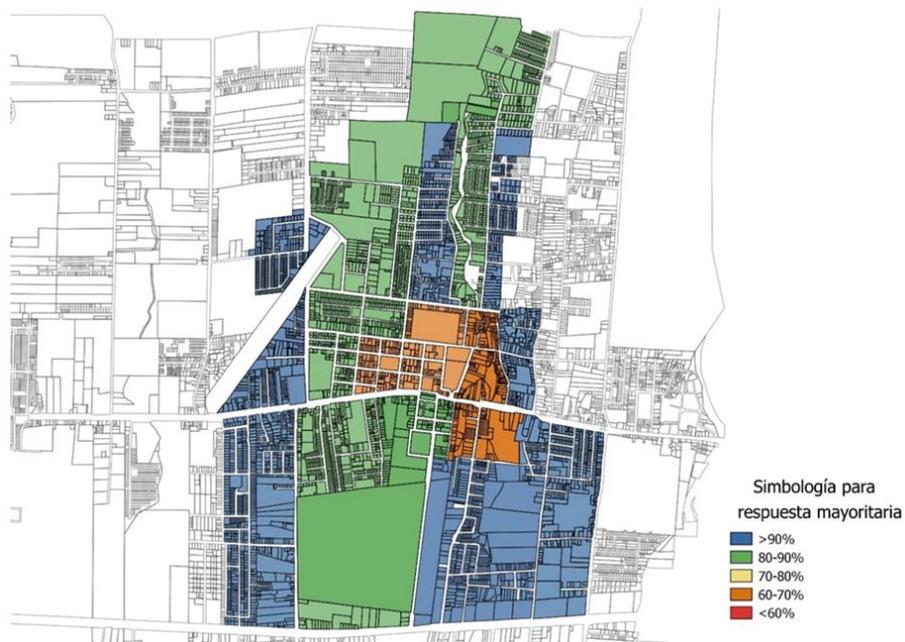
Figura 5. Separación de las aguas grises y aguas residuales

➤ Gestión de las aguas residuales (aguas negras)

Por medio de la Figura 6, se puede visualizar las zonas que presentan en mayor porcentaje un sistema de tanque séptico y posterior campo de infiltración en las distintas secciones de estudio, así como su distribución espacial.



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 6. Manejo de las aguas residuales

La mayoría de los lugares encuestados manejan sus aguas residuales por medio de un tanque séptico con posterior campo de infiltración 88% lo que equivale a 309 sitios encuestados con un rango de 61% al 100% de acuerdo a cada sección establecida (Figura 6), lo que ratifica la información proporcionada por el estado de la nación 2017, donde indica que, de 1 465 259 viviendas existentes en país, sólo un 22,10% de las mismas tienen conexión a alcantarillado mientras que el 75,77% están conectadas a tanque séptico (Herrera, 2017). Lo que es relevante, dado que, los tanques sépticos pueden ser una fuente de contaminación debido a la infiltración de patógenos y nitratos en los suelos o por medio de escorrentías a los cuerpos de agua (Hidalgo, 2012).

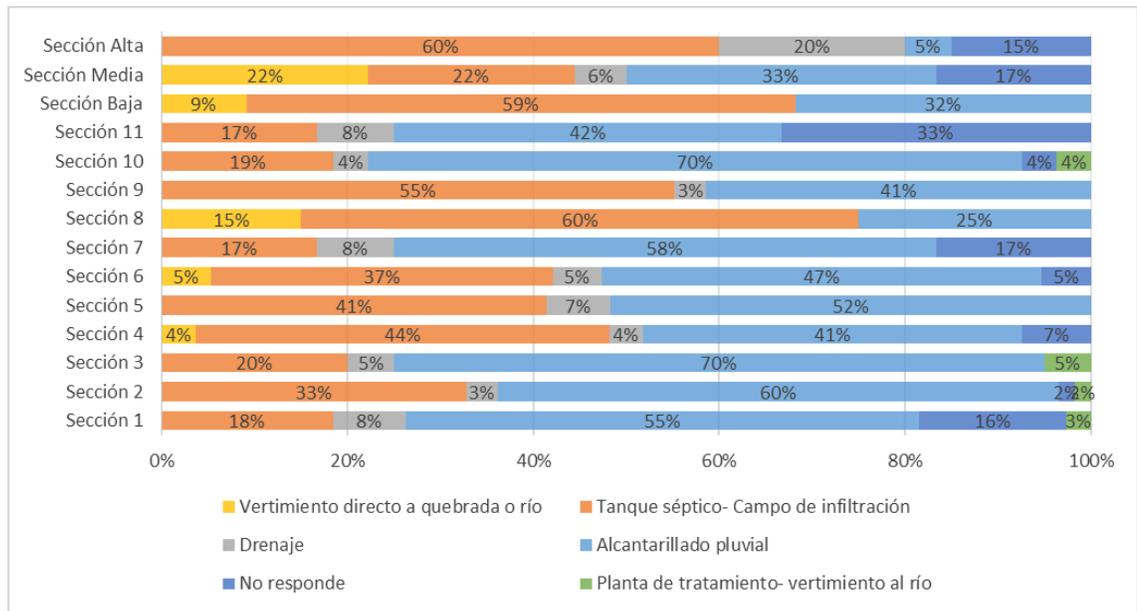
La Sección Media y la Sección Baja presenta un 22% y un 5%, respectivamente, de vertimiento directo a quebrada o río lo que es de interés dado que genera una mayor carga orgánica al cuerpo de agua, producción de malos olores y de manera general afectan la calidad de este. Además, al relacionarse este porcentaje de la Sección Media junto con la pregunta anterior, se podría considerar, que ocurren descargas de contaminantes tanto orgánicos como químicos en mayor proporción que en las otras zonas, por lo que se debe de considerar como zona de riesgo y de mayor existencia de fuentes contaminantes.

También se tienen porcentajes hasta un 15 % de las secciones donde se indica un manejo de alcantarillado sanitario, sin embargo, en Guápiles no se cuenta con ninguna planta de tratamiento comunitaria, las que se encuentran en la zona corresponden a lugares privados como centros comerciales y la de la Caja Costarricense del Seguro Social del Hospital de Guápiles. Por lo que se infiere, que las personas asocian el alcantarillado pluvial al sanitario y pueden estar vertiendo en este sus aguas residuales, lo que se puede considerar como otro motivo de afectación de las aguas en estudio.

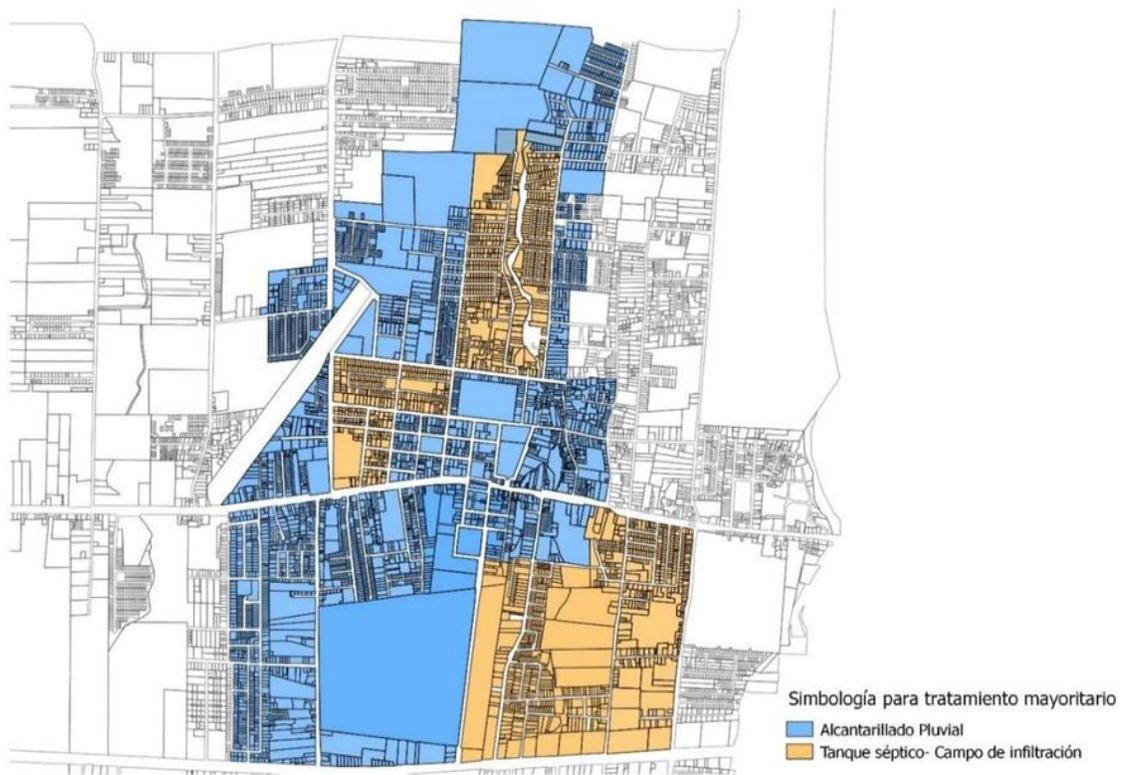
Un 5 % de la totalidad de las encuestas realizadas lo que corresponde a 17 lugares, no tienen conocimiento de cómo se manejen las aguas residuales, en su mayoría por ser sitios alquilados, lo que evidencia la falta de interés y responsabilidad ambiental, por parte del arrendatario sobre el destino y afectación que puedan generar sus aguas.

➤ Gestión de las aguas grises (aguas jabonosas)

En cuanto al manejo de las aguas grises (Figura 7), según la totalidad de las encuestas aplicadas, mayoritariamente se gestionan mediante el alcantarillado pluvial, por lo que estas aguas caen sin ningún tratamiento previo a este sistema, el cual posteriormente va a dar alguna quebrada o río, alterando así su calidad, como se presenta mayoritariamente en la Sección 3 y 10 con un 70% de afirmación cada una, donde ambas redes de alcantarillado vierten en el río Guápiles. Posteriormente, las respuestas indican que se utiliza el sistema de tanque séptico y un campo de infiltración, seguido de un sistema de drenaje dentro de los mismos terrenos. Un porcentaje correspondiente al 6 % de la población total, indican que no tienen conocimiento de cómo se manejan las aguas grises, por lo que nuevamente se muestra cierto nivel de desinterés por las aguas contaminantes generadas. Un 3% de la población total, lo que corresponde a 11 hogares o comercios encuestados, realizan un vertimiento directo a quebrada o río, siendo mayoritariamente en la Sección Media (22%), Sección 8 (15%) y Sección Baja (9%), zonas de riesgo por la cercanía a los cuerpos de agua en estudio.



(a)



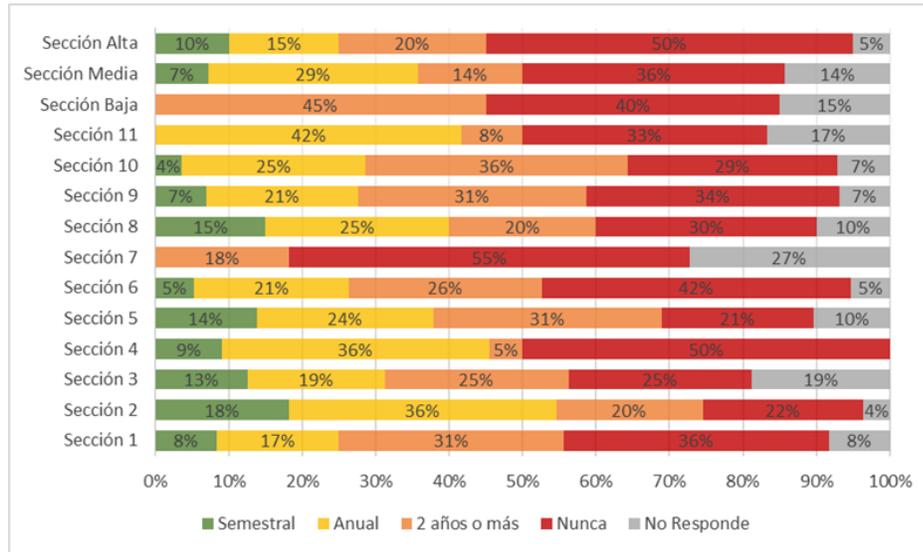
(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

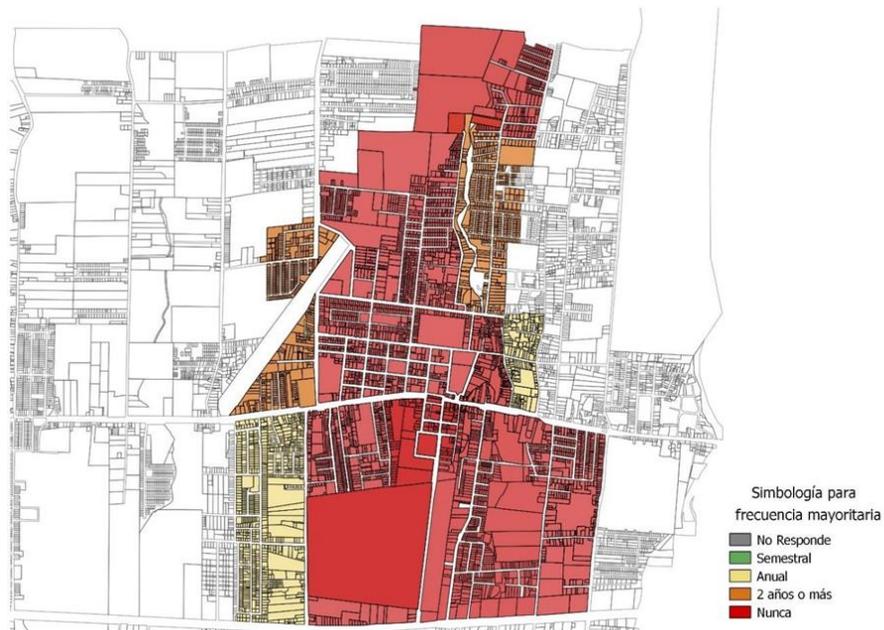
Figura 7. Manejo de aguas grises

➤ Frecuencia del mantenimiento del sistema de tratamiento

Esta sección analiza lo referente al mantenimiento de los sistemas individuales (tanque séptico) tomando en cuenta su frecuencia (Figura 8).



(a)



(b)

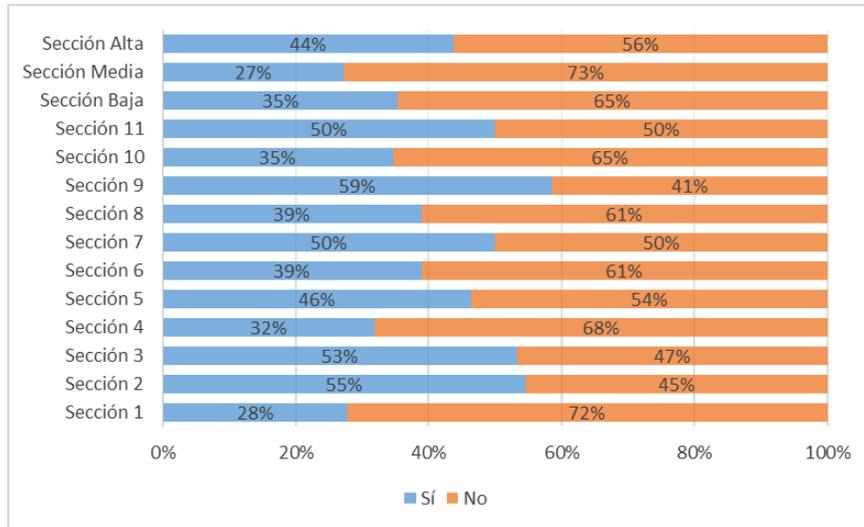
a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 8. Frecuencia de mantenimiento al sistema de tratamiento

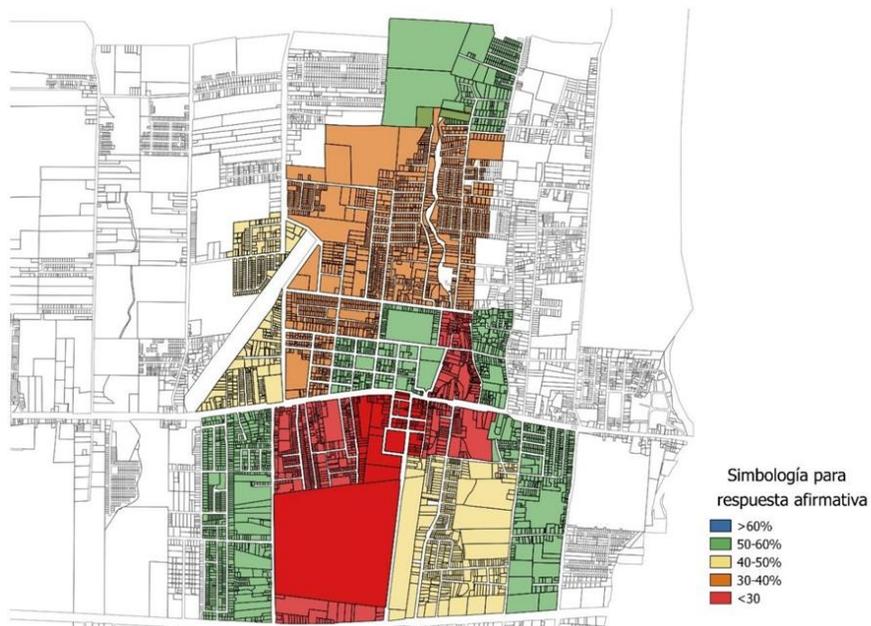
La falta de mantenimiento a los sistemas de tratamiento como tanques sépticos, puede contaminar la propiedad, las aguas subterráneas y otras fuentes, se pueden generar corrientes de agua contaminadas que entran a las quebradas y ríos utilizados por la población. La disminución de su eficiencia se puede presentar al no remover o tratar los lodos periódicamente, lo que puede generar que no se cuente con el tiempo necesario para que las bacterias no cumplan con el proceso de estabilización de la materia orgánica o se den bajos tiempos de retención hidráulica y por ende se genere obstrucción de los poros del sistema de infiltración por el arrastre de material sedimentable (MS, MINAE & AyA, 2016). El 34 % de la totalidad de los lugares encuestados indican que nunca se le realiza algún tipo de limpieza o mantenimiento a su sistema individual, lo cual es preocupante dado que su inadecuada gestión puede provocar afectaciones en la salud de las personas. Posteriormente, se obtiene que en promedio un 24% de las secciones encuestadas, realizan dicho mantenimiento en un periodo de 2 años o más y solo un 22% lo realizan de manera anual. La Figura 8, muestra una distribución sectorial de las respuestas obtenidas, según la mayoría de la frecuencia de mantenimiento dada en cada sección.

➤ Conocimiento sobre la limpieza de los sistemas de tratamiento individuales

En la Figura 9 se presenta el conocimiento del momento en el que se debe realizar de manera porcentual y distribución espacial de acuerdo a cada sección.



(a)

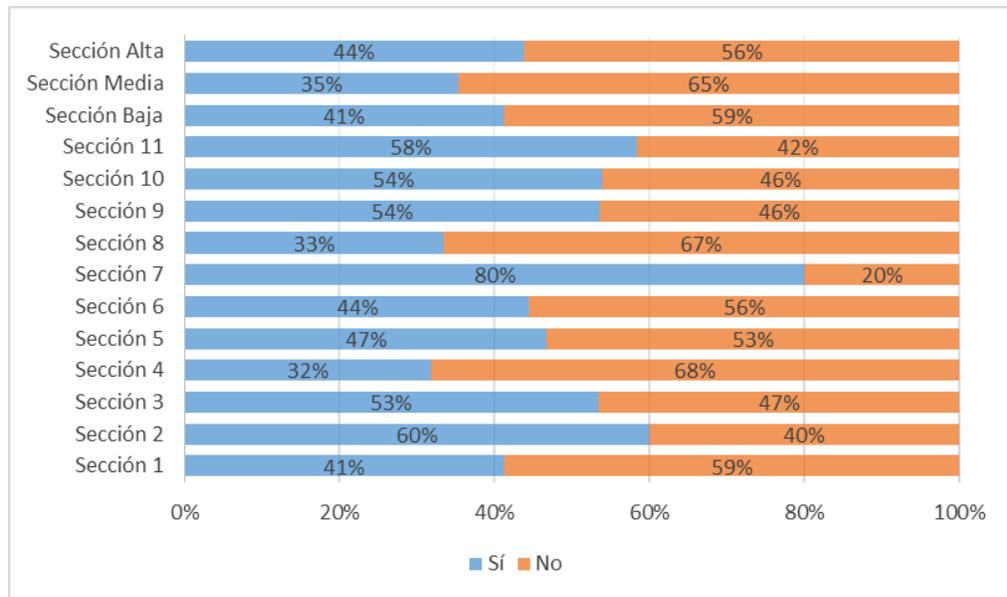


(b)

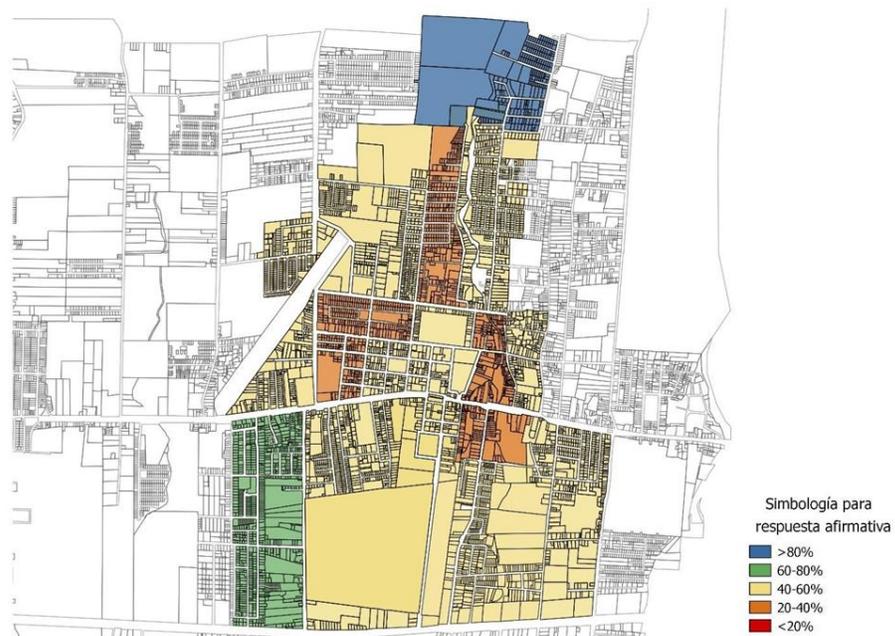
a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 9. Conocimiento sobre el momento de realizar el mantenimiento

En la Figura 10 se presentan los porcentajes obtenidos, así como la distribución de las secciones, con base al conocimiento de la manera de llevar a cabo el mantenimiento.



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 10. Conocimiento sobre la manera en que se realiza el mantenimiento

Existe una inquietud sobre si esta limpieza se efectúa de manera precisa, como se puede observar en las Figuras 9 y 10, en promedio un 58% de la totalidad de las secciones encuestadas indican que no se tiene conocimiento de cuando se debe realizar esta limpieza y

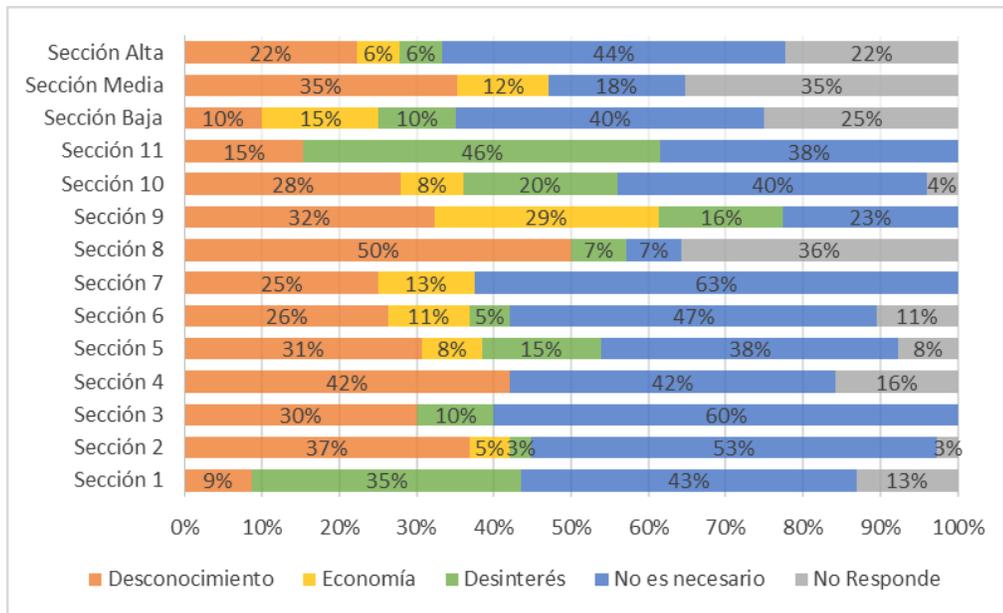
un 52% de la población no tienen conocimiento de cómo realizarla. Por tales afirmaciones, se puede inferir que el periodo de mantenimiento ha sido establecido de manera empírica y sin realmente contar con una evaluación del momento y técnica oportuna para realizar dicha limpieza, se evidencia la falta de capacitación en la comunidad de manera que puedan realizar un monitoreo de las condiciones de su sistema de tratamiento.

Es importante destacar que zonas como Sección Alta y Sección Baja, presentan porcentajes considerables de 50% y 40% respectivamente, donde no se realiza mantenimiento al sistema de tratamiento y se ubican en una zona cercana al cuerpo de agua en estudio, lo cual puede ser motivo de arrastre de la materia orgánica y genere alteraciones en su calidad.

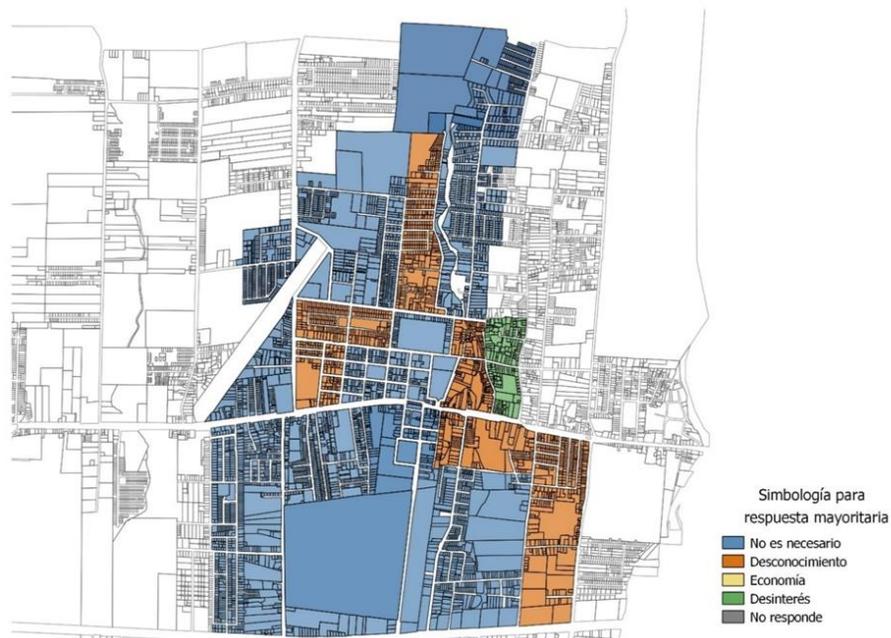
Además, la Sección 4 y Sección 6, presentan porcentajes de 50% y 42% respectivamente, los cuales en su mayoría manejan las aguas con tanque séptico y con altos porcentajes de enviar las aguas grises al mismo, lo que ocasiona descargas considerables de productos químicos, lo cual inhibe la digestión de los lodos sedimentados y puede generar la liberación de malos olores y la incrustación o corrosión de las paredes de la tubería que conduce las aguas residuales hacia el tanque séptico, por lo que disminuye aún más su eficiencia aunado a la falta de mantenimiento, lo que podría considerarse como zonas de riesgo de contaminación (OPS & OMS, 2005).

➤ Razón de la frecuencia de mantenimiento al sistema de tratamiento individual

Por medio de las encuestas, se pudo determinar una serie de razones por las cuales no se le da un mantenimiento de manera periódica al sistema de tratamiento, el cual se evidencia en la Figura 11, donde se presenta la relación porcentual de cada sección y su representación espacial.



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

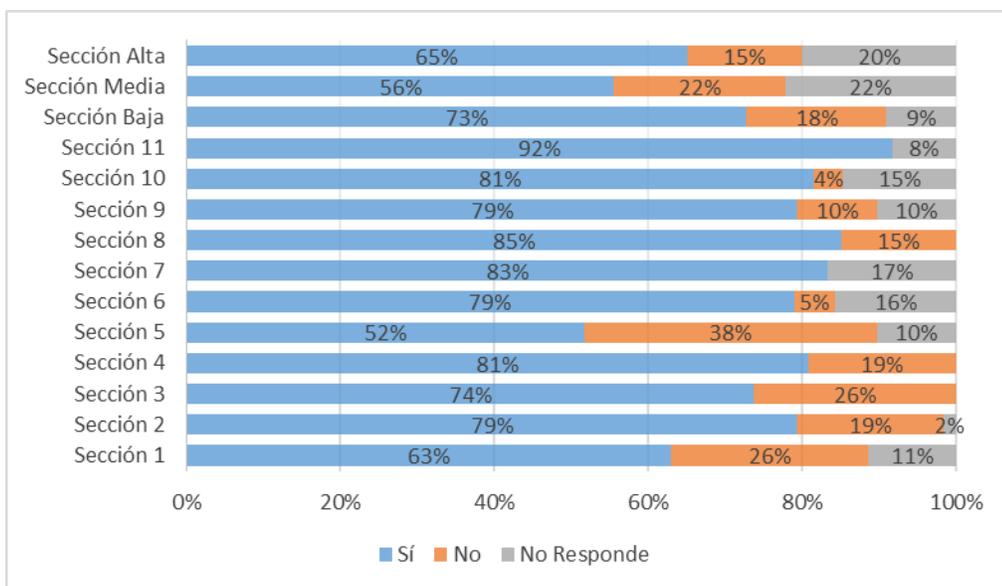
Figura 11. Razones de la frecuencia de mantenimiento al sistema de tratamiento

Si bien la falta de mantenimiento puede generar problemas en la calidad de las aguas superficiales, el 43% de la población encuestada consideran que no es necesario realizar este constante monitoreo y limpieza, atribuyendo esto a una gran capacidad del tanque séptico y

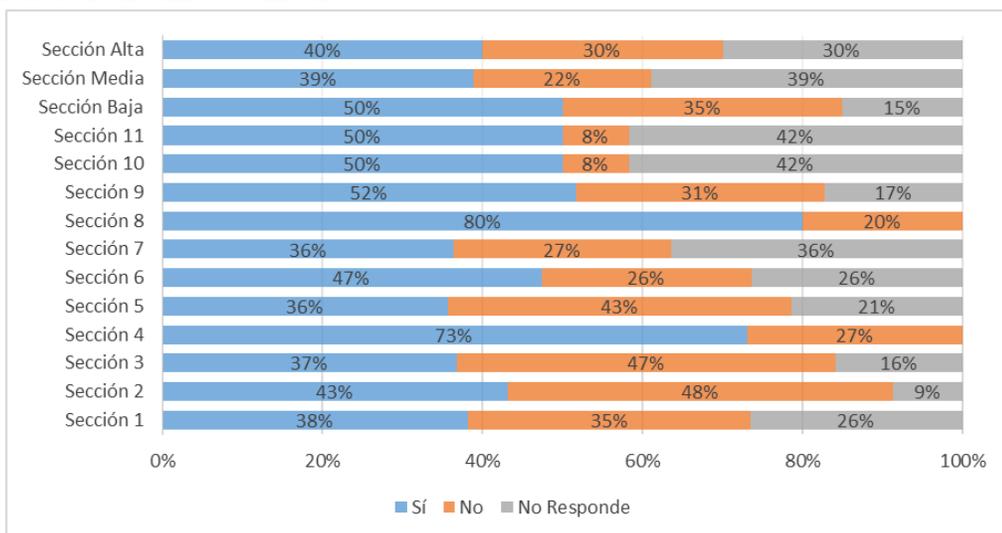
un mínimo de miembros en el hogar, aunado a esto, se tiene como razón el desconocimiento con un promedio de un 28% de la población total, donde se confirma junto con las secciones anteriores, la nula o deficiente información con que cuentan las personas sobre el manejo de sus aguas residuales, por lo que puede que no se tenga conciencia de la verdadera necesidad de realizar este mantenimiento, dado que, se considera necesario hasta que se generen problemas como estancamientos, malos olores o derrames. Consecuentemente, se presentan motivos como desinterés, economía y abstención en las respuestas, las cuales a veces se atribuía a ser sitios alquilados, donde igual no se tiene una responsabilidad sobre las aguas servidas.

➤ Disposición a conectarse al alcantarillado sanitario

La Figura 12, expone la disponibilidad de conectarse a un alcantarillado sanitario, se obtuvo mayoritariamente un nivel de aceptación del 74%, donde podría evaluarse de manera más específica la posibilidad de implementarlo en el distrito. Sin embargo, en el caso de que fuese necesario realizar instalaciones por la parte atrás de la vivienda o comercio, además de considerar inversiones económicas, se obtiene un aumento de 29% de rechazo ante esta estrategia de manejo de las aguas residuales. Por lo que es favorable, buscar otras alternativas para un correcto manejo de las aguas servidas.



a) Conexión al alcantarillado sanitario



b) Instalación del alcantarillado sanitario por la parte de atrás de la vivienda o comercio

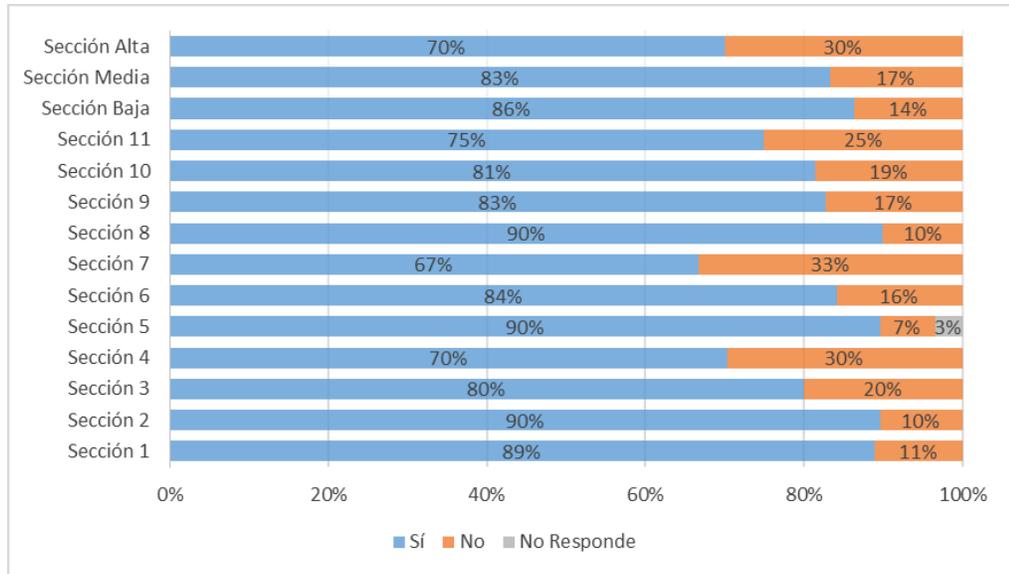
Figura 12. Disposición a conectarse al alcantarillado sanitario

5.1.2 SALUD PÚBLICA

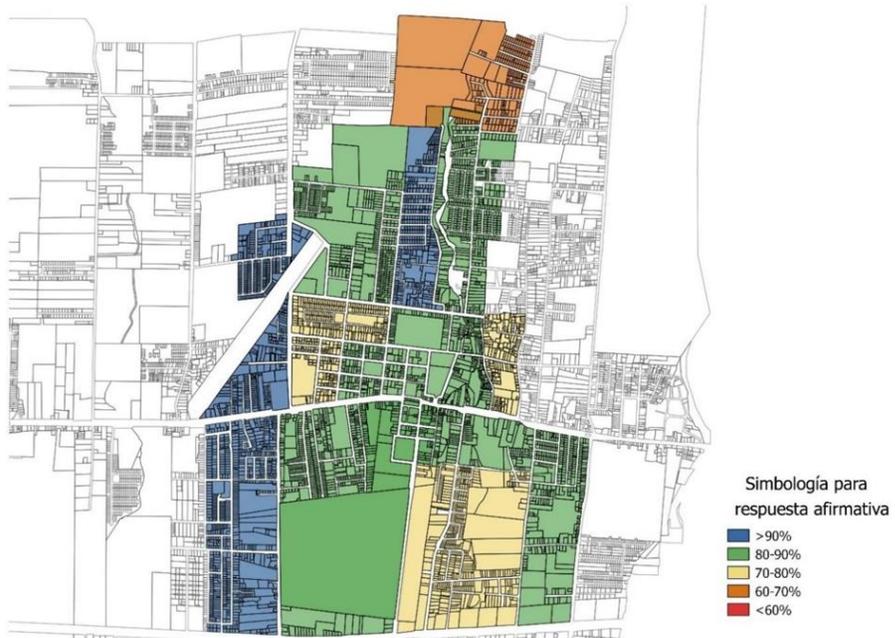
La temática de salud pública permite tener la percepción de las personas si la zona en la que se vive, se percibe como un ambiente saludable (Figura 13) y la frecuencia en la que se presentan enfermedades relacionadas a niveles de agua contaminada (Figura 14).

➤ Consideraciones sobre un ambiente saludable

En la Figura 13, la media de las secciones encuestadas indica que un 81% de la población consideran su zona como un ambiente saludable, mayoritariamente la Sección 2, 5 y 8, las cuales tienen la peculiaridad de estar más alejadas de los cuerpos de agua en estudio. Caso contrario, la Sección Alta y la Sección 7 (30% y 33% respectivamente) muestran mayores porcentajes de un ambiente menos saludable y se caracterizan por ser zonas más cercanas al cuerpo de agua en estudio, para esta última sección las personas indican como problemática la proliferación de mosquitos, posibles causantes de enfermedades como el dengue, que a pesar de no ser causada directamente por la calidad del río, se genera por estancamientos de agua y acumulación de residuos sólidos en las laderas del río, los cuales funcionan como criaderos de posibles enfermedades. Sin embargo, en la mayoría de las secciones los rangos de un ambiente poco saludable son bajos (7%-33%) en comparación a las secciones que sí consideran su sector como un ambiente saludable (67%-90%).



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 13. Consideración de un ambiente saludable

➤ Frecuencia de enfermedades en hogares o comercios

En promedio, el 78% de las encuestas realizadas en las distintas secciones, indican que nunca sufren enfermedades como vómito, diarrea, dolor de estómago, etc. Sin embargo, existen porcentajes considerables donde sí se presentan por lo menos 2 veces al año (10%-44%), 6 veces al año (3%-7%) y de manera preocupante, más de 6 veces al año (5%-7%) en la Sección Alta y Sección 5 (Figura 14). La importancia radica en que la disposición de excretas y aguas residuales en los cuerpos de agua superficiales, pueden causar muchas enfermedades como la tifoidea, disentería, cólera y las vinculadas con el parasitismo se transmite de una persona a otra a través del agua, de los vectores, el suelo y los alimentos, contaminados atribuido en gran parte por la inadecuada disposición de los desechos fisiológicos humanos (OPS & OMS, 2005).

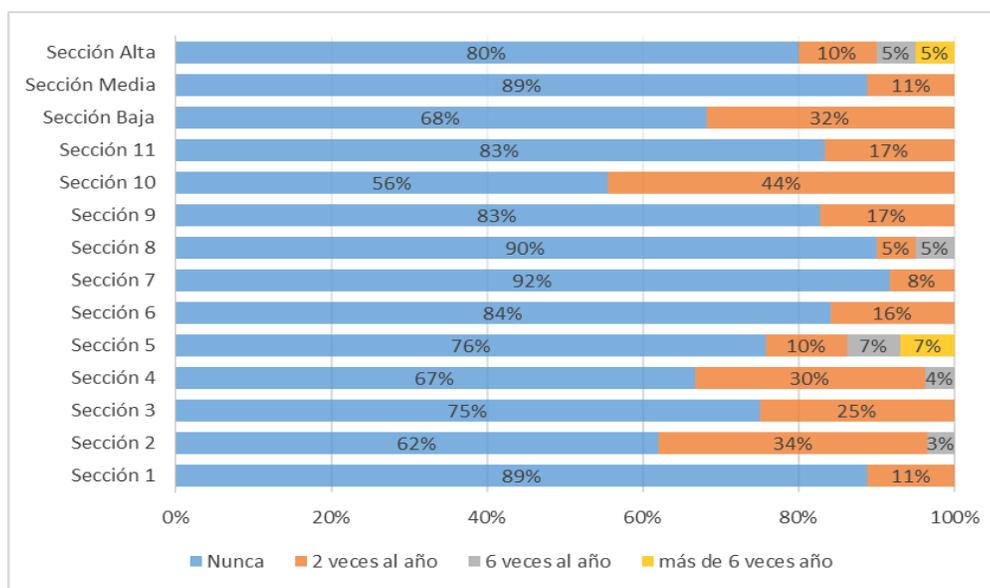


Figura 14. Frecuencia de enfermedades presentes en la vivienda o comercio

5.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL RÍO

La temática de caracterización del río, tiene la peculiaridad de ser realizada en aquellas zonas que tienen una relación directa con el río Guápiles y la quebrada Numancia, en esta se recopila la apreciación organoléptica sobre los cuerpos de agua en estudio, por medio de una distribución porcentual (Figura 15) y espacial (Figuras 16 y 17) para las secciones Alta, Media, Baja y 7.

➤ Percepción de factores organolépticos no característicos provenientes del cuerpo de agua

De manera general, más de la mitad de la población encuestada (50%-92%) de las secciones de mayor relevancia (Alta, Media, Baja y 7), afirman que nunca se perciben malos olores, colores, espumas o aceites no característicos del río, lo que podría ser indicios de una buena calidad de los cuerpos de agua en estudio (Figura 15).

Con base al comportamiento de los cuatro parámetros establecidos (olor, color, espumas y aceites), para las secciones a las que se le aplicó estas preguntas, se obtiene una tendencia creciente del primer punto a la sección media, siendo este el punto crítico, es decir, la zona con mayor presencia de estos factores, generados mayoritariamente por comercios y algunos hogares. En el caso de la Sección Baja y 7, disminuye un poco la identificación de estos indicios, sin embargo, se mantienen presentes en porcentajes considerables.

En cuanto a la Sección Alta, lo que más han identificado las personas encuestadas en este sector es la presencia de espumas 33% consideran que se da algunas veces y un 11% casi siempre, también, se han presentado colores no característicos y aceites con un 22% de afirmación, en menor proporción se han presentado malos olores en esta zona (11%). Al ser la zona de aguas más arriba del río se considera con poco arrastre de contaminantes, sin

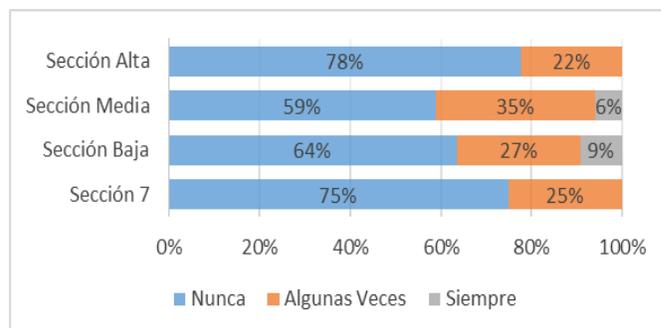
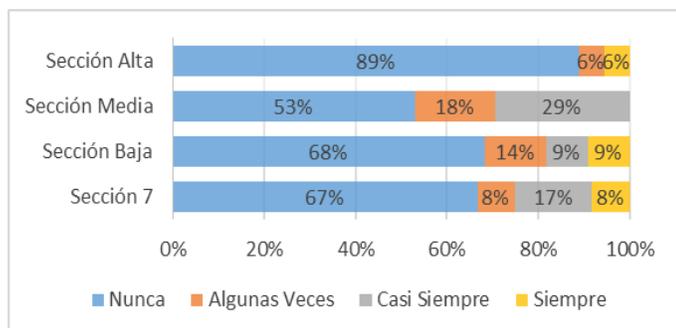
embargo, esta sección es mayormente una zona comercial, incluidos entre estos locales como autolavados, talleres, gasolineras y otros semejantes que pueden incidir en la generación de espumas, colores y aceites (Figura 15).

Por otra parte, la Sección Media se caracteriza mayormente por presentar malos olores con un 47% de afirmación (29% casi siempre y 18% algunas veces), seguido de colores no característicos con un 41% de afirmación (35% algunas veces y 6% siempre), presencia de espumas con un 29% algunas veces y en menor proporción se presentan aceites con un 24% algunas veces. Esta sección se caracteriza por ser una zona con mayor densidad comercial y domiciliar de un menor estrato económico, por lo que se puede inferir posibles vertimientos de aguas residuales y grises que generen estos malos olores y variaciones de colores en su mayoría, esta zona es de mayor densidad poblacional, por ende, se cuenta con un mayor tránsito de personas y con ello una mayor presencia de desechos sólidos, lo cual también puede afectar directamente en la calidad del efluente (Figura 15).

Según los encuestados, la Sección Baja presenta un 36% de presencia de colores no característicos del río (27% algunas veces y 9% siempre), además de la presencia de malos olores y espumas en un 32%, con un menor número de aceites 10%. Esta sección se caracteriza por ser en su mayoría una zona domiciliar, donde se pueden generar vertimientos de aguas grises o problemas de falta de mantenimiento a sus sistemas de tratamiento de agua residual como se vio en las secciones anteriores, los cuales pueden generar la presencia de estos factores, además que esta zona acarrea los problemas generados en las secciones anteriores (Figura 15).

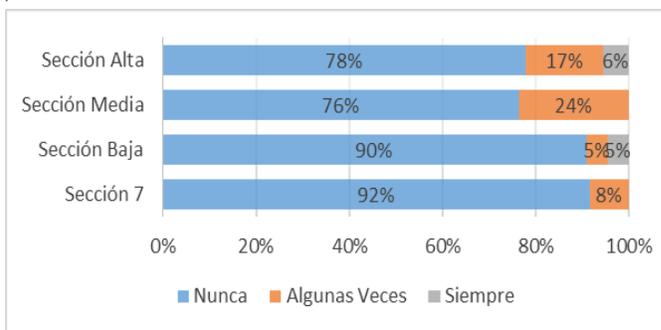
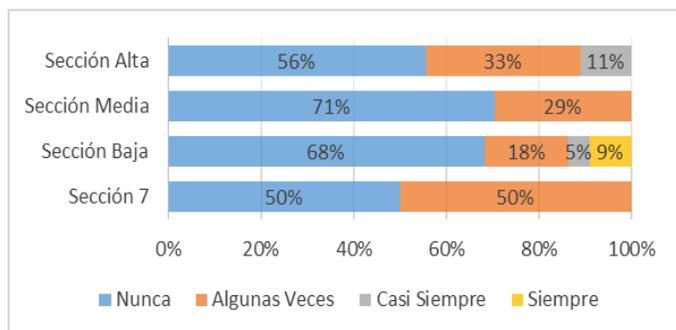
Por último, la Sección 7 presenta en su mayoría espumas no características con un 50% de afirmación, 33% de presencia de malos olores, 25% de colores no característicos y por último

un 8% de presencia de aceites. Esta zona es la de aguas más abajo del río, por lo que abarca la problemática presentada en los sectores anteriores (Figura 15).



(a)Malos olores

(b)Colores no característicos

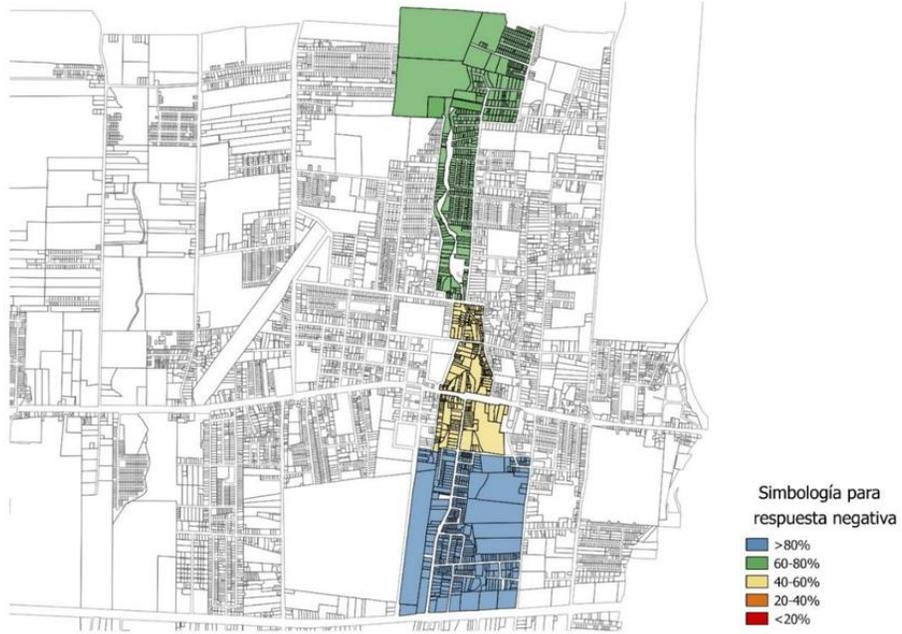


(c)Espumas no características

(d)Visualización de aceites

Figura 15. Apreciación organoléptica comunitaria

En la Figura 16, se puede visualizar de mejor manera, porcentajes de repuestas “nunca”, correspondientes a cada sección sobre la identificación de factores como malos olores, colores no característicos del cuerpo hídrico.



(a)



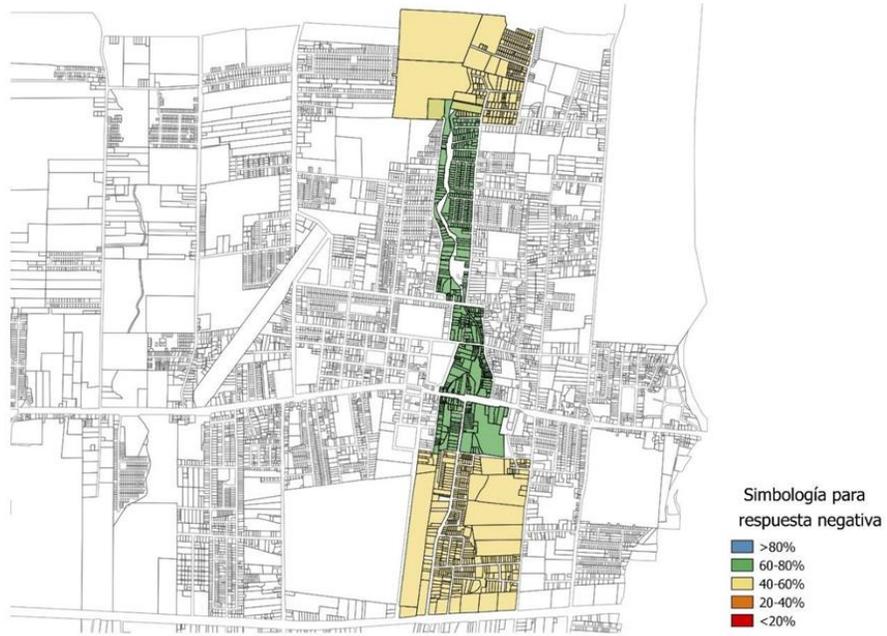
(b)

a) Malos olores

b) Colores no característicos

Figura 16. Distribución sectorial de la percepción de olor y color

En la Figura 17, se da una representación espacial sobre los porcentajes de repuestas “nunca” de espumas y aceites presentes en los cuerpos de agua en estudio.



(a)



(b)

a) Espumas b) Aceites

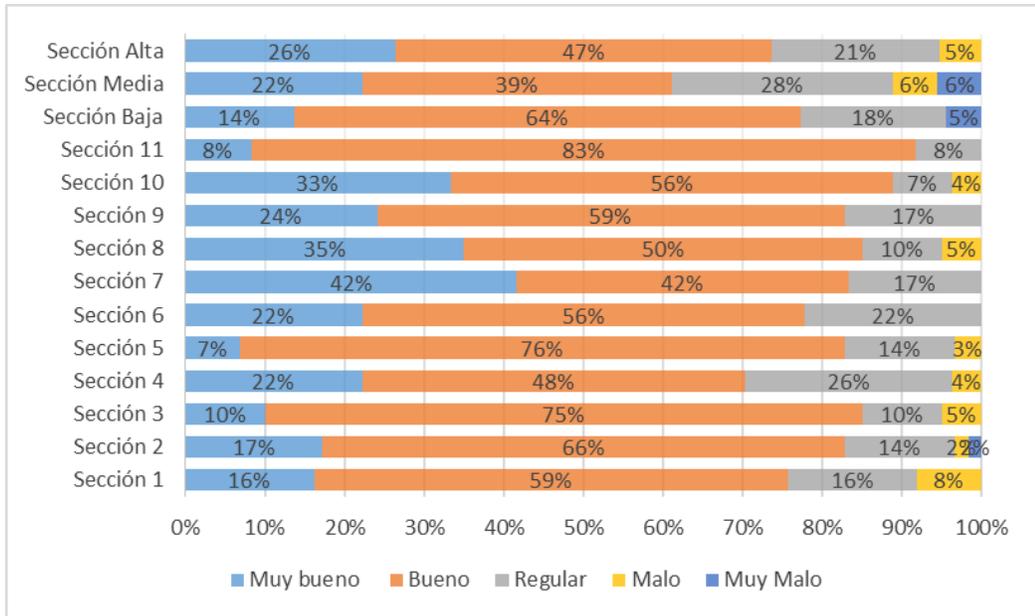
Figura 17. Distribución sectorial de la visualización de espumas y aceites

5.1.4 RESIDUOS SÓLIDOS

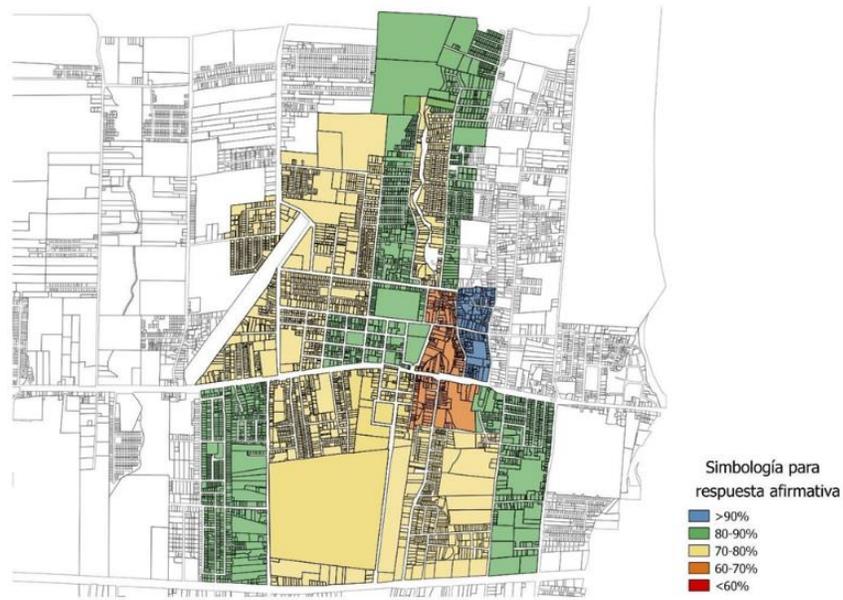
➤ Entidad que brinda el servicio de recolección de “basura” en la zona

Según la totalidad de las encuestas realizadas, el servicio de recolección de residuos sólidos es brindado por la Municipalidad de Pococí en un 97% (340 sitios) de la zona de estudio, un 2% (7 sitios) restante corresponde a algunas respuestas de las Secciones 3,5,6 y 11 (Palma Dorada, Zurquí, Centro) (Apéndice 3, Cuadro A.3.27.), los cuales indicaban que sus residuos eran recolectados por una entidad privada y el 1% (3 sitios) restante no tiene conocimiento de quién brinda el servicio. Sin embargo, consultando con la Unidad Técnica de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Pococí, indican que se realizó una ampliación de rutas de recolección la cual cubre actualmente estos sectores, por lo que esta entidad es la que recolecta la totalidad de los residuos sólidos en la zona de estudio.

En la Figura 18, los encuestados muestran un grado aceptable de satisfacción con el servicio, dado que el 21% y el 59% de las encuestas realizadas indican que es de muy buena y buena calidad respectivamente, un 16% consideran que el servicio es regular y de un 3% al 1% lo catalogan como malo y muy malo. Aunado a esto, el 61% de los encuestados indican que sí realizan la separación de sus residuos, por lo que este escenario, aparentemente favorable, difiere con la realidad dado que en las laderas e inclusive en el cauce de la quebrada Numancia y del río Guápiles se ha encontrado una importante cantidad de residuos, entre ellos: plásticos, ropa, sillones, electrodomésticos, etc.



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 18. Calidad del servicio de recolección de basura

Por lo que, al consultar sobre cómo se maneja este tipo de residuos, los cuales por lo general no son recogidos por el servicio municipal, se obtuvo que para un 52% de la población, estos son recolectados por un tercero (Figura 19), en general se indicaba que se trataba de un

chatarrero. Es importante mencionar, que las personas entregan este tipo de material sin saber realmente el destino final de los mismos, si efectivamente se utilizan como chatarra o si son depositados en cualquier sitio, lo que puede ser una de las razones de la cantidad de estos desechos en el río y lugares aledaños.

En promedio un 18% de las secciones encuestadas, indica que este tipo de material sí es recolectado por el servicio municipal, el cual podría ir directo al relleno sanitario Los Laureles. También, un 12 % indica que no se genera del todo y un 3% lo sigue almacenando hasta encontrar una forma de tratarlo, lo que se puede considerar como un escenario favorable (Figura 19).

Aunque se obtuvieron bajos porcentajes de un inadecuado manejo de los residuos sólidos, es de importancia destacar que un 5% de la población total encuestada mencionan que queman este tipo de materiales para deshacerse de una manera más práctica, donde las secciones de mayor relevancia serían Sección Media, 9, 5 con un 17% de respuestas cada una y un 11% de la sección 6. Además, un 3% de la población total reconocen que depositan estos residuos en cualquier sitio (lotes baldíos, laderas de ríos, etc.), siendo de mayor relevancia las secciones 8, Alta, con un 15% y 10% respectivamente. Por último, un 1% de la población total menciona que entierran este tipo de materiales, dentro de lo que destacan las secciones 3 y 2 con un 5% y 2% respectivamente (Figura 19).

En particular, estas tres técnicas inadecuadas pueden generar una serie de problemas dentro de los cuales se puede considerar deterioro al paisaje, donde el impacto visual negativo que ocasiona la presencia de los residuos sólidos y su dispersión en el entorno, influye directamente en el rechazo de la población. También pueden generar graves problemas a la atmósfera, olores desagradables y problemas en la salud de la población, debido a las quemadas

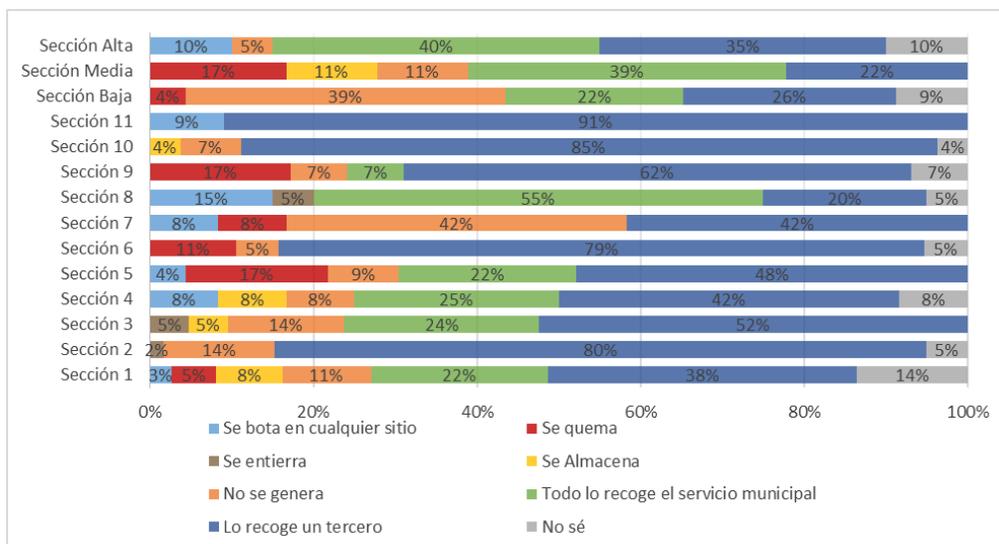
de los residuos, a la emisión y combustión de biogás y la suspensión de microorganismos (microbios patógenos, gases tóxicos), polvos y partículas por el viento. Efectos en la atmósfera que pueden contribuir al incremento del deterioro de la capa de ozono, el efecto invernadero y la lluvia ácida. Al quemarse los residuos de manera incontrolada, se produce una gran turbulencia del aire, por lo que la contaminación alcanza varios kilómetros a la redonda, gobernado por la acción de los vientos (Higueras, 2010).

El flujo del agua pluvial ingresa a los estratos de residuos acumulados, estos lixiviados que pueden llegar migrar hacia las aguas subterráneas o superficiales, lo que está en función de las condiciones topográficas y geo-hidrológicas del sitio, generando de esta forma la degradación de la calidad del suelo y del agua, poniendo en riesgo la salud de la población (ONU, 2017).

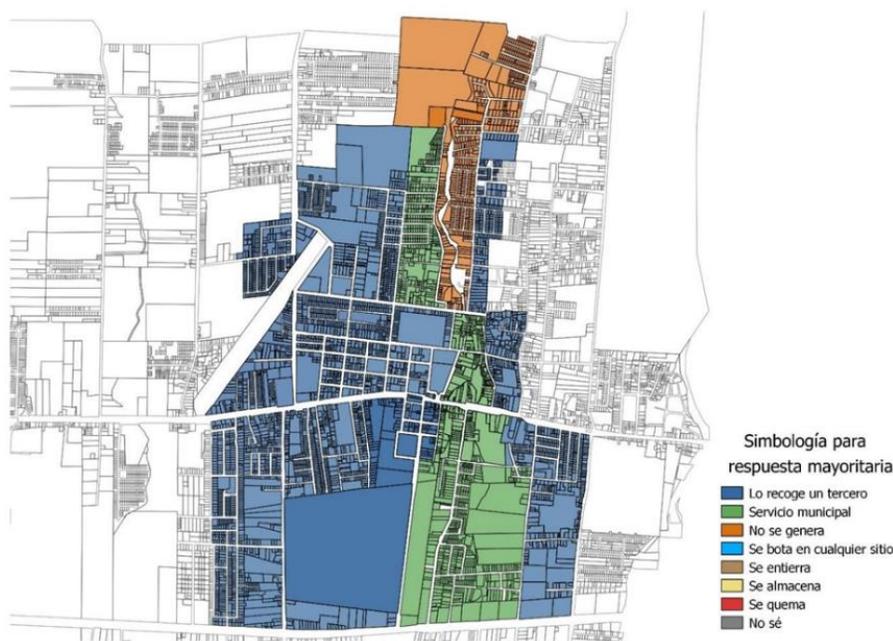
Además, la presencia de estos residuos en los cuerpos de agua superficiales incrementa la concentración de materia orgánica y, en consecuencia, aumenta la demanda de oxígeno disuelto, lo cual repercute en una importante deficiencia de oxígeno para las especies vivas que habitan en los cuerpos de agua superficial, esto puede ocasionar la muerte de peces, otras especies acuícolas y en general la degradación del cuerpo acuático.

El riesgo que puede tener el ser humano, radica en la ingestión de la supuesta agua potable, del contacto directo que tenga con quebradas y ríos, la potencial diseminación de enfermedades por la presencia de animales domésticos, y, finalmente, por la bioacumulación de algunas sustancias como los metales pesados (plomo, cadmio, etc.) en peces o cualquier otro organismo de consumo humano que esté en contacto con agua mezclada con lixiviados (Higueras, 2010).

En la Figura 19, se presentan los distintos tipos de manejo a los residuos especiales y electrónicos que en su mayoría no son recogidos por el servicio municipal.



(a)



(b)

a) Distribución porcentual b) Distribución por sectores

Figura 19. Manejo de la basura (residuos especiales, electrónicos)

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

En el Cuadro 13, se muestra los dos muestreos realizados, característicos de época lluviosa y época seca, donde existen variaciones de caudal, junto con su diferencia porcentual, para los seis puntos de muestreo.

Cuadro 13. Caudales obtenidos en cada punto de muestreo para los dos periodos establecidos

Punto de muestreo	Periodo I (Época lluviosa)	Periodo II (Época seca)	Diferencia caudal	Diferencia porcentual
	Q(l/s)	Q(l/s)	Q(l/s)	(%)
1	7,40	6,35	1,05	14,16
2	11,38	7,16	4,23	37,12
3	18,46	2,57	15,90	86,10
4	13,64	7,39	6,25	45,80
5	37,86	14,08	23,78	62,80
6	32,74	25,46	7,28	22,23
Promedio	20,25	10,50	9,75	48,13

El primer periodo de muestreo realizado es representativo de la época lluviosa, mientras el segundo muestreo es representativo de la época seca, lo que se ve reflejado en la diferencia de caudales, donde en promedio, este corresponde a casi la mitad del flujo obtenido (48%). Siendo mayor la diferencia en ciertas secciones del cuerpo de agua como lo es el punto tres, perteneciente a la quebrada Numancia con una diferencia de un 86%, mientras que el sitio con menor diferencia de caudal es el punto 1, con un 14% igual perteneciente a la quebrada Numancia, en la parte alta del mismo. Lo que repercute, en cambios de algunas concentraciones de los parámetros físico-químicos y biológicos analizados (Cuadro 13).

El Cuadro 14, presenta los resultados de los análisis físicos químicos y biológicos realizados, para los dos periodos de muestreo realizados en la quebrada Numancia y en el río Guápiles.

Cuadro 14. Resumen de los resultados por parámetro, punto y periodo de muestreo

Parámetro	I Periodo						II Periodo					
	Quebrada Numancia		Río Guápiles				Quebrada Numancia		Río Guápiles			
	1	3	2	4	5	6	1	3	2	4	5	6
DQO (mg/L)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
DBO (mg/L)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	(3,6 ± 0,5)	< 3	< 3	< 3
OD (mg/L)	(9,05±0,05)	(8,82±0,05)	(8,99±0,05)	(8,57±0,05)	(8,24±0,05)	(7,93±0,05)	(7,48±0,05)	(7,02±0,05)	(7,13±0,05)	(6,06±0,05)	(6,19±0,05)	(6,33±0,05)
PSO (%)	103,1	102,9	104,9	101,6	100,9	95,8	87,4	84,8	83,5	72,8	77,0	78,3
SST (mg/L)	< 3	< 3	(4,5 ± 0,4)	(4,4 ± 0,4)	< 3	< 3	< 3	(3,3 ± 0,4)	< 3	< 3	(4,0 ± 0,4)	< 3
SD (mg/L)	-	-	-	-	-	-	(82 ± 3)	(78 ± 3)	(86 ± 3)	(88 ± 3)	(102 ± 3)	(121 ± 3)
SS (mL/L)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ (mg/L)	(1,3 ± 0,1)	(1,2 ± 0,1)	(1,6 ± 0,2)	(2,0 ± 0,2)	(4,3 ± 0,4)	(3,6 ± 0,3)	(1,0 ± 0,1)	(1,5 ± 0,2)	(1,0 ± 0,1)	(3,2 ± 0,4)	(5,6 ± 0,7)	(6,4 ± 0,8)
N-NH ⁴⁺ (mg/L)	-	-	-	-	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
GyA (mg/L)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
pH a 25°C	(7,06±0,03)	(7,49±0,03)	(6,75±0,03)	(7,11±0,03)	(7,12±0,03)	(6,99±0,03)	(6,47±0,03)	(6,58±0,03)	(6,46±0,03)	(6,09±0,03)	(6,69±0,03)	(7,02±0,03)
T (°C)	(20,9 ± 0,8)	(22,1 ± 0,8)	(22,1 ± 0,8)	(22,9 ± 0,8)	(24,6 ± 0,8)	(23,9 ± 0,8)	(22,2 ± 0,8)	(23,9 ± 0,8)	(22,3± 0,8)	(23,6 ± 0,8)	(25,4 ± 0,8)	(25,1 ± 0,8)
CF (NMP/100mL)	2	13	17	39	47	47	22	34	350	47	40	26
CT (NMP/100mL)	34	27	34	47	47	47	-	-	-	-	-	-
Valor del BMWP-CR	121	140	156	58	61	60	137	65	74	75	119	126

Se presenta en el Cuadro 15, la clasificación realizada de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno Disuelto como Porcentaje de Saturación de Oxígeno, para los periodos I y II, en sus seis puntos de muestreo, contemplados en el Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua.

Cuadro 15. Resumen de la clasificación físico-química de la calidad del agua, según la metodología del Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores.

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	I Periodo		II Periodo	
		Clase	Interpretación de calidad	Clase	Interpretación de calidad
Quebrada Numancia	1	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente
	3	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente
Río Guápiles	2	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente
	4	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente
	5	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente
	6	1	Sin contaminación	2	Contaminación incipiente

Como se observa en el Cuadro 15, la clasificación según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores, es de Clase 1, interpretándose sin contaminación para el primer periodo para todos los puntos muestreados, disminuyendo su calidad en el segundo periodo de muestreo donde este se clasifica como Clase 2, interpretándose su calidad como contaminación incipiente, contemplada en el transcurso aguas debajo de los cuerpos de agua en estudio.

Además, es importante considerar la clasificación de calidad que indica el Índice Biológico BMWP-CR, el cual muestra fluctuantes variaciones tanto entre los periodos analizados como en los puntos muestreados, lo que podría determinar de mejor manera el nivel de contaminación y las propiedades de la cuenca.

También, es de relevancia contemplar que los parámetros complementarios analizados, los cuales son específicos del momento en que se realiza el muestreo, se presentan variantes entre los mismos, los cuales no permiten determinar una tendencia general del nivel de contaminación en las cuencas, sino solo evaluar las condiciones individuales de estos y los posibles efectos que pueden tener sobre los ecosistemas acuáticos y la calidad de los cuerpos de agua analizados.

La clasificación para el primer periodo de muestreo, presenta que la mayoría de los parámetros analizados son de Clase 1 (Apéndice 4), considerando a partir del punto 4, un aumento en la cantidad de coliformes fecales y una disminución en el índice BMWP-CR para macroinvertebrados acuáticos, zonas características de una mayor concentración doméstica en comparación a los puntos anteriores (Cuadro 14).

Para el segundo periodo de muestro, se presenta un escenario menos favorable, en la totalidad de la cuenca, dado que, en la mayoría de los parámetros analizados aumentó su número de clase, lo que refleja una disminución de la calidad del cuerpo de agua, siendo este de contaminación incipiente. Dicha situación podría ser causadas por una gran cantidad de conexiones de aguas grises, que van a dar directamente a los cuerpos de agua, así como, la posibilidad de conexiones ilícitas de vertimientos directos de aguas residuales, acumulación

de residuos sólidos y lixiviados tanto en las laderas como en la propia cuenca. Contrario a estos, se da una mejoría del índice BMWP-CR, donde en la mayoría aumenta su calidad.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

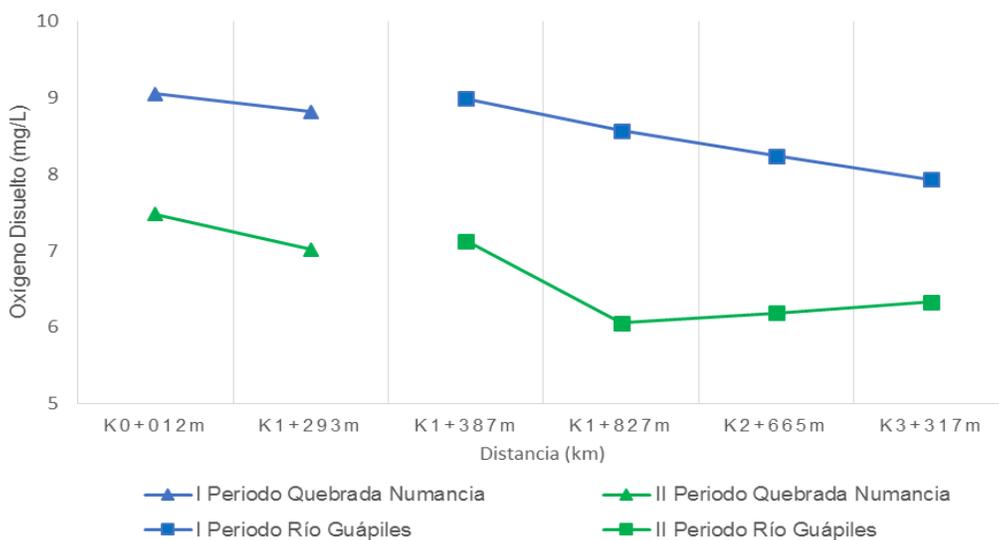
Como se puede observar en el Cuadro 14, la demanda química de oxígeno, se encuentra en valores menores a 10 mg/L para los seis puntos de muestreo establecidos, en los dos periodos de muestreo. Lo que refleja una baja carga de contaminantes, a estos encontrarse por debajo del límite de 20 mg/L establecido para la Clase I de la calidad de los cuerpos de agua en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE-S (Apéndice 4). Por lo que se empieza a inferir una buena calidad en el área de estudio al no encontrarse grandes cargas contaminantes.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

Así mismo, los valores de DBO se presentan en rangos favorables en la calidad de los cuerpos de agua en estudio, es decir, para el primer periodo representativo de la época lluviosa, se obtienen valores menores de 3 mg/L para los seis puntos de muestreo, inclusive, para el segundo periodo representativo de la época seca, se obtienen los mismos resultados con excepción del punto dos, donde se ve un aumento de 0,6mg/L con una incertidumbre de $\pm 0,5$ mg/L, lo que podría generar una diferencia mínima (Cuadro 14). Por lo tanto, la sumatoria de este parámetro junto con los otros establecidos por el índice holandés, puede situar a lo largo de la trayectoria de los cuerpos superficiales en la clase uno catalogados de color azul, sin contaminación, disminuyendo su calidad en la época seca, donde se cataloga de color verde, como contaminación incipiente.

Oxígeno Disuelto (OD)

Se obtuvieron valores de concentración de oxígeno disuelto para los dos periodos de muestreo, en la Figura 20, se ve la tendencia a lo largo de los seis puntos.



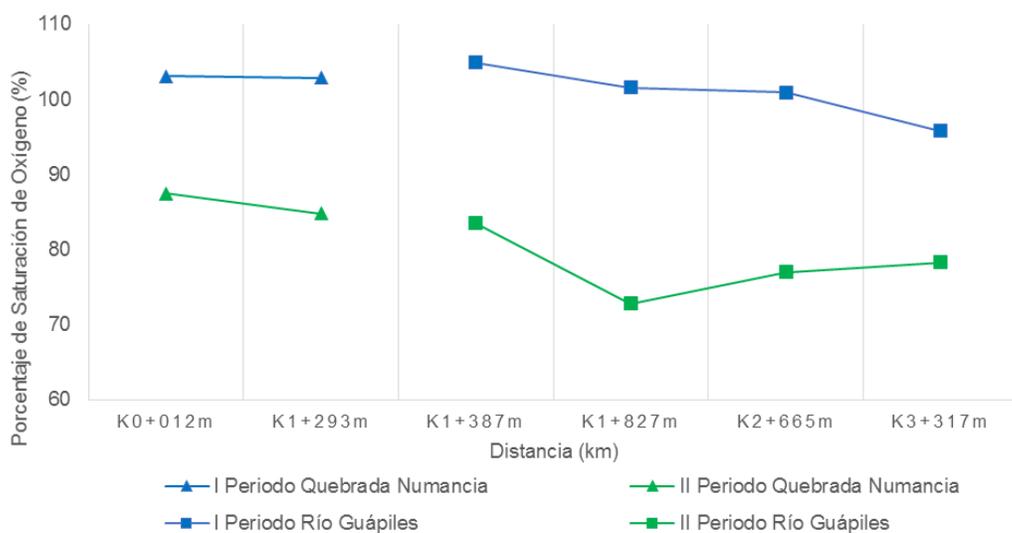
Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 20. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD)

Como se puede observar en la Figura 20, se presenta una tendencia general decreciente conforme avanzan los puntos de muestreo, aguas abajo de los cuerpos en estudio, lo que refleja mayor intervención antropogénica, de mayor importancia en el punto 4 el cual resultó con una menor concentración de OD (6,06 mg/L; 72,8 %) (Cuadro 14), sin embargo, según Alfaro, Blanco & Morera (2015), la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua superficial debe ser mayor a 5 mg/L y 70% en términos porcentuales para garantizar la supervivencia de las comunidades biológicas y evitar la muerte de los peces; lo que se cumple para ambos periodos de muestreo (representativos de época seca y lluviosa) en el transcurso de las aguas superficiales en estudio y respalda la supervivencia de la comunidad acuática.

Estas tendencias decrecientes indican un mayor consumo de OD por parte de las bacterias y demás organismos aeróbicos que el aporte de oxígeno disuelto por reaireación, por otro lado, del punto 4 al 6, en el segundo periodo de muestreo, se muestra un crecimiento en la concentración de oxígeno disuelto con forme se avanza en la distancia aguas abajo, lo que puede indicar una posible purificación natural del río Guápiles en ese segmento, lo que posibilita el hecho de una recuperación oportuna de la cuenca (Figura 20).

Además, se obtuvo el porcentaje de saturación de oxígeno, con respectos a los valores experimentales y teóricos de oxígeno disuelto, en la Figura 21, se presenta su tendencia a lo largo de la cuenca.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 21. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno

El Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), se presenta de manera sobresaturada (valores mayores del 100%), en los primeros cinco puntos correspondientes al primer periodo de muestreo (época lluviosa) (Cuadro 14), lo que puede resultar peligroso para la vida acuática, pues facilita que burbujas de oxígeno bloqueen el flujo sanguíneo de los peces (Pérez &

Rodríguez, 2008). Esto se puede atribuir a un aumento de caudal debido a las constantes lluvias y una turbulencia constante cercana a estos puntos de muestreo.

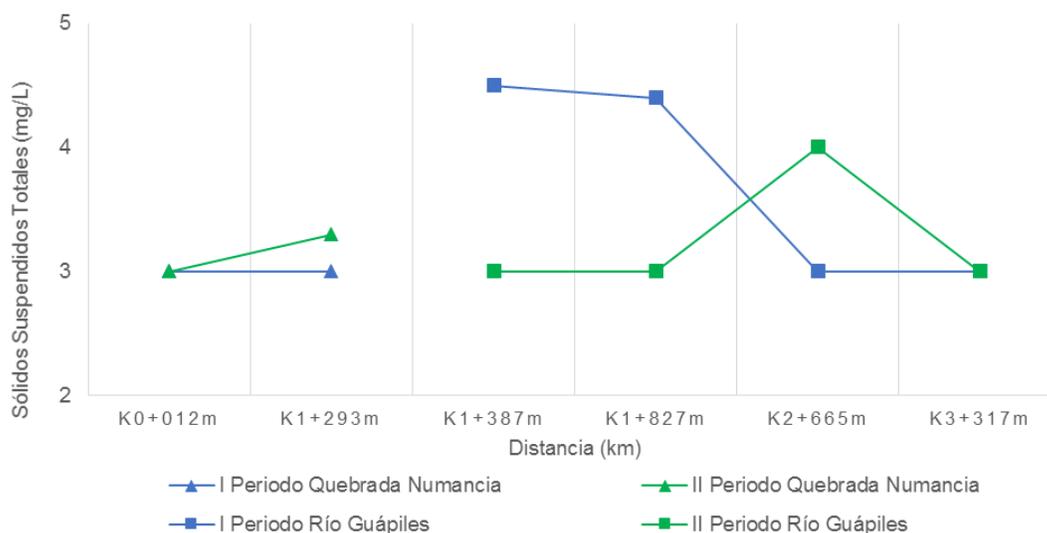
En cuanto a los demás puntos, estos se encuentran dentro del rango propicio para la vida acuática (mayores al 70%), lo que permite mantener los ecosistemas en buenas condiciones, donde los organismos aeróbicos lo usarán y producirán sustancias inocuas para los ecosistemas acuáticos. Además, este segundo periodo de muestreo representativo de la época seca, presenta mayores niveles de temperatura lo que es directamente proporcional a una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto (Figura 21).

El punto cuatro presenta el menor valor de PSO con un 72,8% (Cuadro 14), cercano al límite mínimo para que los organismos acuáticos puedan sobrevivir, esto se puede atribuir al ingreso de contaminantes cercanos a este punto de muestreo y al arrastre de los puntos anteriores, característicos de ser unas zonas mixtas de comercios y domicilios, donde la degradación del material se genera inicialmente por procesos aeróbicos que consumen el oxígeno disuelto para su oxidación. Ocurriendo este en una tasa mayor que la tasa de reposición de este elemento por procesos fotosintéticos o aportes atmosféricos (Carrillo et al., 2012).

Además, a causa de la mayor dilución por los mayores caudales durante la época lluviosa las concentraciones de OD se incrementan con respecto a las registradas durante la época seca. Según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE-S, la sumatoria correspondiente al puntaje de estos parámetros clasifican el río como Clase 1(I Periodo) disminuyendo su calidad en el segundo periodo a Clase 2, considerándose esta de contaminación incipiente.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En la Figura 22, se presenta la tendencia del parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) analizado para los dos periodos de muestreo.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 22. Comportamiento de la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

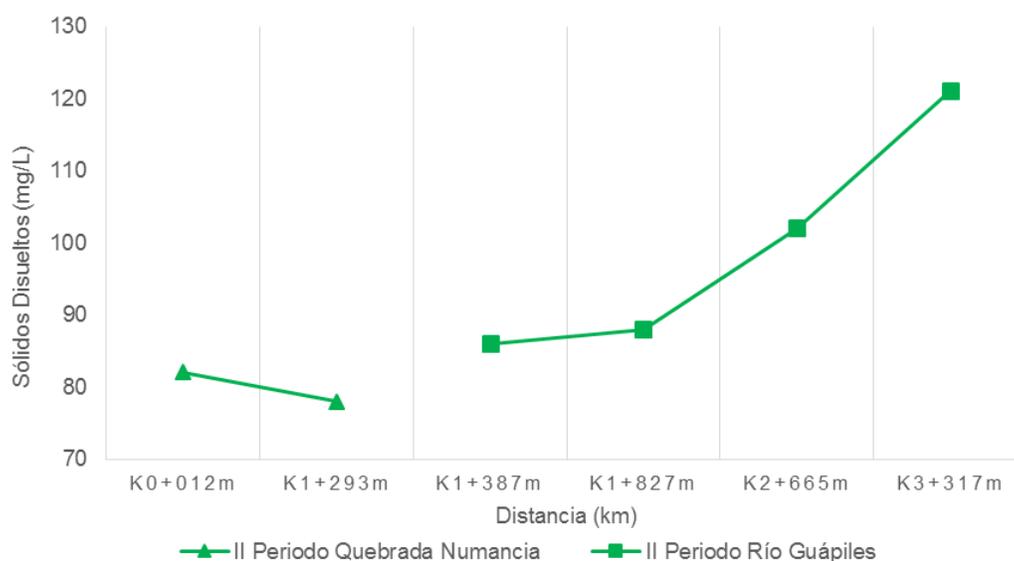
Como se puede observar en la Figura 22 los puntos dos y cuatro del I periodo, presentan mayores valores y, por ende, mayor relevancia en cuanto a efectos nocivos en los cuerpos de agua en estudio, pueden afectar la salud de los ecosistemas por la turbidez en el agua, por el incremento en lluvias y caudales, propicio de un mayor arrastre de material del suelo de la cuenca y del lecho del río, característico de la época en que se realizó el muestreo. Además, se pueden llegar a sedimentar dañando así el hábitat de algunos organismos bentónicos y fomentar sobrepoblaciones bacterianas.

El punto cinco del II periodo, presenta valores más elevados a pesar de no mostrar las mismas condiciones de la época, sin embargo, estos niveles de SST también pueden provenir de

puntos de aguas residuales de hogares dificultando la diversidad de vida acuática al absorber el calor y aumentar la temperatura del cuerpo de agua (UNA & Municipalidad de San José, 2013). No obstante, todas las concentraciones son bajas (menores a 10 mg/L) (Cuadro 14), lo que permite clasificarlo en la Clase 1 (Apéndice 4), característico de condiciones favorables en la calidad de los cuerpos de agua para todo el alcance establecido.

Sólidos Disueltos (SD)

En el periodo II característico de la época seca, se determinó la concentración de sólidos disueltos (SD), en la Figura 23, se presenta la tendencia para los seis puntos analizados.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 23. Comportamiento de los Sólidos Disueltos (SD)

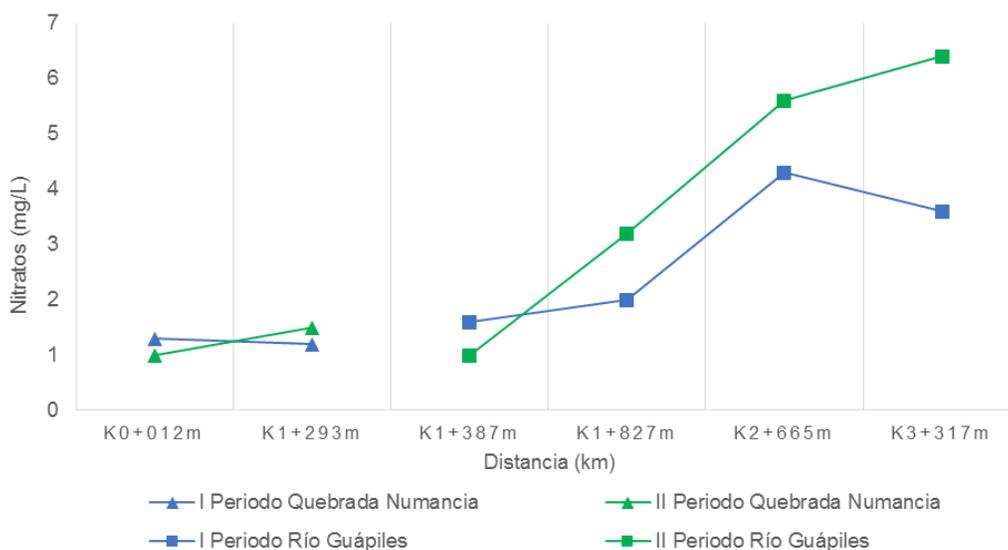
La Figura 23, el río Guápiles muestra una tendencia creciente de la concentración de sólidos disueltos conforme se avanza en el trayecto del curso del agua, siendo el valor de mayor relevancia el punto 6 con 121 mg/L (Cuadro 14), lo cual se puede deber a la presencia de

productos de la descomposición de materia orgánica, compuestos químicos, orgánicos, entre otros, acarreados de las zonas anteriores, así como de los puntos cuatro, cinco y seis donde se caracteriza por ser de mayor densidad doméstica.

Sin embargo, este parámetro cumple con una buena calidad del agua analizada, situándose en la Clase 1 (Apéndice 4) al ser estos menores a 250 mg/L del reglamento en aplicación (Cuadro 14), lo que es favorable para los organismos vivos presentes tanto en la quebrada Numancia como en el río Guápiles.

Nitrato (NO_3^-)

En la Figura 24, se presenta la tendencia de la concentración de nitrato (NO_3^-), para los dos periodos de muestreos establecidos, en los puntos de la quebrada Numancia y el río Guápiles.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 24. Comportamiento de Nitratos (NO_3^-)

Las concentraciones de nitratos (NO_3^-) (Cuadro 14), en los puntos de muestreo analizados presentan valores menores a 5 mg/L, lo que permite clasificarlos como Clase I, siendo este favorable en la calidad de agua de los cuerpos de agua en estudio; con excepción de los puntos cinco y seis en el segundo periodo de muestreo realizado (época seca), los cuales presentan concentraciones de 5,6 mg/L y 6,4 mg/L, respectivamente, lo que los sitúa como Clase II según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N° 33903-MINAE-S (Apéndice 4).

Esta situación, es indicativo de un crecimiento de nitratos conforme avanza el cuerpo de agua en estudio, lo cual podría ser generado por actividades humanas que incrementan sus niveles de contaminación en el agua, estas se pueden asociar a actividades ganaderas o urbanas (vertido de aguas residuales o de efluentes orgánicos de las explotaciones ganaderas y lixiviación de vertederos), o bien por actividades agrónomas por el uso de fertilizantes. Características de esta zona, al ser de uso domiciliario con posibilidad de sectores con ganado.

Nitrógeno Amoniacal (N-NH^{+4})

En cuanto al nitrógeno amoniacal (N-NH^{+4}) este se encuentra en valores debajo de 0,5 mg/L (Cuadro 14), lo que indica resultados favorables sobre la calidad del agua superficial. Este es considerado una prueba de contaminación reciente aunado a los parámetros de PSO y DBO, por lo que la sumatoria de puntos catalogan de los sitios de muestreo del uno al seis, correspondientes al segundo periodo de muestreo como Clase II, clasificado como color verde, con una calidad de contaminación incipiente.

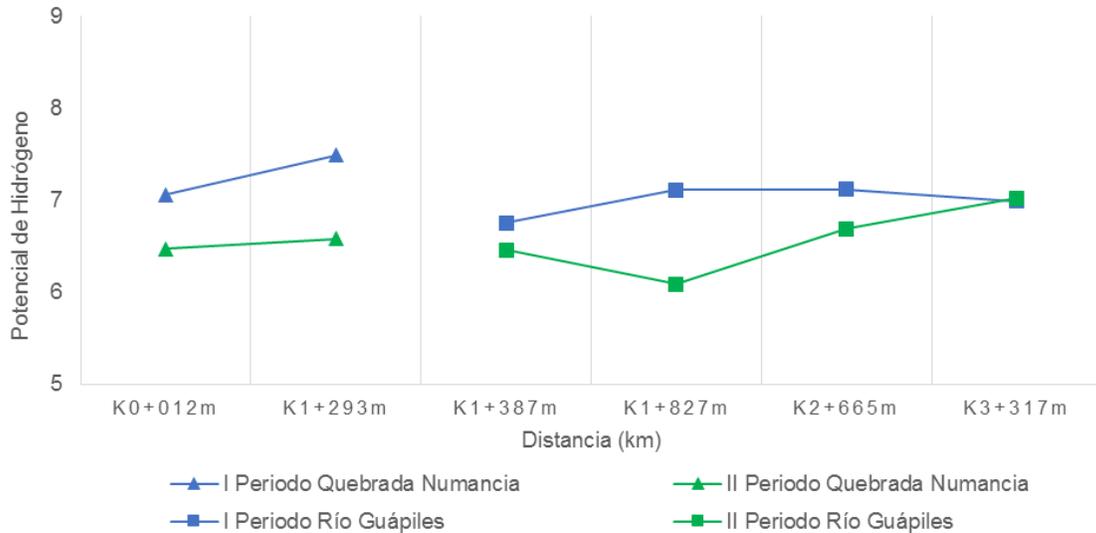
Grasas y Aceites (GyA)

Las concentraciones de grasas y aceites, resultaron para todos los puntos de muestreo, en ambos periodos (seco y lluvioso), con valores menores a 10 mg/L por lo que se puede considerar favorable la calidad del agua con respecto a este análisis, dado que el valor detectable clasificado como Clase 5 es superior a 15 mg/L (Cuadro 14 y 15).

Por lo tanto, se puede considerar que las cantidades de hidrocarburos, aceites, ceras generadas por actividades antrópicas, no se están incorporando en grandes cantidades a las aguas naturales, lo cual podría inhibir el paso de la luz y del oxígeno disuelto, por lo que actualmente se posibilita la sobrevivencia de especies acuáticas. Por ende, no se genera flotación de espumas en la superficie, lo que se verifica por la encuesta realizada donde la mayoría de las zonas no habían identificado este factor, siendo indicativo de una buena calidad de los cuerpos de agua en estudio.

Potencial de Hidrógeno (pH)

En la Figura 25, se representan los valores de pH obtenidos por medio de los análisis in situ, para los dos periodos de muestreo (época seca y lluviosa), para los seis puntos de muestreo.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

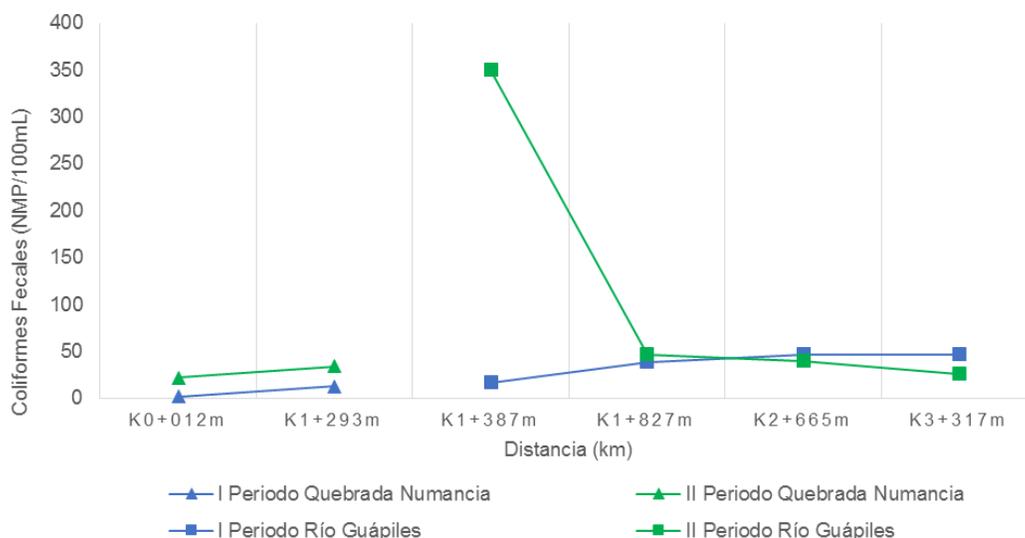
Figura 25. Comportamiento del Potencial de Hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) para los seis puntos en el primer periodo de muestreo, presenta valores aceptables dentro del rango de 6,5 a 8,5 (Figura 25); el cual es tolerable para la mayoría de los peces de agua dulce y posibilita la sobrevivencia de otros organismos como las algas. Lo que permite clasificarlos como clase 1-2. Así mismo, los puntos tres, cinco y seis del segundo muestreo (Apéndice 4).

Es importante indicar que los puntos uno, dos y cuatro, resultan con valores más bajos, siendo estos de clase 3 y presentando mayor acidez en sus aguas, en particular el punto cuatro con un $(6,09 \pm 0,03)$ (Cuadro 14), por lo que podrían presentarse efectos adversos sobre peces e insectos acuáticos, sin embargo, según Belta & Barahona (2010), no se presentan efectos letales sobre peces de aguas dulces en un ámbito de pH de 5 a 9. Por lo que se podría considerar, que, en todo su recorrido, la vida acuática no se ve afectada por este factor.

Coliformes Fecales (CF)

Por medio de los análisis realizados, se obtuvieron las concentraciones de Coliformes fecales, en la Figura 26, se representa la tendencia para los dos periodos de muestreos efectuados en la quebrada Numancia y en el río Guápiles.



Distancia	K0+012 m	K1+293 m	K1+387 m	K1+827 m	K2+665 m	K3+317 m
Punto de muestreo	1	3	2	4	5	6

Figura 26. Comportamiento de Coliformes Fecales (CF)

El comportamiento de la concentración de coliformes fecales para el primer periodo, tiende a ser creciente conforme avanzan los puntos de muestreo (Figura 26), los primeros tres sitios, reflejan una clasificación de clase 1, mientras que los puntos restantes e inclusive todo el segundo periodo, se catalogan como clase 2 según el reglamento en aplicación (Apéndice 4). Lo cual se puede deber a vertimientos directos u operación incorrecta de los tanques sépticos, aunado a los procesos de escorrentía que llegan a contaminar el cuerpo de agua. Esto es de importancia, dado que son un indicador de posibles microorganismos patógenos que pueden afectar la salud de las personas que tienen contacto con el mismo.

El punto dos se considera como el más crítico, con 350 NMP/100mL (II Periodo) (Cuadro 14), lo que puede deberse a algún vertimiento cercano en el momento de realizar el muestreo, además de este efectuarse en época seca, donde podría haber menos dilución de los contaminantes. Este punto se localiza en el río Guápiles, donde por medio del recorrido de identificación de fuentes contaminantes es una de las zonas con mayor afectación, lo que se verifica con estos resultados.

Índice BMWP-CR (Macro invertebrados Bentónicos)

Se realiza un cuadro comparativo (Cuadro 16), tomando en cuenta los dos periodos de muestreo en los seis puntos establecidos, para identificar la calidad biológica del agua por medio del Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR).

Cuadro 16. Comparación de la calidad biológica del agua (Índice BMWP-CR)

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Índice BMWP-CR	
		I Periodo	II Periodo
Quebrada Numancia	1	Excelente	Excelente
	3	Excelente	Regular
Río Guápiles	2	Excelente	Regular
	4	Mala	Regular
	5	Regular	Buena
	6	Mala	Excelente

Fuente: Bermúdez & Avilés (2019)

Según los resultados biológicos, presentados el personal del CEQIATEC, para el primer periodo de muestreo, representativo de la época lluviosa, se colectó un total de 6207 individuos, pertenecientes a 16 órdenes, 44 familias y 78 géneros, los puntos 1,2 y 3 presentan valores altos del BMWP-CR lo que indica una excelente calidad biológica del agua, en estos sitios se identificó una gran diversidad de organismos y algunos pocos tolerantes a la

contaminación. Sin embargo, en los puntos 2 y 3 se visualiza una alta cantidad de residuos sólidos, mayor concentración de hogares de menor extracto económico y comercios que pueden ser fuentes de vertimientos directos de aguas grises y residuales. Lo cual puede generar mayor contaminación orgánica, lo que se refleja en la presencia de organismos pertenecientes a la familia Chironomidae, característicos de ser muy resistentes a ambientes acuáticos contaminados y con poco oxígeno. Por otra parte, los puntos 4, 5 y 6 presentan valores bajos del índice BMWPCR, lo que indica una mala o regular calidad biológica del agua, los organismos encontrados presentan una tolerancia media a la contaminación. Lo cual concuerda con las posibles razones atribuidas anteriormente.

En cuanto al segundo periodo de muestreo (época seca), se colectó un total de 8746 individuos pertenecientes a 18 órdenes, 42 familias y 63 géneros. Los puntos 1 y 6 son los que presentan mayor cantidad de individuos y con esto una excelente calidad biológica del agua, en estos sitios se encontraron organismos poco tolerantes a la contaminación. El punto 5 se califica de buena calidad y a tan solo un punto de ser calidad excelente. Por otro lado, los puntos 2, 3 y 4 muestran menos diversidad, pero con una calidad regular, siendo abundantes las familias con tolerancia media o alta a la contaminación.

Como se puede observar en el Cuadro 16, la mayoría de los puntos muestreados mejoraron su calidad, con excepción de los puntos 2 y 3 donde disminuyó de excelente a regular. Estas diferencias se pueden deber a diversos factores como posibles cambios en el vertido de contaminantes, disminución del caudal en época seca, gran cantidad de residuos sólidos que pueden generar lixiviados que contaminen el cuerpo de agua, etc.

Sin embargo, es importante rescatar que existe una buena diversidad de macroinvertebrados acuáticos, en especial en el punto 1 de muestreo donde en ambas ocasiones presentó una

calidad excelente, por lo que se hace necesaria la conservación de la zona. Además, se evidencia que dentro algunos géneros encontrados, existen especies en peligro de extinción según la lista roja de la UICN, (géneros del orden Odonata), por lo que se presenta una alta riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos.

5.3 PRIORIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Se identificó un total de 82 vertimientos para el río Guápiles, y 8 vertimientos para la quebrada Numancia, dentro de los cuales hay puntos de alcantarillado pluvial, aguas negras, aguas grises, aguas especiales con altos contenidos de aceites provenientes de lugares comerciales. En el Cuadro 17, se especifica el número de muestreo, la distancia a la que se encuentra partiendo de la ruta 32 hasta barrio Las Palmas y una pequeña descripción sobre el tipo de vertimiento identificado.

Cuadro 17. Puntos de vertimiento identificados en los cuerpos de agua en estudio

Río Guápiles					
Punto	Distancia (km)	Descripción	Punto	Distancia (km)	Descripción
1	0,02	Alcantarilla sale edificaciones Hotel Talamanca	46	1,77	Vertimientos de aguas de comercio
4	0,57	Alcantarilla aguas de lubricentro Auto Rápido	47	1,78	Vertimientos de aguas de comercio
9	0,96	Posible alcantarillado pluvial, cercano a plaza	48	1,80	Vertimiento casa
10	0,98	Vertimiento comercio cerca de Plaza	49	1,80	Vertimiento casa
11	1,00	Vertimiento de casa	50	1,80	Vertimiento casa
12	1,00	Vertimiento zona comercial cercano a Plaza	51	1,80	Vertimiento casa
13	1,01	Vertimiento zona comercial cercano a Plaza	52	1,80	Alcantarillado pluvial, se evidencia vertimiento de aguas grises

Río Guápiles					
Punto	Distancia (km)	Descripción	Punto	Distancia (km)	Descripción
14	1,02	Posible drenaje de aguas, contacto con el río	53	1,80	Vertimientos de aguas de casa o comercio
15	1,03	Vertimiento casa	54	1,81	Vertimientos de aguas de casa o comercio
16	1,03	Vertimiento casa	55	1,81	Vertimientos de aguas de casa o comercio
17	1,04	Vertimiento casa	56	1,82	Vertimientos de aguas de casa o comercio
18	1,06	Vertimiento casa	57	1,83	Vertimientos de aguas de casa o comercio
19	1,07	Vertimiento casa	58	1,83	Vertimiento casa
20	1,09	Vertimiento residual de casa agua	59	1,83	Vertimiento casa
21	1,12	Vertimiento comercio/casa	60	1,84	Vertimiento casa
22	1,14	Vertimiento casa	61	1,84	Vertimiento casa
23	1,17	Vertimiento casa/comercio	62	1,87	Vertimiento casa
24	1,19	Vertimiento casa	63	1,88	Aparente salida de agua pluvial
25	1,29	Alcantarillado pluvial, aguas grises	64	1,88	Vertimientos de aguas de casa
26	1,34	Tanque escondido casa/comercio	65	1,89	Evidencia de aceites en el río
27	1,35	Vertimiento comercio	66	1,89	Alcantarillado pluvial
28	1,35	Vertimiento comercio	67	1,90	Vertimientos de aguas de casa
29	1,37	Vertimiento comercio	68	1,91	Vertimiento casa
30	1,38	Alcantarillado pluvial, recolecta aguas grises	69	1,92	Vertimiento casa
31	1,44	Vertimiento comercial	70	1,93	Posible alcantarillado pluvial, se identifica la presencia de aguas grises
32	1,45	Vertimiento comercio	71	1,94	Vertimiento casa
29	1,37	Vertimiento comercio	72	1,94	Vertimiento comercio

Río Guápiles					
Punto	Distancia (km)	Descripción	Punto	Distancia (km)	Descripción
30	1,38	Alcantarillado pluvial, recolecta aguas grises	73	1,94	Vertimiento comercio
31	1,44	Vertimiento comercial	74	1,95	Vertimiento casa
32	1,45	Vertimiento comercio	75	1,95	Vertimientos de aguas de casa o comercio
33	1,47	Vertimiento casa/comercio	76	1,97	Alcantarillado pluvial, se identifica la presencia de aguas grises
34	1,51	Vertimiento con alcantarilla, puede ser casa	77	2,04	Vertimiento casa
35	1,66	Vertimiento casa	78	2,15	Vertimiento casa
36	1,67	Vertimiento casa	79	2,22	Vertimiento casa
37	1,69	Vertimientos de aguas de comercio	80	2,45	Vertimiento casa
38	1,69	Vertimientos de aguas de casa. Se identifican aguas negras y malos olores.	81	2,47	Vertimiento casa
39	1,70	Vertimientos de aguas de casa. Se identifican aguas negras y malos olores.	82	2,63	Vertimiento casa
40	1,70	Vertimientos de aguas de casa. Se identifican aguas negras y malos olores.	83	2,64	Vertimiento casa
41	1,71	Vertimientos de aguas de casa. Se identifican aguas negras y malos olores.	84	2,73	Vertimiento casa
42	1,71	Vertimiento casa	85	2,74	Vertimiento casa
43	1,74	Vertimientos de aguas de comercio	86	2,74	Alcantarillado pluvial, se identifica la presencia de aguas grises
44	1,76	Vertimientos de aguas de comercio	87	2,87	Vertimiento casa

Río Guápiles					
Punto	Distancia (km)	Descripción	Punto	Distancia (km)	Descripción
45	1,77	Vertimientos de aguas de comercio	88	3,29	Vertimiento casa
Quebrada Numancia					
1	0,24	Alcantarillado pluvial	8	1,34	Vertimiento aguas casa
2	0,29	Vertimiento de aguas grises y restos de comida chicharronera el rubio	9	1,36	Vertimiento aguas casa o comercio
3	0,54	Vertimiento aguas grises y aceites comercio Auto Transporte Guapileños	10	1,47	Vertimiento aguas casa
7	1,27	Alcantarillado pluvial, presencia de aguas grises de comercios	11	1,51	Vertimiento aguas casa o comercio

En la Figura 27, se presentan los vertimientos identificados en la quebrada Numancia y en el río Guápiles, subdividido en las secciones Alta, Media, Baja y 7. Además, se muestra la distribución porcentual de cada sección, con base al total de puntos de vertimiento determinados.

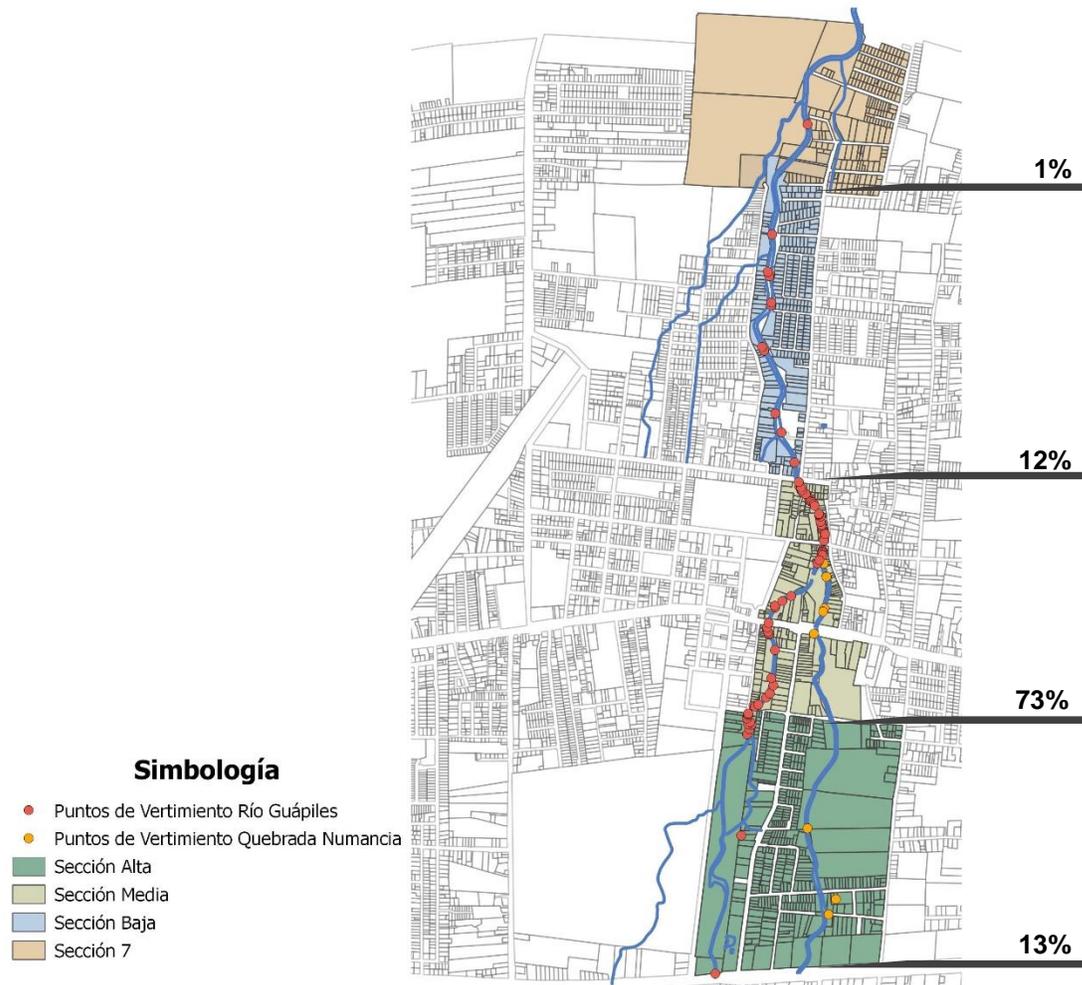


Figura 277. Representación de los puntos de vertimiento

Como se puede observar en la Figura 27, la zona con mayor afectación por los vertimientos de aguas es la sección media, con un 73% de casos encontrados, siendo esta la zona de mayor interés y de pronta intervención. Esta zona se caracteriza por ser una combinación entre viviendas y comercios, dentro de los cuales se identificó visualmente el vertimiento de aguas negras, salidas directas de aguas grises y alcantarillado pluvial que acarrea aguas grises, además de la constante presencia de residuos sólidos y percepción de malos olores, lo que en conjunto afecta el nivel de calidad del cuerpo de agua y concuerda con los resultados de los análisis físico-químicos realizados, donde la mayoría de los parámetros representan un

deterioro y un aumento en la carga de coliformes, desde los puntos 2 (río Guápiles) y 3 (quebrada Numancia) hasta el punto 4 (unión río Guápiles) (Cuadro 14).

Específicamente, se identifican los puntos del 38 al 41, los cuales vierten aguas negras, al encontrarse residuos de excretas saliendo de los tubos que caen directamente al cuerpo de agua, generando mayores cargas orgánicas y aumentos en el grupo coliformes, es decir, hay un incremento porcentual de hasta 175% en río Guápiles y de 298% quebrada Numancia medidos en el punto 4 de muestreo, con respecto al punto anterior.

La sección alta, es la segunda con mayor afectación (13%), en esta se contemplan los dos cuerpos de agua por separados, es decir se identificaron 15 puntos de vertimiento en el río Guápiles y 3 puntos para la quebrada Numancia, dentro de los cuales es de atención, el punto enumerado como 2, perteneciente a un restaurante (Chicharronera el Rubio) donde se identificó visualmente, la presencia de restos de comida, aceites de cocina, etc., por lo que evidentemente no se tratan estos residuos y son enviados directamente al cuerpo de agua generando mayor carga orgánica, capas de grasas que dificultan la vida de los organismos y posible contaminación por los productos de limpieza utilizados. Además, se identificó un vertimiento con fuertes olores de aceites y productos relacionados en el uso de vehículos, el cual provenía de un comercio (Auto Transporte Caribeños), el cual causa una fuerte afectación al cuerpo de agua de manera similar al anterior, generándose capas superficiales por los aceites y demás productos contaminantes. El resto de puntos identificados, no dejan de ser alarmantes, ya que de igual manera son incorporados al cuerpo de agua y generan altas cargas orgánicas que disminuyen la calidad del mismo.

Posteriormente, la sección baja presenta una menor cantidad de puntos de vertido 11 lo que representa un 12% del total, estos se caracterizan por provenir en su mayoría de viviendas o

el constante acarreo de las aguas grises por medio de las alcantarillas destinadas al agua pluvial. El problema de las aguas sigue siendo el mismo, pero empieza a verse una disminución en la cantidad de vertimientos en esta zona y la sección 7 donde se presenta solamente un 1% de vertimiento.

Es importante mencionar, que a pesar de que hay una disminución de esta situación en la zona, la problemática ambiental no es exclusiva, y se identificaron pequeñas secciones destinadas al depósito de residuos sólidos como sillones, televisores, partes de electrodomésticos, llantas, etc., que de manera análoga disminuyen la calidad del cuerpo de agua y su entorno. Además, de ser fuente de vectores que proliferan enfermedades y ponen en riesgo la salud pública de los vecinos de la zona. A pesar de que se identificó de manera mayoritaria en esta sección, no es un caso único, dado que en todo el recorrido de la cuenca se han identificado cantidades considerables de residuos similares, como se evidencia en la Figura 28.



Figura 288. Presencia de residuos sólidos en la cuenca y sus riberas

Con esto, se puede inferir que la cuenca con mayor afectación es el río Guápiles al contemplarse 30 puntos de vertimiento y 8 puntos de vertimiento en quebrada Numancia, hasta la sección de la unión de ambos cuerpos de agua.

Además, se logró medir el caudal de dos fuentes de vertimiento de aguas, ambas en secciones del río Guápiles, la primera enumerada como 21, proveniente de una casa o comercio, resultó en 0,075 L/s, el segundo punto de medición fue el numerado como 30, siendo este un alcantarillado pluvial con posible arrastre de aguas grises con un caudal de 1,80 L/s. Es importante mencionar que dichas mediciones se realizaron en época seca por lo que se podría inferir que las aguas provienen de viviendas o comercios.

5.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Con el fin de hacer un análisis de toda la información antes presentada, se aúnan los resultados físico-químicos y biológicos de los dos muestreos, la percepción de la población con base a las preguntas más significativas contempladas en la encuesta y la cantidad de vertimientos tanto en el río Guápiles como en la quebrada Numancia, partiendo de la ruta 32 hasta la sección 7.

Primeramente, la calidad de los análisis físico-químicos según el Índice Holandés, no muestra variaciones entre los puntos de muestreo para cada periodo, es decir, todos los puntos analizados en el primer periodo son de clase 1 sin contaminación, y todos los puntos del segundo periodo son de clase 2 contaminación incipiente. Lo que difiere de los resultados obtenidos según el índice Biológico, donde durante el primer periodo de muestreo disminuye la calidad del cuerpo de agua a partir del punto cuatro, mostrando fluctuantes variaciones en el segundo periodo donde los puntos 1 y 6 son los de calidad excelente y los que se encuentran en la sección media y baja son de menor calidad, generando una perspectiva más certera con la realidad.

Por ende, se deben de considerar todas las variables que influyen los cuerpos de agua en estudio, es decir, según la visión de la población obtenida en las encuestas, existe la percepción de factores organolépticos provenientes del cuerpo de agua, no se le da un mantenimiento adecuado a los sistemas mayoritarios de tratamiento como tanques sépticos, sus aguas grises son vertidas al alcantarillado pluvial y este se anexa en distintos puntos al río Guápiles. Además, se identifican una cantidad de vertimientos y presencia de residuos sólidos, los cuales afectan en distinta medida los cuerpos de agua. Lo que no se ve reflejado si se considera solamente los resultados del Índice Holandés.

Por lo tanto, se hace necesario, también considerar los parámetros complementarios, a pesar de estos variar entre ellos y no tener una tendencia general. Hay indicativos como Coliformes Fecales, los cuales muestran un aumento en zonas de mayor afectación considerando las variables antes mencionadas y concuerda con la cantidad de vertimientos antes mencionados.

De esta manera, se evidencia la necesidad de un análisis de distintas variables, para determinar la calidad de las aguas superficiales, dado que se evidencia, que solamente la aplicación del Reglamento de Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, en específico el índice Holandés y los posibles usos atribuidos a este, no muestran realmente el alcance de contaminación real y las propiedades del sitio estudiado.

Como se puede observar en las Figuras 29 y 30, en las zonas de relación directa con los cuerpos de agua en estudio, se visualiza, como los parámetros físico-químicos y biológicos, para el primer periodo indican en su mayoría una calidad relativamente buena, al ser la mayoría clasificados como clase 1 (azul), con algunas disminuciones al pasar hasta clase 3 (amarillo). Presentando un escenario menos favorable donde otros parámetros disminuyen su calidad como el porcentaje de saturación de oxígeno, nitrógeno amoniacal, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales.

Al relacionar la información obtenida, distintas variables indican que la sección media es la que se ha visto más influenciada por actividades antropogénica. En específico, el cuerpo de agua correspondiente al río Guápiles, presenta la mayor cantidad de vertimientos identificados (61), y los parámetros físico-químicos analizados, reflejan disminución en su calidad, por ejemplo: al presentarse mayores aportes de materia orgánica, se refleja un incremento en DBO de 0,6 mg/L, por lo que se verifica que hay mayor presencia de materia orgánica que es degradada bioquímicamente, aunado a esto, el nivel de oxígeno disuelto (OD)

disminuye en un 3,9% (época seca), afectando en cierta medida los procesos químicos y biológicos que ocurren en el agua. Además, el punto cuatro presenta el menor valor de PSO, lo que se puede deber al arrastre de aguas residuales provenientes de esta zona media (punto 2 y 3). También, los puntos de la zona media y el cuatro perteneciente al inicio de la zona Baja, presentan un aumento en la cantidad de coliformes fecales, reflejo de la cantidad de vertimientos en los cuerpos de agua. Seguido a esta se le da prioridad de intervención a la zona Baja, Alta y sección 7.

Además, hay una relación de las respuestas proporcionadas por la encuesta, con respecto a los factores identificados en el cauce, por ejemplo: en la sección Alta y sobre todo Media, se han presenciado espumas, olores y colores no característicos del río, en mayor cantidad. Lo que se puede deber a la cantidad de vertimientos en esta zona y el acarreo de las aguas en la parte alta como se mencionó anteriormente con la presencia de sitios como lubricentros, estaciones de buses, gasolineras, etc. Sin embargo, muchas de las respuestas obtenidas en la encuesta, engloban problemáticas de la totalidad de las zonas en estudio y no específicas de su sección.

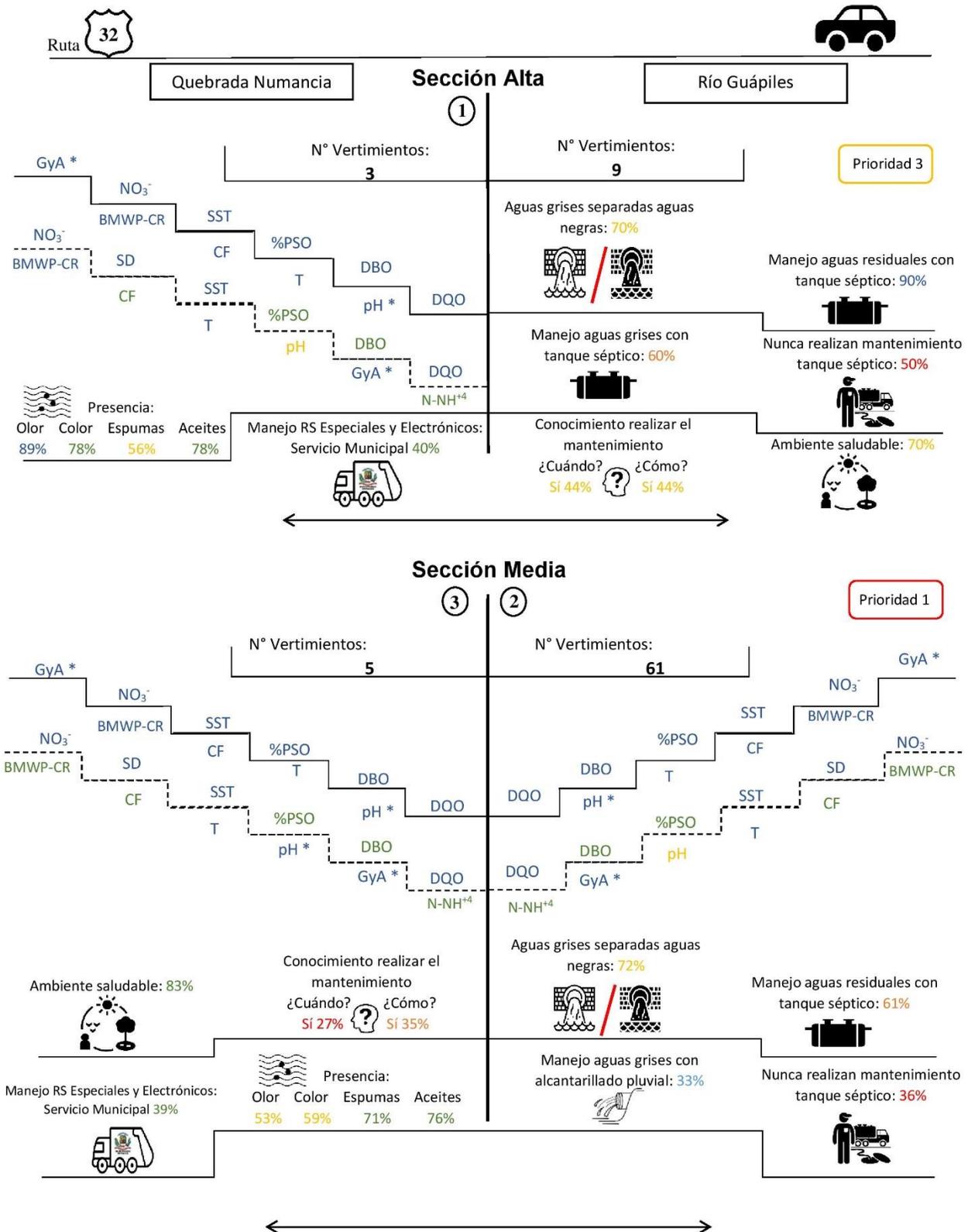


Figura 2929. Recopilación de información para sección Alta y Media

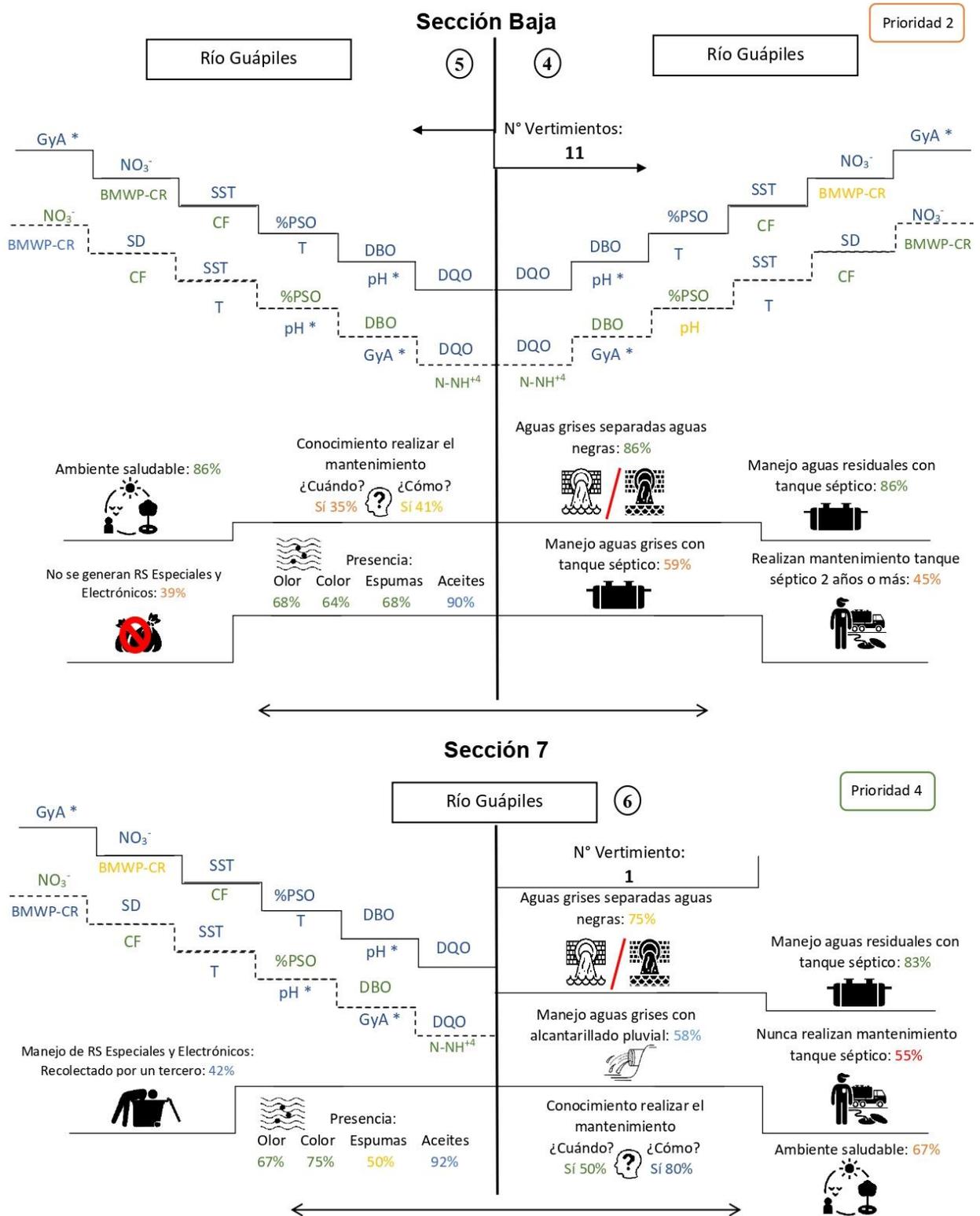


Figura 300. Recopilación de información para la sección Baja y 7

5.5 ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN

Por medio de la caracterización realizada en la quebrada Numancia y el río Guápiles, a través de análisis físico-químicos y biológicos, se pudo determinar la calidad de dichos cuerpos de agua, aunado a esto, la identificación y priorización de las fuentes de contaminación, permitió determinar las zonas que se encuentran más afectadas por las actividades antropogénicas. La mayoría de estas fuentes, son atribuidas a vertimientos de aguas residuales (aguas negras), vertimientos de aguas grises y presencia de residuos sólidos.

Para lograr una mejor calidad en estos cuerpos de agua, y mitigar o evitar deterioros en su condición actual (parcialmente buena), es necesario implementar una serie de estrategias, las cuales se pueden desarrollar de forma individual, sin embargo, estos problemas se abarcan de una mejor manera al verse complementariamente, es decir se pueden ejecutar con la visión de una gestión integral, la cual debe abarcar el saneamiento de las aguas servidas, mediante distintos ejes a evaluar y tratar para la toma de decisiones como lo son: social, económico, ambiental, demográfico y territorial, de manera que se logre mantener y mejorar la calidad de los cuerpos de agua y su entorno.

La evaluación e implementación de las posibles medidas, requiere del interés y desarrollo por parte de la Municipalidad de Pococí, con la posible contribución de instituciones relacionadas como el Ministerio de Salud (MS), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), comités cantonales, autoridades locales, empresas del sector privado, organizaciones de la comunidad y ciudadanos. Con un organismo central, quien esté a cargo

de coordinar las acciones y lograr un consenso sobre los responsables de cada proyecto, lugar y periodo de cumplimiento (Herrera, 2017).

Es importante contemplar, que parte de la disminución de los niveles de contaminación, se llevan a cabo desde la fuente, es decir, se debe incentivar a adoptar medidas organizativas y operativas que disminuyan la cantidad del efluente, la peligrosidad de ciertos productos y los contaminantes generados, no solamente aplicar aquellas medidas de remediación una vez que ya se haya producido cierto nivel de afectación al cuerpo de agua.

Además, se deben tomar medidas que contribuyan a la disminución de la producción de aguas residuales, como, por ejemplo, la reutilización de aguas grises, dado que, un mismo volumen de agua se utiliza en más de una actividad doméstica, disminuyendo así su caudal de vertimiento. También, un punto importante a considerar, es el problema de escorrentía presentado en época lluviosa, ante esto, se deben considerar estrategias que reduzcan las fuentes potenciales de contaminantes y eviten parcialmente el tránsito de escorrentías hacia aguas abajo y su efecto contaminante (Zambrano, 2010).

El Cuadro 18, presenta una lista de los problemas identificados, las posibles estrategias y acciones anexas para optar por el bienestar de los cuerpos de agua y su entorno.

Cuadro 18. Propuesta de estrategias para la recuperación de la cuenca

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
<p>Vertimientos directos de aguas residuales (aguas negras).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imputar a los encargados de los vertimientos identificados. 2. Identificación del tipo de aguas vertidas. 3. Mejoras de tratamiento a los sistemas actuales. 4. Investigación sobre la disposición de aguas residuales existentes. 5. Complemento de educación sanitaria ambiental. 6. Promoción y aplicación del programa SANEBAR del Ministerio de Salud. 7. Desarrollo de un programa de saneamiento ambiental por parte de la Municipalidad de Pococí. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Presentar ante el Ministerio de Salud las evidencias y realizar el proceso para tomar las acciones respectivas sobre estos casos. 2.1 Realizar análisis físico-químicos puntuales en las zonas de interés. 3.1 Constatar la utilización adecuada de los sistemas de decantación habituales como tanques sépticos y tanques Imhoff, u otros según el tipo de agua a tratar (Suárez, Jácome, Del Río, Torres, & Ures, 2012). 3.2 Promover tratamientos secundarios como humedales artificiales los cuales muestran altas tasas de remoción con el tiempo suficiente de retención, no presenta producción de malos olores, mosquitos ni lodos, lo que facilita su operación y mantenimiento (Zambrano, 2010). 4.1 Inventario de los sistemas de recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales (ordinarios y especiales). 4.2 Evaluación de la construcción de tanques sépticos. 5.1 Realizar charlas y talleres con la municipalidad, comunidades, comercio y escuelas, donde se abarque el nivel de afectación de estos vertimientos y su importancia para la conservación de la calidad de los cuerpos de agua. 5.2 Programa de divulgación con temática de un manejo adecuado de las aguas residuales. 5.3 Definir políticas en el manejo adecuado de aguas residuales (Astorga, 2013).

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<p>6.1 Dar conocimiento e incentivar a las familias para aplicar al programa SANEBAR del Ministerio de Salud, con el fin de ayudar aquellas familias que no cuentan con los recursos necesarios para la instalación de saneamiento básico.</p> <p>7.1 Evaluar, desarrollar e implementar un programa de ayuda social que involucre la instalación y capacitación de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales, para aquellas viviendas que presenten situación de pobreza y no cuenten con un sistema básico de saneamiento ambiental.</p>
Vertimientos directos de aguas grises.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disminución de la concentración de cargas contaminantes. 2. Eliminación de vertidos al alcantarillado pluvial. 3. Tecnologías que permitan remoción de contaminantes físicos y biológicos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Incentivar a la utilización de productos de limpieza biodegradables. 2.1 Implementar sistemas de drenajes u otras alternativas. 2.2 Establecimiento de zonas restringidas para uso de sistemas de drenaje (AyA, 2009). 2.3 Realizar un diagnóstico de la construcción del drenaje. 3.1 Promover la utilización de drenajes con filtración en arena y sistemas de humedales (Zambrano, 2010).
Vertimiento de aguas grises en alcantarillado pluvial.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promoción de alternativas para correcto manejo o reutilización de aguas grises. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Determinar la concentración de contaminantes de aguas grises para evaluar su posibilidad de reutilización y tratamiento, por medio de parámetros como: pH, sólidos suspendidos totales, DBO, turbidez, coliformes totales, coliformes fecales, amoniacos, fósforo, cloro residual, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total y detergentes) (Suárez et al., 2012).

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<p>1.2 Evaluar criterios para el reciclaje de aguas grises como: seguridad higiénico-sanitaria, tolerancia ambiental y viabilidad económica (Suárez et al., 2012).</p> <p>1.3 Incentivar la reutilización de aguas grises en el sector residencial en cisternas de inodoros, riego de jardines, limpieza de suelos y lavadoras (Suárez et al., 2012).</p> <p>1.4 Incentivar el aprovechamiento en el sector público: riego de zonas verdes urbanas, baldeo de pavimentos (Suárez et al., 2012).</p> <p>1.5 Realizar charlas sobre drenaje, biojardineras y otros sistemas para el manejo de las aguas jabonosas.</p>
Tanques sépticos ineficientes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento periódico al tanque séptico. 2. Concientización sobre la importancia del adecuado mantenimiento de los tanques sépticos. 3. Capacitación a las personas sobre cuándo y cómo realizar este mantenimiento. 4. Tratamientos adecuados de lodos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Incentivar para que cada persona a cargo, realice evaluaciones del nivel de lodos y efectúe la limpieza del tanque séptico por medio de algún proveedor autorizado por el Ministerio de Salud. 2.1 Realizar charlas y talleres sobre la importancia, consecuencias y promoción a realizar un mantenimiento adecuado para disminuir las cargas contaminantes que se puedan generar. 3.1 Desarrollar talleres sobre la evaluación de la cantidad de lodos en el tanque y maneras de realizar dicha limpieza, apoyados de un material gráfico (instructivo). 4.1 Dar seguimiento a quienes recolectan y depositan los sólidos en la zona, de manera que se garantice un adecuado manejo por medio de rellenos sanitarios o para el acondicionamiento en suelos, con previa realización de análisis de laboratorio.

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
Escorrentía de aguas contaminadas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestión de aguas pluviales por distintas medidas para evitar escorrentías. 2. Educación en temática del control de impermeabilización. 3. Reducción del uso de contaminantes. 4. Aumentar la limpieza de calles. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Incentivar y aplicar medidas estructurales como: humedales, cubiertas verdes, sistemas de detención, lagunas, lagunas de retención, tanques de sedimentación, drenes filtrantes, superficies permeables, pavimentos porosos, zanjas de infiltración, zanjas verdes (Zambrano, 2010). 1.2. Desarrollar medidas no estructurales como: Control de impermeabilización de áreas de desarrollo, educación reducción del uso de contaminantes, limpieza de calles (Zambrano, 2010). 2.1. Concientizar a la población del problema y sus soluciones. 2.2. Identificar agentes implicados y esfuerzos realizados hasta la fecha. 2.3. Incentivar cambio de hábitos. 2.4. Hacer partícipe del proceso a la población, integrando sus comentarios en la implementación de los programas (Zambrano, 2010). 3.1. Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines (Zambrano, 2010). 4.1. Limpiar frecuentemente las superficies impermeables para reducir la acumulación de contaminantes (Zambrano, 2010).
Sequía de quebrada Numancia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Restauración de ecosistemas ribereños. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Realizar campañas de reforestación en las laderas de la cuenca.

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
Altos consumos de agua potable.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aprovechamiento de agua de lluvia. 2. Programas de incentivos. 3. Promoción de implementación de aparatos de bajo consumo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Implementar un sistema de captación de aguas lluvia para la descarga de los servicios sanitarios, en aseo del hogar, lavado de autos y lavado de ropa. 1.2. Desarrollar programas incentivos sobre la utilización de tecnologías ahorradoras de agua o bien medidas dirigidas a mejorar la eficiencia del sistema de distribución evitando fugas o tomas ilegales (Zambrano, 2010). 1.3. Implementar aparatos de bajo consumo como: griferías con aireadores, griferías en lavaplatos, griferías en lavamanos, baterías sanitarias bajo consumo, de doble descarga y saneamiento seco (Zambrano, 2010).
Presencia de residuos sólidos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Restauración de laderas de las cuencas. 2. Complemento de educación sobre la gestión de los residuos sólidos. 3. Complemento del ordenamiento organizacional. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Identificar el tipo de residuos sólidos presentes en la zona. 1.2 Rastrear de la fuente de los residuos depositados y responsables. 1.3 Realizar campañas de voluntariado para la recolección de residuos. 1.4 Ampliar el programa de divulgación sobre el programa de gestión integral de residuos sólidos. 1.5 Colocar contenedores para recolección de residuos sólidos cerca de las zonas de influencia. 2.1 Continuar con la educación ambiental, enfocada en el correcto manejo de los residuos y dando relevancia a zonas cercanas a los cuerpos de aguas. 3.1 Conformar comités para el resguardo, seguimiento y gestión de los residuos sólidos a la orilla del río.

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
Programa de Educación Ambiental.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa del uso racional del agua potable. 2. Programa de gestión de cuencas. 3. Educación ambiental al sector institucional. 4. Educación ambiental a la ciudadanía. 5. Sensibilización sobre la escasez del recurso. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Realizar charlas y talleres sobre la temática de uso racional del agua, su importancia y alternativas, para suplir las necesidades e impacto en época seca. 2.1 Llevar acabo foros y giras de observación, donde se contemplen los distintos aspectos para un correcto dimensionamiento del estado de la cuenca, factores que le afectan y así desarrollar evaluaciones sobre las decisiones a tomar para el desarrollo de un programa integral para la gestión de los cuerpos de agua. 3.1 Realizar eventos de sensibilización a nivel gubernamental, sobre la relación existente entre la calidad del agua en el río y el desarrollo de la región (Macías & Díaz, 2010). 4.1 Incentivar el reconocimiento del ecosistema hídrico como parte del desarrollo y bienestar local (Macías & Díaz, 2010). 4.2 Utilizar medios de comunicación masivos informando sobre las acciones que cada ciudadano puede implementar para contribuir con las soluciones (Macías & Díaz, 2010). 4.3 Crear espacios de participación o discusión donde el tema de la contaminación del río donde se trate tanto en sus fuentes, como en las alternativas de solución. 5.1 Realizar campañas educativas e informativas sobre la escasez del recurso.
Carencia de monitoreo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistemas de indicadores. 2. Formación de comités. 3. Gestionar financiamientos. 4. Programa de capacitaciones. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 Generar una base para la evaluación del progreso (inventarios del uso del suelo, ecosistemas, disponibilidad y demanda actual del agua, seguimiento de fuentes de vertimientos).

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
	5. Labores de monitoreo.	<p>1.2 Indicadores que midan la calidad del servicio como: cobertura con tanque séptico, cumplimiento de normas de vertidos y capacidad instalada para tratamiento de lodos sépticos (AyA, 2007).</p> <p>1.3 Indicadores ambientales: porcentaje de disminución de la demanda de agua potable, porcentajes de remoción de DBO y de SST para medir el impacto por cargas contaminantes removidas o que se evita que se descarguen a cuerpos de agua, por año (AyA, 2016).</p> <p>1.4 Evaluación de Indicadores económicos: costos de inversión inicial de infraestructura externa y costos de inversión inicial, operación y mantenimiento de redes internas (Zambrano, 2010).</p> <p>1.5 Evaluación de indicador técnico: nivel de complejidad (Zambrano, 2010).</p> <p>1.6 Evaluación de indicadores social: Apoyo institucional y aceptación social (Zambrano, 2010).</p> <p>2.1 Organizar grupos de personas interesadas en el bienestar ambiental para formar un comité que permita la planificación de acciones y resguardo de la cuenca.</p> <p>3.1 Buscar instituciones, organizaciones o empresas colindantes a los cuerpos de agua, interesadas en brindar un apoyo económico para los proyectos a desarrollar por el bienestar de la cuenca.</p>

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<p>4.1 Planificar una serie de capacitaciones para el comité de protección de la cuenca y motivar constantemente su interés por el mismo.</p> <p>5.1 Realizar periódicamente muestreos de calidad de las aguas tanto por secciones de la cuenca, como a los puntos de vertimiento directo identificados.</p> <p>5.2 Formulación e implementación de un plan de mitigación a estos problemas.</p>
Incumplimientos de ordenamiento territorial.	1. Control sobre construcciones en los linderos del río.	1.1 Efectuar seguimientos y los procesos correspondientes sobre nuevas construcciones que irrespeten los 15 o 10 metros horizontales establecidos en el artículo 33 de la Ley Forestal N° 7575.
Carencia Plan Gestión de la Cuenca.	1. Desarrollar un programa gestión integral del recurso hídrico (GIRH).	<p>1.1. Desarrollar un plan de gestión el cual involucre distintos ejes como:</p> <p>1.1.1. Plan de trabajo (Cap-Net & Global Water Partnership, 2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> -Generación de conciencia en la población. -Participación de los interesados. -Compromisos políticos. <p>1.1.2 Análisis de la situación:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Problemas actuales. -Situación actual de los planes de gestión. -Identificación de metas. <p>1.1.3 Elección de estrategias:</p>

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<ul style="list-style-type: none"> -Priorización de objetivos. -Selección de estrategia. 1.1.4 Elaboración del plan GIRH: <ul style="list-style-type: none"> -Borrador de la estrategia. -Aprobación por parte de los políticos y partes interesadas. 1.1.5 Implementación: <ul style="list-style-type: none"> -Acciones legales, instituciones y de gestión. -Desarrollo de capacidades. 1.1.6 Evaluación: <ul style="list-style-type: none"> -Evaluación del proceso. -Revisión del plan. 1.1.7 Implementación: <ul style="list-style-type: none"> -Compromiso gubernamental. -Creación del equipo de trabajo. -Desarrollo de los proyectos.
Inexistencia de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento municipal.	1. Programa basado en la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales (PNSAR).	<p>1.1. Desarrollar el análisis de cada uno de los ejes y acciones estratégicas contemplados en el PNSAR y que se adapten a las necesidades y posibilidades del distrito, como lo son (AyA, 2016):</p> <p>1.1.1. Fortalecimiento institucional y normativo para el saneamiento de aguas:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Coordinación y fortalecimiento de las instituciones y sector. -Revisión al marco normativo actual en saneamiento para el manejo seguro de las aguas residuales. -Formación y capacitación de personal técnico.

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<p>1.1.2 Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Instrumentos tecnológicos para el manejo seguro de las aguas residuales. -Sistema de vigilancia interinstitucional de entes generadores de aguas residuales. <p>1.1.3 Infraestructura e inversiones en saneamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Infraestructura de saneamiento. -Sistema de vigilancia efectivo en la construcción de los sistemas de recolección y tratamiento, tanto individual como colectivo. <p>1.1.4 Sostenibilidad financiera y modelo tarifario. Indicadores de gestión, instituciones y período de ejecución:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alianzas público-privadas. -Modelo tarifario de recuperación de costos. -Cobro por otros servicios. -Dinamización del modelo de financiamiento. <p>1.1.5 Participación ciudadana:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Generación de cultura para el manejo adecuado de las aguas residuales. -Producción más limpia y buenas prácticas productivas. -Desarrollo académico para el apoyo en saneamiento. <p>1.1.6 Mecanismos de seguimiento y control:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Informes financieros. -Programas de MEP y Universidades en temas de saneamiento.

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<ul style="list-style-type: none"> -Acuerdos Voluntarios de Producción Más Limpia (AVP+L). -Reportes Operacionales de Aguas Residuales. -Adaptación del Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Aguas Superficiales.
Ausencia de ordenamiento organizacional.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir los actores en los proyectos, así como responsables sobre actividades, sitios y plazos. 2. Monitoreo del trabajo realizado. 3. Coordinación del comité a cargo. 4. Protección de microcuencas y laderas. 5. Participación PBAE- categoría microcuencas. 6. Sistema de incentivos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. Desarrollar acuerdos colectivamente consensuados que involucren a las partes interesadas a nivel de comunidades o secciones, y designar responsables neutrales de las políticas gubernamentales sobre el agua en el ámbito de la toma de decisiones (GWP & INBO, 2009). 1.2. Monitorear los resultados de la planificación y las políticas a través de auditorías focalizadas en el agua (GWP & INBO, 2009). 1.3. Aplicar sanciones. 1.4. Aplicar mecanismos de resolución de conflictos (GWP & INBO, 2009). 1.5. Fomentar la eficiencia en el uso del agua a través de mecanismos normativos y no normativos, que velen por mejorar la eficiencia en zonas secas y de riesgo (GWP & INBO, 2009). 1.6. Eventos de sensibilización de la relación río con sus representados (GWP & INBO, 2009). 2.1. Generar un sistema de informes y rendición de cuentas. 3.1. Establecer directrices para la coordinación (quién está involucrado), sea esta vinculante u optativa (lo que puede

Problemas identificados	Estrategias Potenciales	Acciones adyacentes
		<p>hacer) y las bases para la participación (leyes, políticas, acuerdos informales) (GWP & INBO, 2009).</p> <p>3.2 Dar curso a acciones integradas que aborden conjuntamente los problemas en materia de recursos naturales en la cuenca (GWP & INBO, 2009).</p> <p>3.3 Garantizar que los procedimientos de planificación para la cuenca en general equilibren las necesidades de todos los usuarios, mejoren la calidad del agua, brinden protección contra peligros relacionados con el recurso, garanticen el consenso sobre compromisos asumidos dentro de la cuenca, y monitoreen los acuerdos (GWP & INBO, 2009).</p> <p>4.1 Coordinar con fuerza pública, el comité a cargo y otras entidades sobre el cumplimiento de las políticas establecidas y sanciones aquellas personas que continúen afectando la calidad de la cuenca y su entorno, con respecto a los tres problemas principales: aguas negras, grises y residuos sólidos.</p> <p>5.1 Implementar acciones que contribuyan a la protección del recurso según los parámetros evaluados en el PBAE.</p> <p>6.1 Desarrollar una serie de reconocimientos o certificados de valor ambiental y actividades productivas que implementan buenas prácticas ambientales en sus negocios, asociaciones e instituciones, de manera que colaboren con el bienestar de la cuenca y su entorno.</p>

6. CONCLUSIONES

- La caracterización de la calidad de los cuerpos de agua en estudio, no se define solamente por la clasificación obtenida por el Reglamento de Evaluación y Clasificación de Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, sino que involucra las otras variables analizadas como la perspectiva de la población y problemas identificados.
- Existe una deficiencia en el Reglamento de Evaluación y Clasificación de Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, al no darse una relación con los parámetros complementarios, el Índice Holandés, biológicos y los posibles usos, al no representar realmente el nivel de contaminación en los cuerpos de agua.
- Según el Índice Holandés el primer periodo de muestreo, época lluviosa, se cataloga como clase uno sin contaminación, mientras que para el segundo periodo se cataloga como clase dos contaminación incipiente para todo el recorrido.
- Conforme se avanza hacia la cuenca baja se disminuye la calidad del índice BMWP-CR, para el I periodo representativo de la época lluviosa, mientras que en el II periodo (época seca), se evidencia una mejoría en la calidad de los macro invertebrados acuáticos, con variaciones fluctuantes entre puntos de muestreo y periodos.
- El Índice Biológico BMWP-CR, permite definir la zona del punto uno de muestreo, perteneciente a la quebrada Numancia, como un sector de conservación por la abundancia de macro invertebrados bentónicos.
- La mayoría de la población de estudio consideran este como un ambiente saludable con un 81% de respuesta afirmativa, sin embargo, existen riesgos a la salud por enfermedades asociadas indirectamente al río como lo son la proliferación de

mosquitos y demás vectores promotores de enfermedades, los cuales toman como cuna las aguas estancadas y los residuos sólidos presentes.

- Mediante la encuesta se pudo identificar una falta conocimiento del manejo de las aguas residuales y grises de aquellos sitios alquilados, tanto comercios como viviendas, lo que refleja la falta de concientización en la población sobre temas ambientales.
- Hay una falta de mantenimiento de los sistemas individuales y una falta de conocimiento sobre el momento y la manera en que se debe realizar este monitoreo y limpieza, lo que provoca cargas contaminantes a los cuerpos de agua.
- Existe una aceptación de un 74% de la población a conectarse al posible alcantarillado sanitario municipal, con una disminución de un 29% al tener que realizar inversiones económicas por parte de cada propietario en una futura conexión.
- En las secciones de influencia directa (Alta, Media, Baja y 7), más de la mitad de la población encuestada afirman que nunca se perciben malos olores, colores, espumas o aceites no característicos del río, lo que es indicativo de una buena calidad de los cuerpos de agua en estudio.
- Se identifica una alta presencia de residuos sólidos en las laderas y la cuenca, los cuales afectan visualmente y pueden ser fuente de generación de enfermedades, afectando la salud pública de las comunidades cercanas. Se evidencia una cantidad de residuos sólidos, en su mayoría electrónicos y especiales (no recolectados por el servicio municipal), lo que puede deberse en parte al 52% recolectado por un tercero (chatarrero), no autorizado, por lo que no se sabe el real manejo que se le da pudiendo estos ser depositados al no generar ningún beneficio económico, y por el 3% quien se deposita en cualquier sitio como lotes baldíos o laderas de ríos. Además, por la

identificación visual realizada se considera que muchos de los residuos, pueden ser generados por personas que viven en las calles (ropa vieja, botellas de alcohol, colchones, sillones, partes de electrodomésticos, etc.).

- Se determina como orden de prioridad de intervención la sección media, seguido de la sección baja, alta y 7, debido a la cantidad de fuentes contaminantes y su nivel de afectación al cuerpo de agua
- Debido a las acciones realizadas y la cantidad de vertimientos identificados se determina que el río Guápiles es el cuerpo de agua con mayor afectación desde el tramo de la ruta 32 hasta su unión con la quebrada Numancia.
- Se identificó como uno de los principales problemas el vertimiento de aguas residuales, debido al aumento de coliformes fecales y por la alta cantidad de vertimientos encontrados a lo largo del cauce.
- Por medio del recorrido realizado por los cuerpos de agua, se pudo identificar como otro de los problemas principales, las altas descargas de aguas grises, tanto por vertimiento directo como en el arrastre que se da por las alcantarillas pluviales municipales, las cuales se manejan de manera errónea.
- La sección Media es la zona de mayor prioridad, al presentar valores considerables de un incorrecto manejo de aguas, al obtener un 28% que no separa las aguas residuales de las aguas grises, un 22% para aguas residuales vertidas directamente y aguas grises. Además, se percibe un 47% de malos olores debido a la cantidad de 66 vertimientos y aumento de coliformes fecales en esta sección.
- La sección Baja es la zona de prioridad dos, para una inmediata intervención al presentarse un 22% de vertimiento directo de aguas residuales y un 9% de vertimientos de aguas grises, aunado a esto existe un 40% de la población que nunca

realiza mantenimiento a sus sistemas individuales, generando altas deficiencias y posibles arrastres de materia contaminante.

- La sección Alta es la zona de prioridad tres de intervención con un 50% de población que no realiza un mantenimiento a sus sistemas individuales y donde un 30% considera este como un ambiente poco saludable. Lo que podría ser una zona de riesgo a la salud pública.
- La sección 7 es la catalogada como prioridad 4, en cuanto a su nivel de intervención, esta sección es la de aguas abajo del a la zona de estudio, por lo que presenta la peculiaridad del arrastre de las secciones anteriores y se caracteriza porque un 33% de la población indica que no es un ambiente saludable.
- De manera general, se identificó la necesidad de estrategias de gestión, las cuales estén ligadas a la concientización de la población, participación ciudadana e implementación de sistemas de tratamiento individuales, de manera que se apeguen a la realidad del distrito y una pronta realización, tomando en cuenta la condición poco crítica del cuerpo de agua (contaminación incipiente).
- Se identifica la ausencia de un plan estructurado que vele por la aplicación de medidas para la recuperación de la cuenca y el mantenimiento de su condición actual, así como, el correcto saneamiento de las comunidades cercanas a los cuerpos de agua.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar la posibilidad de implementación de un alcantarillado sanitario municipal, tomando en cuenta distintos factores que puedan afectar en la toma de decisiones: económico, social, demográfico, geográfico y diseñar un plan estratégico para su desarrollo.
- Desarrollar e implementar un Plan de Manejo Integral de las Aguas Superficiales y Saneamiento Ambiental, mediante un profesional con las capacidades técnicas para evaluar la gravedad de los problemas y las estrategias para abordar y disminuir su efecto.
- Ampliar la zona de implementación de estrategias a las comunidades aguas abajo de la cuenca, de manera que se dé una mayor amplitud de conservación de la cuenca.
- Capacitar a las comunidades cercanas a los cuerpos de agua sobre el correcto mantenimiento de los sistemas individuales de manejo de aguas residuales y aguas grises.
- Generar un estudio sobre el rastreo de los residuos sólidos recolectados por terceros, el cual permita conocer realmente su disposición e idear una estrategia para formalizar su trabajo y generar regulaciones que permitan un adecuado manejo de los residuos.
- Crear un comité acorde para el desarrollo e implementación de estrategias en beneficio de la disminución de la contaminación actual, y el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y su entorno.
- Evaluar reestructuraciones del Reglamento de Evaluación y Clasificación de Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (N° 33903-MINAE-S), con el fin de determinar de manera más certera la calidad de los cuerpos de agua y sus posibles usos.

7. REFERENCIAS

Alfaro, J., Blanco, K., & Morera, C. (2015). Programa Observatorio Ambiental-UNA: Indicadores Ambientales 2015. Áreas Temáticas: Recurso Hídrico y Biodiversidad. Heredia, C.R.: Observatorio Ambiental Vicerrectoría de Investigación., Universidad Nacional. Recuperado de <file:///D:/Downloads/Libroindicadoresambientales-ObservatorioAmbiental.pdf>

Astorga, Y. (2013). Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/guia-girh-a-escala-municipal.pdf

Belta, W., & Barahona, M. (2010). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón Península de Osa, Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/258291458_Fisico-quimica_de_las_aguas_superficiales_de_la_Cuenca_del_rio_Rincon_Peninsula_de_Osa_Costa_Rica

Bernal, A. (2010). Gestión del agua- una preocupación de las empresas ambientalmente responsables. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. Recuperado de <file:///D:/Downloads/Dialnet-GestionDelAguaUnaPreocupacionDeLasEmpresasAmbientales-3623708.pdf>

Boardman, G. D. (2011). Biochemical Oxygen Demand. In Environmental Encyclopedia (4th ed., Vol. 1, pp. 165-166). Detroit, MI: Gale. Recuperado de <http://link.galegroup.com.ezproxy.itcr.ac.cr:2048/apps/doc/CX1918700173/GVRL?u=itcr&sid=GVRL&xid=d3e24b58>

Bortman, M. L., & Odle, T. G. (2013). Water Quality. In J. L. Longe (Ed.), The Gale Encyclopedia of Environmental Health (Vol. 2, pp. 802-805). Detroit, MI: Gale. Recuperado de <http://link.galegroup.com.ezproxy.itcr.ac.cr:2048/apps/doc/CX2760200259/GVRL?u=itcr&sid=GVRL&xid=6d621c7e>

Bortman, M., Brimblecombe, P., & Cunningham, M. (2003). Environmental Encyclopedia. Recuperado de http://ezproxy.itcr.ac.cr:2375/ps/retrieve.do?tabID=T003&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&searchType=BasicSearchForm¤tPosition=3&docId=GALE%7CCX3404800427&docType=Topic+overview&sort=RELEVANCE&contentSegment=&prodId=GVRL&contentSet=GALE%7CCX3404800427&searchId=R2&userGroupName=itcr&inPS=true#

Brenes, D. (2015). Caracterización de fuentes de contaminación y estrategia de manejo ambiental de la microcuenca del río Jaboncillal, San José, Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.

Brooks, K. N., Ffolliott, P. F., & A., M. J. (2013). Hydrology and the Management of Watersheds. (I. John Wiley & Sons, Ed.) (Fourth). Iowa, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Calvo, G., & Mora, J. (2011). Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa, 24, 15–29. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835869.pdf>

Campelo, A., Freitas, K., Freitas, K., Da Silva, N., De Oliveira, M., Mendoca, R., & Martins, N. (2017). Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, (August), 0–1. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.002>

Campos, I. (2003). Saneamiento Ambiental (1. ed.). San José, Costa Rica. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books?id=lsgrGBGIGeMC&printsec=frontcover&dq=contaminación+aguas+superficiales+costa+rica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi54rjKNDhAhUSq1kKHZT1B6MQ6AEIOjAE#v=onepage&q&f=false>

Cap-Net & Global Water Partnership (GWP). (2005). GESTIÓN INTEGRADA DEL RECURSO HÍDRICO: Manual de capacitación y Guía Operacional. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/manual-planes-girh.pdf

Carrillo, D., Carvajal, S., Coto, J., Salgado, V., Herrera, J., Rojas, D., & Benavidez, C. (2012). Variación del oxígeno disuelto en el Río Burío-Quebrada Seca, Heredia, Costa Rica, en el periodo 2005 - 2010. Heredia, Costa Rica. Recuperado de https://www.repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/7468/variacion_del_oxigeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corbett, J. (2008). Environmental Pollution. In B. W. Lerner & K. L. Lerner (Eds.), *In Context Series. Climate Change: In Context* (Vol. 1, pp. 341-343). Detroit, MI: Gale. Recuperado de <http://link.galegroup.com.ezproxy.itcr.ac.cr:2048/apps/doc/CX3079000102/GVRL?u=itcr&sid=GVRL&xid=f3fa645a>

Cunningham, W. P., & Heimer, A. C. (2013). Water Pollution. In J. L. Longe (Ed.), *The Gale Encyclopedia of Environmental Health* (Vol. 2, pp. 799-802). Detroit, MI: Gale. Recuperado de <http://link.galegroup.com.ezproxy.itcr.ac.cr:2048/apps/doc/CX2760200258/GVRL?u=itcr&sid=GVRL&xid=1adeba48>

Encias, M. (2011). Medio ambiente y contaminación, principios básicos. Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. Recuperado de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Environmental Science. (2009). B. W. Lerner & K. L. Lerner (Eds.), *In Context Series. In Context*, Vol. 1. Detroit, MI: Gale. Recuperado de <http://link.galegroup.com.ezproxy.itcr.ac.cr:2048/apps/pub/1UOJ/GVRL?u=itcr&sid=GVR L>

España, L., Quintero, D., & Reyes, S. (2017). Determinación de Sólidos Totales, Suspendidos y Sedimentables. Cali, Colombia. Recuperado de https://www.academia.edu/34926466/Determinación_de_sólidos_suspendidos_totales_susp endido_y_sedimentables

Espejo, L., Kretschmer, N., Oyarzún, J., Meza, F., Núñez, J., Maturana, H., Oyarzún, R. (2011). Application of water quality indices and analysis of the surface water quality monitoring network in semiarid North-Central Chile, 5571–5588. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2363-5>

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Gil, R. M. (2006). Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activos. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>

González, L. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Recuperado de [file:///D:/Downloads/334-Texto del artículo-482-1-10-20160721 \(4\).pdf](file:///D:/Downloads/334-Texto del artículo-482-1-10-20160721 (4).pdf)

Grasso, L. (2006). Encuestas: Elementos para su diseño y análisis (1° ed.). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/itcrsp/reader.action?docID=3185860&query=encuestas>

Guevara, D., & Herrera, J. (2014). Informe de calidad de las Aguas Superficiales de San José. San José, Costa Rica. Recuperado de https://www.msj.go.cr/informacion_ciudadana/ambiente/SiteAssets/docs/Informe de calidad de aguas superficiales 2014.pdf

Global Water Partnership (GWP). (2011) Global Water Partnership. Towards a water secure world. South America. Global Water Partnership Organization. Recuperado de <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>

Global Water Partnership (GWP), & International Network of Basin Organizations (INBO). (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Londres, Reino Unido. Recuperado de https://www.rioc.org/IMG/pdf/RIOC_GWP_Manual_para_la_gestion_integrada.pdf

Herrera, J. (2011). Decimoséptimo Informe Estado de la Nación (2010). Tendencias de la contaminación del aire y agua superficial de la gran área metropolitana de Costa Rica: 2006-2010. San José, Costa Rica. Recuperado de https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/017/Herrera_Jorge._Tendencias_de_la_contaminacion_del_aire_y_agua_superficial_del_Gran_Area_Metropolitana_de_Costa_Rica_2006_2010.pdf

Herrera, J. (2017). Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2017 Uso y estado de los recursos: recurso hídrico. San José, Costa Rica.

Hidalgo, H. (2012). Los Recursos Hídricos en Costa Rica: un enfoque estratégico. San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/29834/2012_Los_recurso_hidricos_en_Costa_Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Higueras, L. (2010). “Residuos sólidos, contaminación y efecto del medio ambiente en el municipio de la paz, creación de una norma específica que regule su tratamiento.”

Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12879/T3200.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IANAS. (2019). Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades. Ciudad de México, México. Recuperado de <https://www.ianas.org/images/books/wb09.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2007). Plan Estratégico Institucional 2007-2015. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente38.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2009). Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales Costa Rica 2009-2015. Recuperado de <http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente39.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2016). Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045. San José, Costa Rica. Recuperado de <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento marzo 2017.pdf>

Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2014). Informe de Caracterización Integral Básica Del Territorio Pococí. Recuperado de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_huetar_caribe/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Pococi.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos (Costa Rica) (INEC), A. (2011). X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda: Resultados Generales (1 ed.). San José, Costa Rica. Recuperado de http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/estadisticas/resultados/replaccenso2011-15.pdf.pdf

Jeganathan, J. (2006). Treatment of high oil and grease wastewater in anaerobic high-rate reactors. The University of Western Ontario. Recuperado de <https://ezproxy.itcr.ac.cr:3090/pqdtglobal/docview/304762377/64437BCEDD1A414BPQ/13?accountid=27651>

Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA127&dq=sólidos+suspendido+s+totales+SST&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj15Me18JPeAhXRslkKHQ-sBfMQ6AEIKzAB#v=onepage&q=sólidos suspendidos totales SST&f=false>

Kaufman, M. M., Rogers, D. T., & Murray, K. S. (2011). Urban Watersheds Geology, Contamination, and Sustainable Development. New York, USA: Taylor & Francis Group.

Lin, S. D. (2014). Water and Wastewater Calculations Manual (Third Edit). New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill. Recuperado de <https://ezproxy.itcr.ac.cr:2956/browse/water-and-wastewater-calculations-manual-third-edition/c9780071819817ch01?s.num=8&q=Oxygen+saturation+percentage#c9780071819817ch01lev1sec19>

Lozano, W. (2013). *Calidad Fisicoquímica del agua: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?id=Ok0DwAAQBAJ&pg=PT32&dq=metodo+correntómetro+caudal+agua+superficiales&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjdo_2qrPjdAhXGx1kKHWjaBA4Q6AEIJAA#v=onepage&q&f=true

Macías, R., & Díaz, S. (2010). *Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/1812/181220509053/>

Mesa, J. (2014). *Calidad del agua del río Cauca y sus tributarios*. Cali, Colombia. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/214177293/7-CalidadAgua-cauca-2>

Ministerio de Salud (MS), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), & Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045*. San José, Costa Rica. Recuperado de https://www.aya.go.cr/noticias/documents/politica_nacional_de_saneamiento_en_aguas_residuales_marzo_2017.pdf

Morel, A., Schertenleib, R., & Zurbrugg, C. (2003). *Conceptos Alternativos de Saneamiento Ambiental para Países en Desarrollo*. Duebendorf, Suiza.

Nhapi, I., & Gijzen, H. J. (2005). *A 3-step strategic approach to sustainable wastewater management*.

Nemerow, N., Agardy, F., Patrick, S., & Salvato, J. (2009). *ENVIRONMENTAL ENGINEERING Water, Wastewater, Soil and Groundwater Treatment and Remediation (Sixth)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

OECD. (2017). *Diffuse Pollution, Degraded Waters Emerging Policy Solutions*. Paris: Secretary-General of the OECD. Recuperado de www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm.

OPS & OMS. (2005). *Guía para la operación y mantenimiento de tanques séptico, tanques Imhoff y lagunas de estabilización*. Lima, Perú. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/055_O&M_tanques_sépticos_Imhoff_lag/O&M_tanques_sépticos_Imhoff_lagunas_estabilización.pdf

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2017). *Hacia un planeta sin contaminación*. Recuperado de <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1708350s.pdf>

Pepper, I., Gerba, C., & Brusseau, M. (2006). *Environmental & Pollution Science*. (J. Hayhurst, Ed.) (Elsevier I). Burlington, USA: Elsevier Inc.

Pérez, A., & Rodríguez, A. (2008). *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/itcrsp/reader.action?docID=3182920&query=saturación+oxígeno+>

Piedra, V. (2017). *División Territorial de la República de Costa Rica*. (V. Piedra, Ed.) (Primera ed). San José, Costa Rica: Imprenta Nacional. Recuperado de https://www.imprentanacional.go.cr/editorialdigital/libros/historiaygeografia/division_17.pdf

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. In *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*. Tucumán, Argentina. Recuperado de

Prieto, P. (2008). Aporte de coliformes fecales de fuentes dispersas en la cuenca del río Grande de Añasco. Universidad de Puerto Rico recinto Universitario de Mayagüez. Recuperado de <https://ezproxy.itcr.ac.cr:2929/docview/305069523/357119A1828F45D9PQ/1?accountid=27651>

Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2002). El agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books?id=b8l-xhCHPEYC&pg=PA69&dq=parametros+físicos+agua&hl=es-prat>

Rivera, N.R., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A., & Mejias, P.. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información tecnológica*, 15(5), 89-101. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000500013>

Rodríguez, R. (2011). Eliminación biológica de nitrógeno de un efluente con alta carga orgánica y amoniacal. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12863/Rodriguez_Urioz_Raquel.pdf

Rodríguez, W. (2016). Estudio del estado actual para el desarrollo de un Plan de Saneamiento Ambiental para la comunidad urbana del cantón de La Unión, Cartago. Tecnológico de Costa Rica.

Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica (Vol. 40). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2° edición). Antioquia, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. Recuperado de https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=FA5Jr7pXF1UC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Fundamentos+de+limnología+neotropical&ots=h0Ut6hRY_0&sig=8FTQmqjwzuPYp4e_YfVkd2jAW30#v=onepage&q&f=false

Sarmah, H., & Bora, B. (2012). Importance of the size of Sample and its determination in the context of data related to the schools of greater Guwahati. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/306099484_Importance_of_the_size_of_Sample_and_its_determination_in_the_context_of_data_related_to_the_schools_of_greater_Guwahati

Siebel, M., & Gijzen, H. (2002). Application of cleaner production concepts in urban water management.

Sierra, R. C. A. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com> (INDER), I. de D. R. (2014). Informe de Caracterización Integral Básica Del Territorio Pococí. Recuperado de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_huetar_caribe/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Pococi.pdf

Solano, M. (2011). "Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo." Universidad Nacional. Recuperado de [https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua.pdf](https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20sólidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf)

Suárez, J., Jácome, A., Del Río, H., Torres, D., & Ures, P. (2012). El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/324039859_El_reciclaje_de_aguas_grises_como_complemento_a_las_estrategias_de_gestion_sostenible_del_agua_en_el_medio_rural

Takashi Asano, Franklin Burton, Harold Leverenz, Ryujiro Tsuchihashi, G. T. (2007). Water reuse: issues, technologies, and applications. New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto. Recuperado de <https://ezproxy.itcr.ac.cr:2956/browse/water-reuse-issues-technologies-and-applications#fullDetails>

Tanriverdi, C., Alp, A., Demirkiran, A., & Ückardes, F. (2010). Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. Kahramanmaras, Turkey. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1040-4>

Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, D. (2003). Wastewater engineering Treatment and reuse. Hong Kong, República de China: Metcalf & Eddy Inc.

Tuesca, R., Ávila, H., Sisa, A., & Pardo, D. (2015). Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: Análisis de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo. El caso de los municipios ribereños del departamento del Atlántico. Editorial Universidad del norte, Barranquilla Colombia. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books?id=6BnSCgAAQBAJ&pg=PA99&dq=nitrato+parámetro+de+agua+residual&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi6yqrm58jhAhXSslkKHeFFB4QQ6AEIJzAA#v=onepage&q&f=false>

UNESCO. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo. Paris, Francia. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103>

UNESCO. (2017). Wastewater the Untapped Resource. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>

Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), & Municipalidad de San José. (2013). Informe de Calidad de las Aguas Superficiales Cantón de San José: Año 2013. San José, Costa Rica.

Recuperado de [https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/Ambiente/SiteAssets/docs/Informe de Calidad del Agua Superficial de San José 2013.pdf](https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/Ambiente/SiteAssets/docs/Informe%20de%20Calidad%20del%20Agua%20Superficial%20de%20San%20Jos%C3%A9%202013.pdf)

Universidad Nacional de Costa Rica (UNA). & Municipalidad de San José. (2013). Informe de Calidad de las Aguas Superficiales Cantón de San José: Año 2013. San José, Costa Rica. Recuperado de [https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/Ambiente/SiteAssets/docs/Informe de Calidad del Agua Superficial de San José 2013.pdf](https://www.msj.go.cr/MSJ/Capital/Ambiente/SiteAssets/docs/Informe%20de%20Calidad%20del%20Agua%20Superficial%20de%20San%20Jos%C3%A9%202013.pdf)

Zambrano, D. (2010). Minimización y prevención como estrategia para el control de contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali. Universidad del Valle. Recuperado de http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-3_CCAL_PHD_D5.3.12_MSc_Zambrano_Minimization_of_contamination_by_wastewater.pdf

8. APÉNDICES

APÉNDICE 1: ENCUESTA APLICADA

Encuesta de identificación de focos de contaminación en el río Guápiles y aspectos socioculturales de la población.

TEMA: DATOS GENERALES

1. ¿Cuál es su rango de edad?										
16-27		28-37		38-47		48-57		58-64		Más de 65
2. Indique su sexo										
Masculino					Femenino					
3. ¿Cuál es su nivel de escolaridad?										
Sin escolaridad		Primaria		Secundaria		Técnico		Universitario		Postgrado
4. ¿Tipo de actividad que se realiza en esta localidad?										
Doméstica		Comercial		Industrial		Agrícola		Agropecuaria		
Otra:										
5. ¿En qué comunidad se localiza?										
(Belén/ Pinares/ Calle Vargas/ Zurquí/ Maderos/ Coopevigua I, II O III/ Centro)										

TEMA: AGUAS RESIDUALES

6. ¿Las aguas grises (jabonosas) se encuentran separadas de las aguas residuales (aguas negras)?					
Sí			NO		
7. Actualmente, ¿cómo maneja o gestiona las aguas residuales?:					
Vertimiento directo a quebrada o río		Tanque séptico-Campo de infiltración		Tanque séptico-Vertimiento a quebrada o río	
				Alcantarillado	
					Planta de tratamiento-vertimiento al río
Otro:					
8. Actualmente, ¿cómo maneja o gestiona las aguas grises?:					
Vertimiento directo a quebrada o río		Tanque séptico-Campo de infiltración		Tanque séptico-Vertimiento a quebrada o río	
				Alcantarillado	
					Planta de tratamiento-vertimiento al río
Otro:					

Si maneja las aguas residuales con Tanque Séptico o Planta de Tratamiento, seguir este cuestionario:

9. ¿Realiza mantenimiento periódico a su sistema de tratamiento (Tanque séptico/Planta de tratamiento)?					
Semestral		Anual		2 años o más	
				Nunca	
10. ¿Tiene conocimiento de cuando realizar esta limpieza?					
Sí			NO		
Otro:					
11. ¿Tiene conocimiento de cómo realizar dicha limpieza?					
Sí			NO		
Otro:					
12. ¿Por qué razón no le da un mantenimiento adecuado a su sistema de tratamiento?					
Desconocimiento		Economía		Desinterés	
				Otro:	

Si maneja las aguas residuales con alcantarillado, seguir este cuestionario:

13. Si el manejo de aguas residuales con alcantarillado, ¿cuál es su grado de satisfacción del servicio?					
Muy satisfecho		Satisfecho		Poco satisfecho	
14. Las tuberías de aguas residuales tienen salida a:					
Frente de la vivienda o comercio			Atrás de la vivienda o comercio		
15. El nivel de la vivienda o comercio se encuentra por encima del nivel de la calle:					
Sí			NO		

Figura A.1.1 Parte I Encuesta Aplicada

Encuesta de identificación de focos de contaminación en el río Guápiles y aspectos socioculturales de la población.

Si maneja las aguas residuales con vertimiento directo a quebrada o río, tanque séptico- Campo de infiltración o tanque séptico-Vertimiento a quebrada o río, seguir este cuestionario:

16. Si se construye un alcantarillado al frente de su casa, estaría dispuesto a conectarse a este			
SÍ		NO	
17. Si la salida de las aguas residuales de la vivienda es hacia atrás, ¿estaría dispuesto a que se instale un alcantarillado por la parte de atrás de la vivienda o comercio?			
SÍ		NO	
18. Podría realizar la inversión necesaria para conectarse Si tiene salida a la calle podría costar de 100 a 150 mil colones Si hay que hacer obras dentro de la vivienda de 100 a 650 mil colones			
Sí, en un solo pago		Sí, a crédito	No le sería posible

TEMA: SALUD PÚBLICA

19. ¿Considera su entorno como un ambiente saludable?			
SÍ		NO	¿Por qué?:
20. ¿Cree que el ambiente en el que vive ha afectado de alguna manera su salud y la de los miembros del lugar?			
SÍ		NO	¿Por qué?:
21. ¿Con que frecuencia se presenta en su vivienda o comercio enfermedades como vómito, diarrea, dolor de estómago, etc.?			
Nunca	2 veces al año	6 veces al año	Más de 6 veces al año
22. ¿Cuáles cree que son los problemas de aguas residuales más importantes que tiene la comunidad?			

TEMA: CARACTERIZACIÓN DEL RÍO

23. ¿A percibido malos olores provenientes del río?			
Siempre		Casi siempre	Algunas veces
			Nunca
24. ¿A identificado colores no característicos del río?			
Siempre		Casi siempre	Algunas veces
			Nunca
25. ¿A visualizado espumas no características del río?			
Siempre		Casi siempre	Algunas veces
			Nunca
26. ¿A visualizado aceites en el río?			
Siempre		Casi siempre	Algunas veces
			Nunca

TEMA: RESIDUOS SÓLIDOS

27. ¿Quién brinda el servicio de recolección de "basura" en esta zona?			
Municipalidad	Privado	No sé	Otro:
28. La calidad del servicio de recolección de basura es:			
Muy bueno	Bueno	Regular	Muy malo
29. ¿Realiza en su casa o comercio la separación de residuos? (Si responde NO, pase a la 31.)			
SÍ		NO	
30. ¿Qué tipo de residuos separa en su casa o comercio? (Puede marcar varias opciones)			
Residuos orgánicos (restos de frutas, verduras, comida, etc.)	Plástico	Vidrio	Papel/ cartón
			Metales(latas de atún o de refrescos)
			Otros
31. Si en su casa o comercio se genera algún tipo de "basura" QUE NO ES RECOGIDA por el servicio regular de recolección de la Municipalidad (sillones, llantas, etc.) ¿qué hace con ella?			
Se bota en cualquier sitio	Se quema	Lo recoge un tercero	Se bota al río
			No sé
Detalle:			

Figura A.1.2 Parte II Encuesta Aplicada

APÉNDICE 2: RUTAS DE APLICACIÓN DE ENCUESTAS

Sectorización de encuestas del proyecto "Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del Río Guápiles, Pococí"
Sección 1

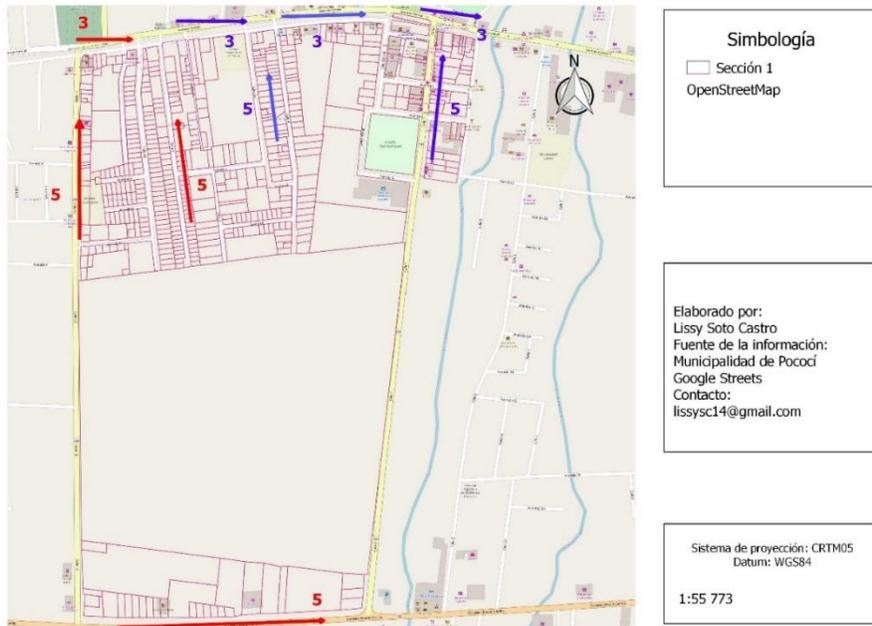


Figura A.2.1. Sección 1 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
Sector 2

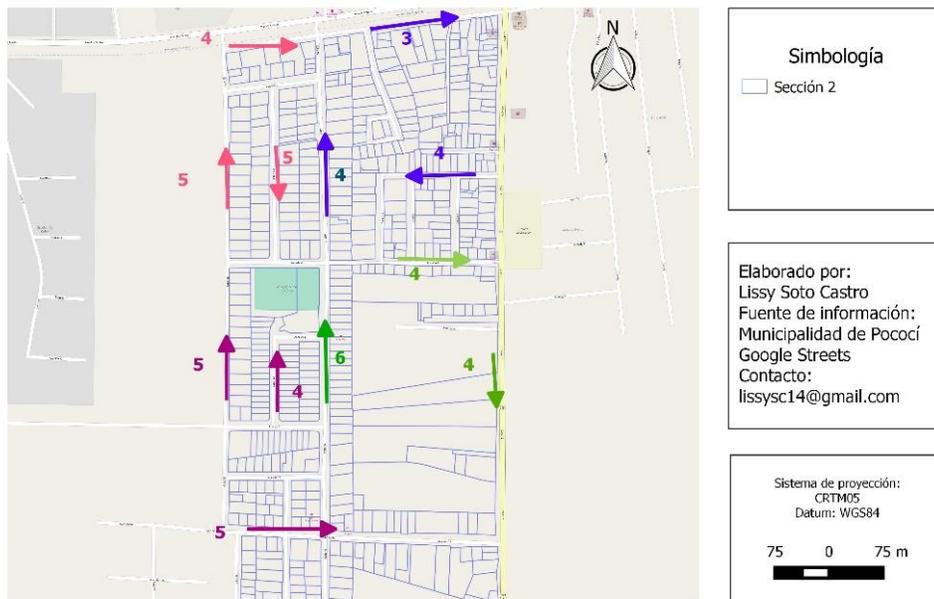


Figura A.2.2. Sección 2 parte I ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sector 2.2



Figura A.2.331. Sección 2 parte II ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sector 3

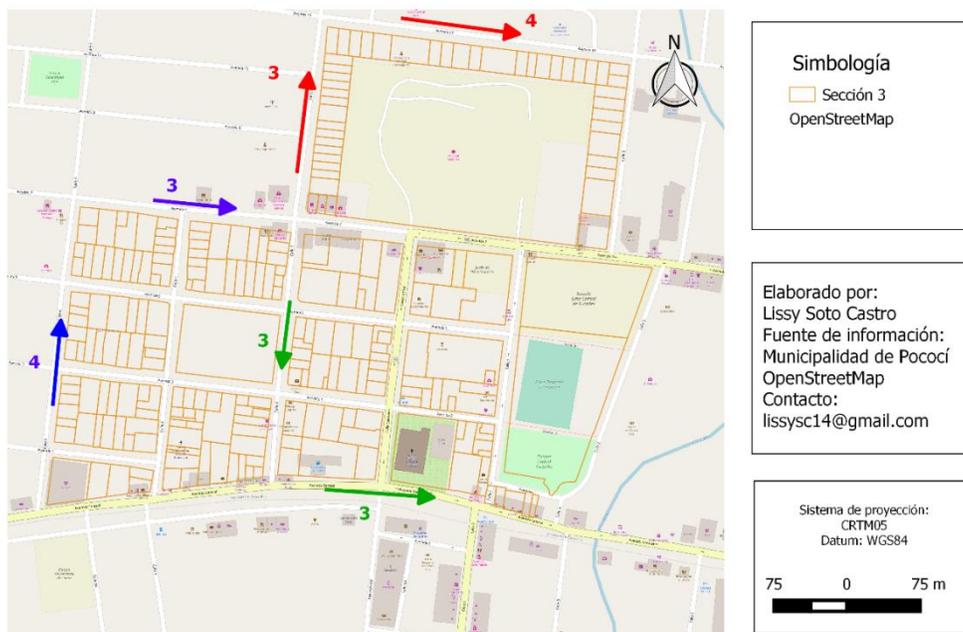


Figura A.2.4. Sección 3 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 4



Figura A.2.5. Sección 4 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 5

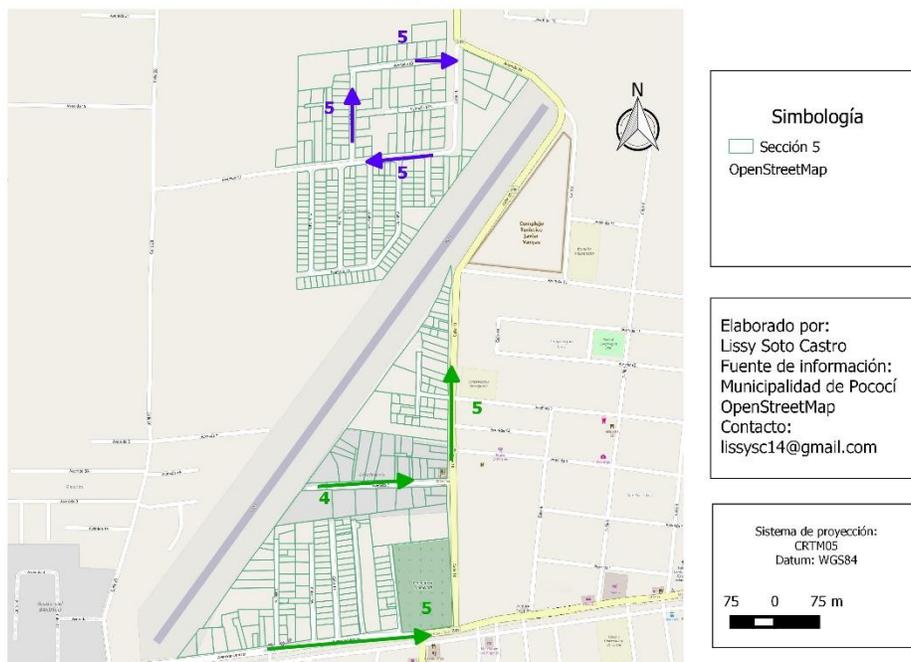


Figura A.2.6. Sección 5 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 6

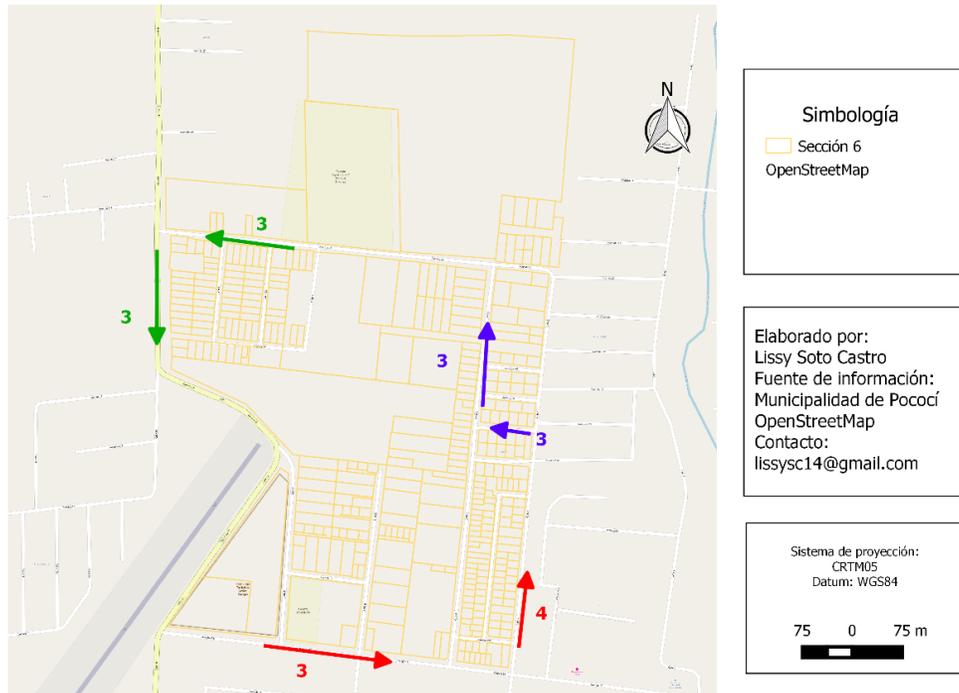


Figura A.2.7. Sección 6 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 7

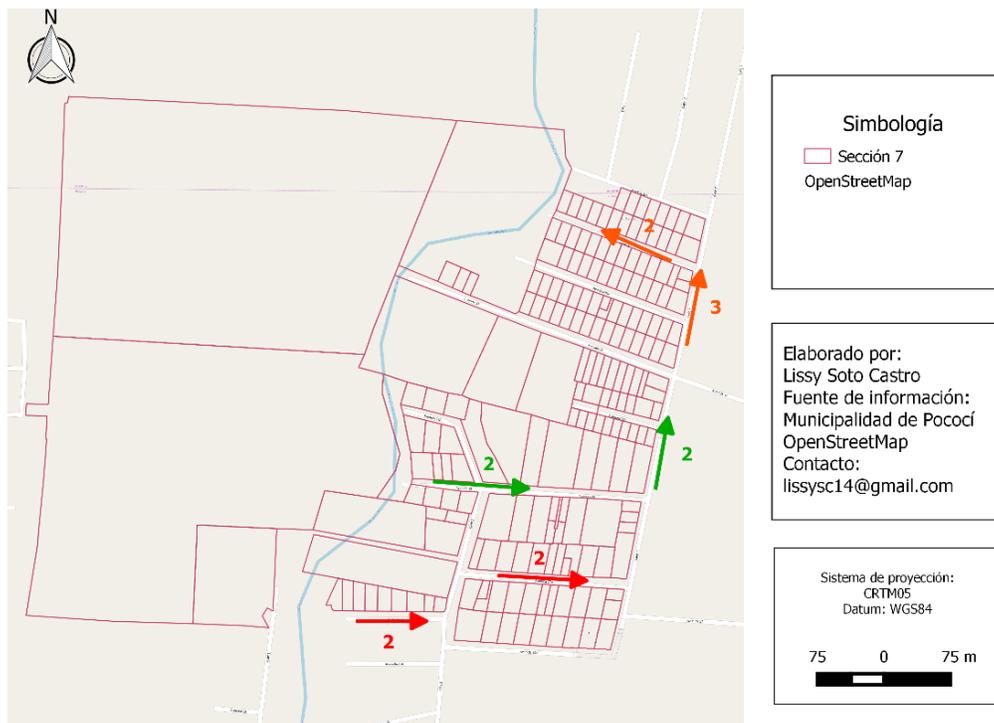


Figura A.2.8. Sección 7 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 8

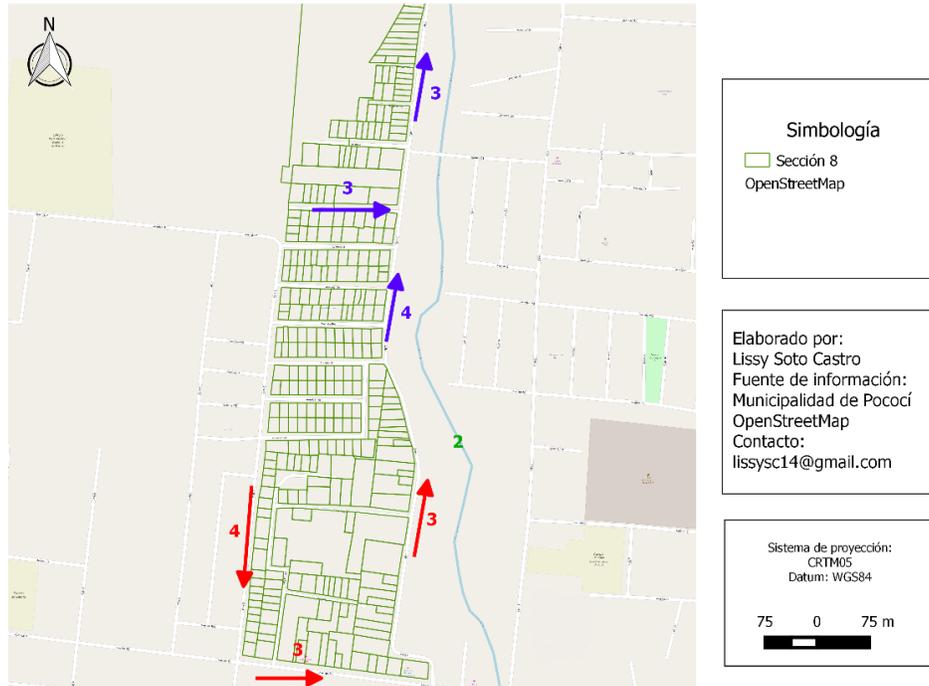


Figura A.2.9. Sección 8 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 9

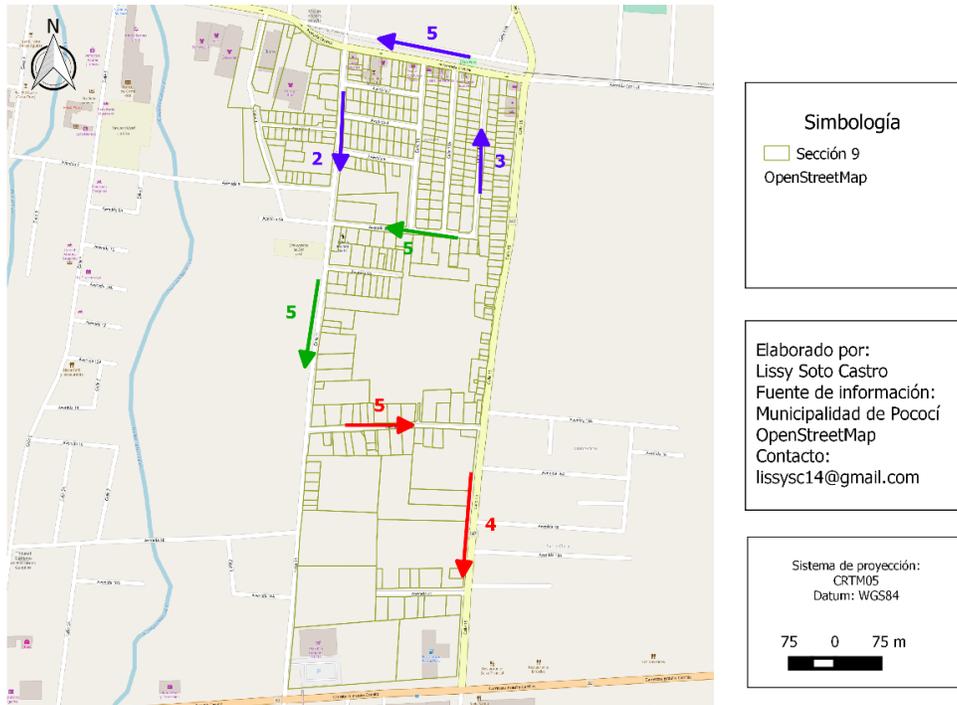


Figura A.2.10. Sección 9 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 10
 Parte 1

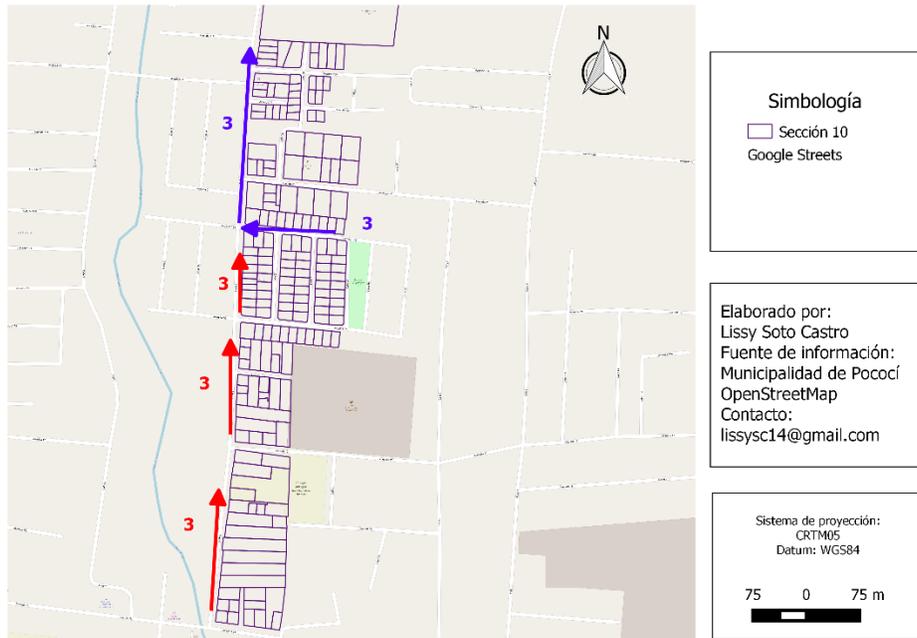


Figura A.2.11. Sección 10 parte I ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 10
 Parte 2



Figura A.2.12. Sección 10 parte II ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección 11

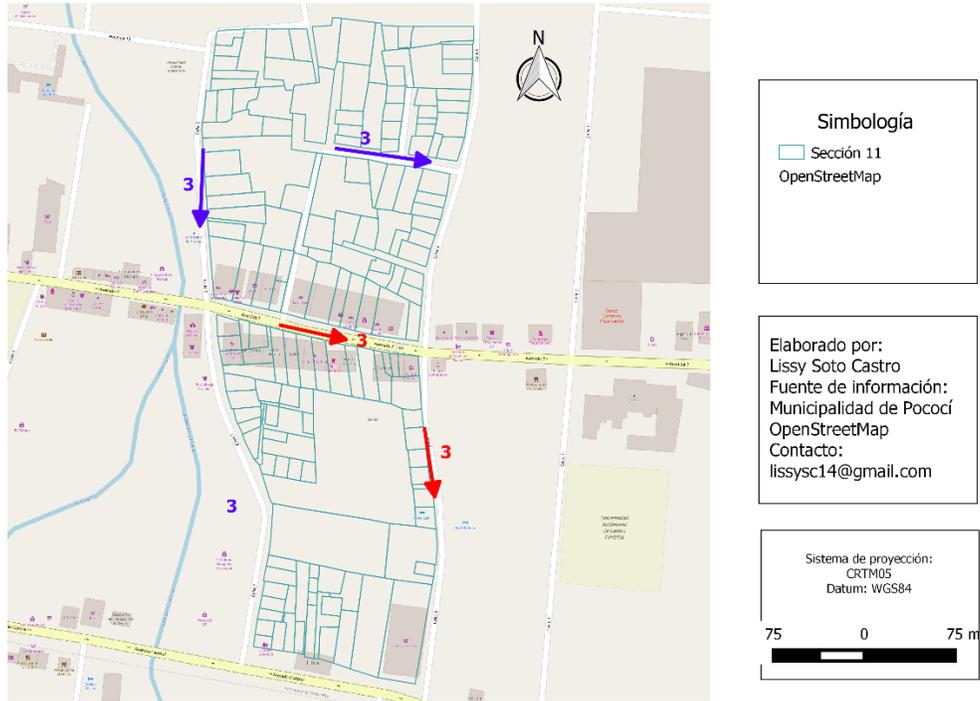


Figura A.2.13. Sección 11 ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección Alta

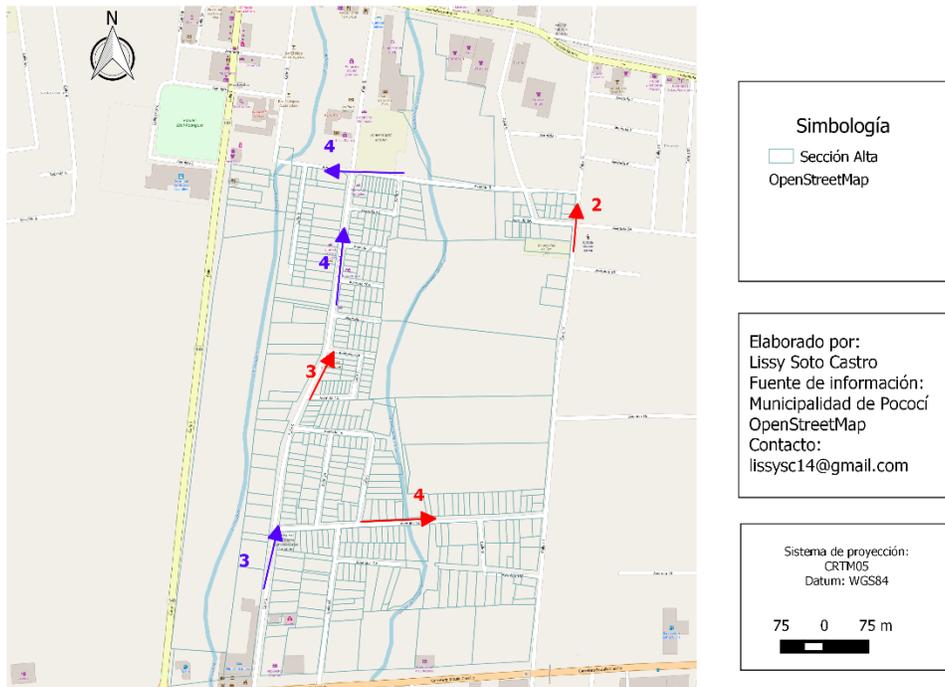


Figura A.2.14. Sección Alta ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección Media

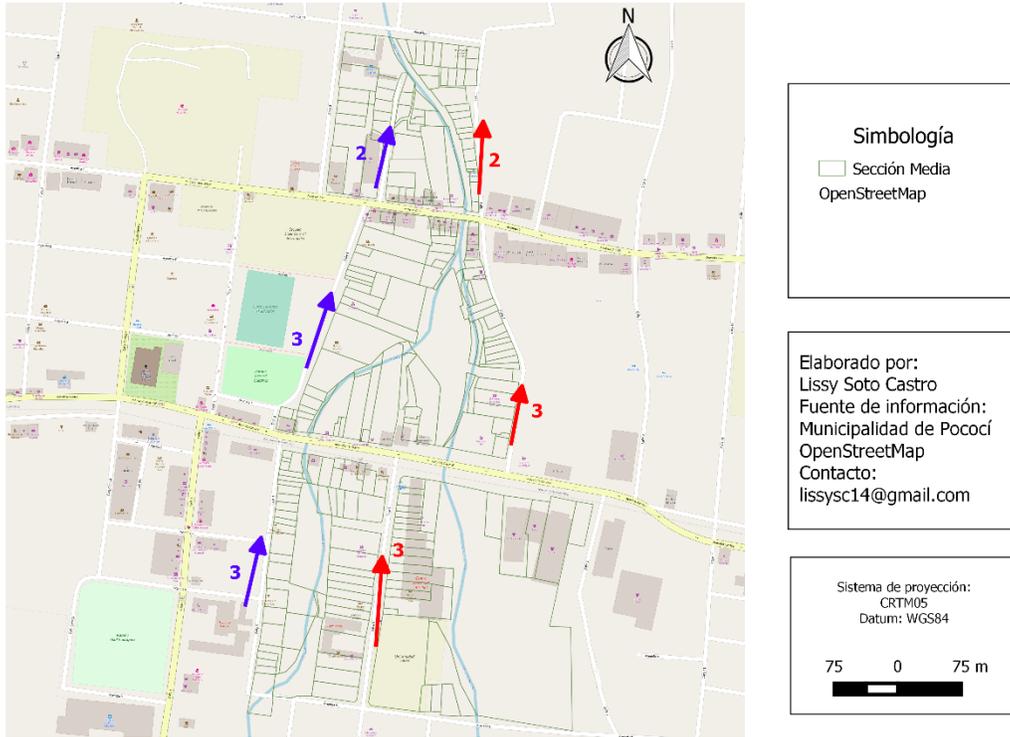


Figura A.2.1532. Sección Media ruta de aplicación de encuestas

Ruta de Encuestas
 Proyecto "Análisis del nivel de contaminación de la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí"
 Sección Baja

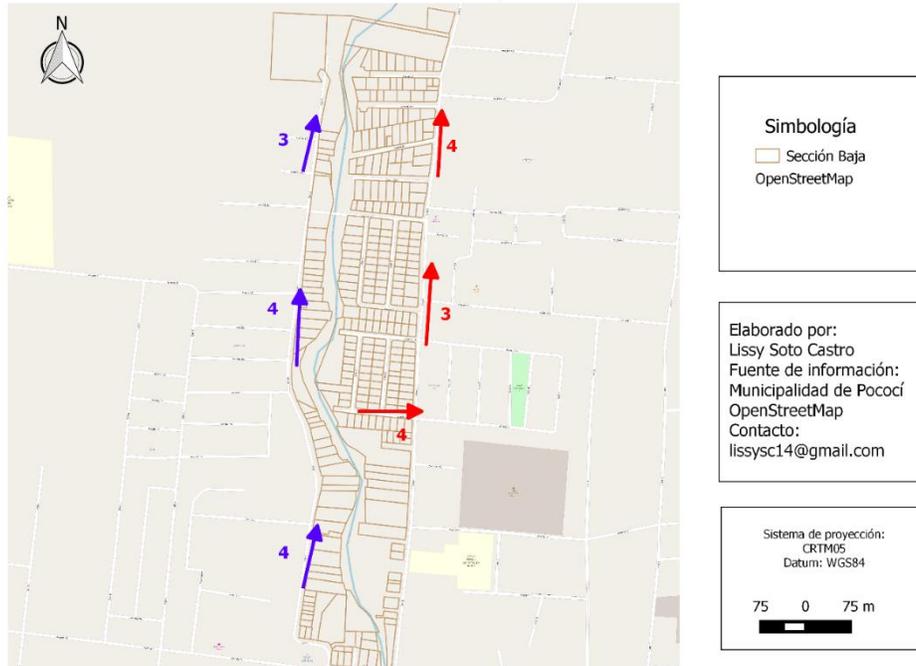


Figura A.2.1633. Sección baja ruta de aplicación de encuestas

APÉNDICE 3: RESULTADOS CON LA TOTALIDAD DE POBLACIÓN ENCUESTADA

Tema: Datos generales

Cuadro A.3.1. ¿Cuál es su rango de edad?

Respuesta	Porcentaje (%)
16-27	19
28-37	21
38-47	16
48-57	17
58-64	13
Más de 65	14

Cuadro A.3.2. Indique su sexo

Respuesta	Porcentaje (%)
Masculino	37
Femenino	63

Cuadro A.3.3. ¿Cuál es su escolaridad?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sin escolaridad	3
Primaria	24
Secundaria	43
Técnico	3
Universitario	25
Postgrado	2

Cuadro A.3.4. ¿Tipo de actividad que se realiza en esta localidad?

Respuesta	Porcentaje (%)
Doméstica	77
Comercial	21
Industrial	2
Agrícola	0
Agropecuaria	0

Cuadro A.3.5. ¿En qué comunidad se localiza?

Respuesta	Porcentaje (%)
Centro	23
Almendros	2
Belén	1
Coopevigua I	4
Coopevigua II	6
Coopevigua III	5
El Cuadrante	1
La Trinidad-Comboy	1
La Urba	9
Las Palmas	1
Llama del bosque	1
Los Ángeles	7
Los Laureles	1
Maderos	7
Palma Dorada	4
Pinares	9
San Francisco	1
Santa Cecilia	3
Sinaí	1
Toro Amarillo	1
Zurquí	5

Tema: Aguas Residuales**Cuadro A.3.6.** ¿Las aguas grises (jabonosas) se encuentran separadas de las aguas residuales (negras)?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	89
No	7
No sé	4

Cuadro A.3.7. Actualmente, ¿cómo maneja o gestiona las aguas residuales?

Respuesta	Porcentaje (%)
Vertimiento directo a quebrada o río	2
Tanque Séptico-Campo de infiltración	88
Tanque Séptico-Vertimiento a quebrada o río	0

Alcantarillado	4
Planta de tratamiento-Vertimiento al río	1
No sé	5

Cuadro A.3.8. Actualmente, ¿cómo maneja o gestiona las aguas grises?

Respuesta	Porcentaje (%)
Vertimiento directo a quebrada o río	3
Tanque Séptico-Campo de infiltración	36
Tanque Séptico-Vertimiento a quebrada o río	0
Alcantarillado	48
Planta de tratamiento-Vertimiento al río	1
No sé	6

Cuadro A.3.9. ¿Realiza mantenimiento periódico a su sistema de tratamiento (Tanque séptico/planta de tratamiento)?

Respuesta	Porcentaje (%)
Semestral	9
Anual	24
2 años o más	25
No sé	8
Nunca	34

Cuadro A.3.10. ¿Tiene conocimiento de cuando realiza esta limpieza?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	43
No	57

Cuadro A.3.11. ¿Tiene conocimiento de cómo realiza esta limpieza?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	50
No	50

Cuadro A.3.12. ¿Por qué razón no le da un mantenimiento adecuado a su sistema de tratamiento?

Respuesta	Porcentaje (%)
Desconocimiento	27
Economía	9
Desinterés	12
No ha sido necesario	43
Alquila, no tiene crecimiento	8
No sé	1

Cuadro A.3.13. ¿Por qué razón no le da un mantenimiento adecuado a su sistema de tratamiento?

Respuesta	Porcentaje (%)
Desconocimiento	27
Economía	9
Desinterés	12
No ha sido necesario	43
Alquila, no tiene crecimiento	8
No sé	1

Cuadro A.3.14. Si el manejo de aguas residuales con alcantarillado, ¿cuál es su grado de satisfacción del servicio?

Respuesta	Porcentaje (%)
Muy satisfecho	8
Satisfecho	54
Poco satisfecho	38

Cuadro A.3.15. Las tuberías de aguas residuales tienen salida a:

Respuesta	Porcentaje (%)
Frente de la vivienda o comercio	55
Atrás de la vivienda o comercio	45

Cuadro A.3.16. El nivel de la vivienda o comercio se encuentra por encima del nivel de la calle:

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	73
No	27

Cuadro A.3.17. Si se construye un alcantarillado al frente de su casa, estaría dispuesta a conectarse a este

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	74
No	17
No sé	9

Cuadro A.3.18. Si la salida de las aguas residuales de la vivienda es hacia atrás, ¿estaría dispuesto a que se instale un alcantarillado por la parte de atrás de la vivienda o comercio?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	48
No	32
No sé	20

Cuadro A.3.19. Podría realizar la inversión necesaria para conectarse

Si tiene salida a la calle podría costar de 100 a 150 mil colones

Si hay que hacer obras dentro de la vivienda de 100 a 650 mil colones

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí, en un solo pago	14
Sí, a crédito	28
No le sería posible	31
No sé	27

Tema: Salud Pública

Cuadro A.3.20. ¿Considera su entorno como un ambiente saludable?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	83
No	17

Cuadro A.3.21. ¿Cree que el ambiente en el que vive ha afectado de alguna manera su salud y la de los miembros del lugar?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	86
No	14

Cuadro A.3.22. ¿Con que frecuencia se presentan en su vivienda o comercio enfermedades como vómito, diarrea, dolor de estómago, etc.?

Respuesta	Porcentaje (%)
Nunca	76
2 veces al año	21
6 veces al año	2
Más de 6 veces al año	1

Tema: Caracterización del Río

Cuadro A.3.23. ¿A percibido malos olores provenientes del río?

Respuesta	Porcentaje (%)
Siempre	6
Casi siempre	13
Algunas veces	12
Nunca	69

Cuadro A.3.24 ¿A identificado colores no característicos del río?

Respuesta	Porcentaje (%)
Siempre	4
Casi siempre	0
Algunas veces	28
Nunca	68

Cuadro A.3.25. ¿A visualizado espumas no características del río?

Respuesta	Porcentaje (%)
Siempre	3
Casi siempre	4
Algunas veces	31
Nunca	62

Cuadro A.3.26. ¿A visualizado aceites en el río?

Respuesta	Porcentaje (%)
Siempre	3
Casi siempre	0
Algunas veces	13
Nunca	84

Tema: Residuos Sólidos

Cuadro A.3.27. ¿Quién brinda el servicio de recolección de “basura” en esta zona?

Respuesta	Porcentaje (%)
Municipalidad	97
Privado	2
No sé	1

Cuadro A.3.28. ¿La calidad del servicio de recolección de basura es?:

Respuesta	Porcentaje (%)
Muy bueno	1
Bueno	59
Regular	16
Malo	3
Muy malo	21

Cuadro A.3.29. ¿Realiza en su casa o comercio la separación de residuos?

Respuesta	Porcentaje (%)
Sí	61
No	39

Cuadro A.3.30. ¿Qué tipo de residuos separa en su casa o comercio?

Respuesta	Porcentaje (%)
Residuos orgánicos	11
Plásticos	29
Vidrios	18
Papel/ cartón	24
Metales	18

Cuadro A.3.31. Si en su casa o comercio se genera algún tipo de “basura” que no es recogida por el servicio regular de recolección de la Municipalidad (sillones, llantas, etc.) ¿Qué hace con ella?

Respuesta	Porcentaje (%)
Se bota en cualquier sitio	3
Se quema	5
Lo recoge un tercero	52
Se bota al río	0
No se genera	12
Lo recoge el Municipalidad	16
Se almacena	3
Se entierra	1
Se guarda	1
No sé	7

APÉNDICE 4: CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

Cuadro A.4.1. Clasificación de los parámetros analizados para la determinación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales.

Parámetro	I Periodo						II Periodo					
	Quebrada Numancia		Río Guápiles				Quebrada Numancia		Río Guápiles			
	1	3	2	4	5	6	1	3	2	4	5	6
DQO	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1
DBO	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2
PSO%	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2
SST	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1
SD	-	-	-	-	-	-	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1
NO ₃ ⁻	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 2	Clase 2
N-NH ⁴⁺	-	-	-	-	-	-	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2
GyA	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4	Clase 1-4
pH	Clase 1-2	Clase 1-2	Clase 1-2	Clase 1-2	Clase 1-2	Clase 1-2	Clase 3	Clase 1-2	Clase 3	Clase 3	Clase 1-2	Clase 1-2
T	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
CF	Clase 1	Clase 1	Clase 1	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2	Clase 2
BMWP-CR	Excelente	Excelente	Excelente	Mala	Regular	Mala	Excelente	Regular	Regular	Regular	Buena	Excelente

9. ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS I PERIODO MUESTREO



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523349 / N 01128189	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: Punto 1. Quebrada Numancia.	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 9:10 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(7,06 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(20,9 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(1,3 ± 0,1)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(9,05 ± 0,05)	4500 O – G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	2,0	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	34	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este período se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.1. Análisis físico-químicos I periodo punto 1

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523240 / N 01129350	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 03: Punto 2 Río Guápiles	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 11:29 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	(4,5 ± 0,4)	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,75 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(22,1 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(1,6 ± 0,2)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(8,99 ± 0,05)	4500 O - G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	17	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	34	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.2. Análisis físico-químico I periodo punto 2

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523398 / N 01129324	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 02: Punto 3. Quebrada Numancia	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 10:15 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(7,49 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(22,1 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(1,2 ± 0,1)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(8,82 ± 0,05)	4500 O - G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	13	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	27	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.3. Análisis físico-químico I periodo punto 3

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523326 / N 01129912	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 04: Punto 4 Río Guápiles	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 1:15 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	(4,4 ± 0,4)	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(7,11 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(22,9 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(2,0 ± 0,2)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(8,57 ± 0,05)	4500 O - G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	39	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	47	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.4. Análisis físico-químico I periodo punto 4

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523231/ N 01130630	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 05: Punto 5 Río Guápiles	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 2:30 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(7,12 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(24,6 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(4,3 ± 0,4)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(8,24 ± 0,05)	4500 O – G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	47	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	47	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.5. Análisis físico-químico I periodo punto 5

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 12/12/2018
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 13/12/2018
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 12/12/2018
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523369 / N 01131237	Fecha Reporte: 21/12/2018
Descripción de la Muestra: Consecutivo 06: Punto 6 Río Guápiles	Código Muestra: 1381218
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 3:47 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	< 0,2	2540 – F
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,99 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(23,9 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(3,6 ± 0,3)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(7,93 ± 0,05)	4500 O - G
Coliformes fecales NMP/100 mL *	47	9221 E
Coliformes totales NMP/100 mL *	47	9221 B

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.1.6. Análisis físico-químicos I periodo punto 6

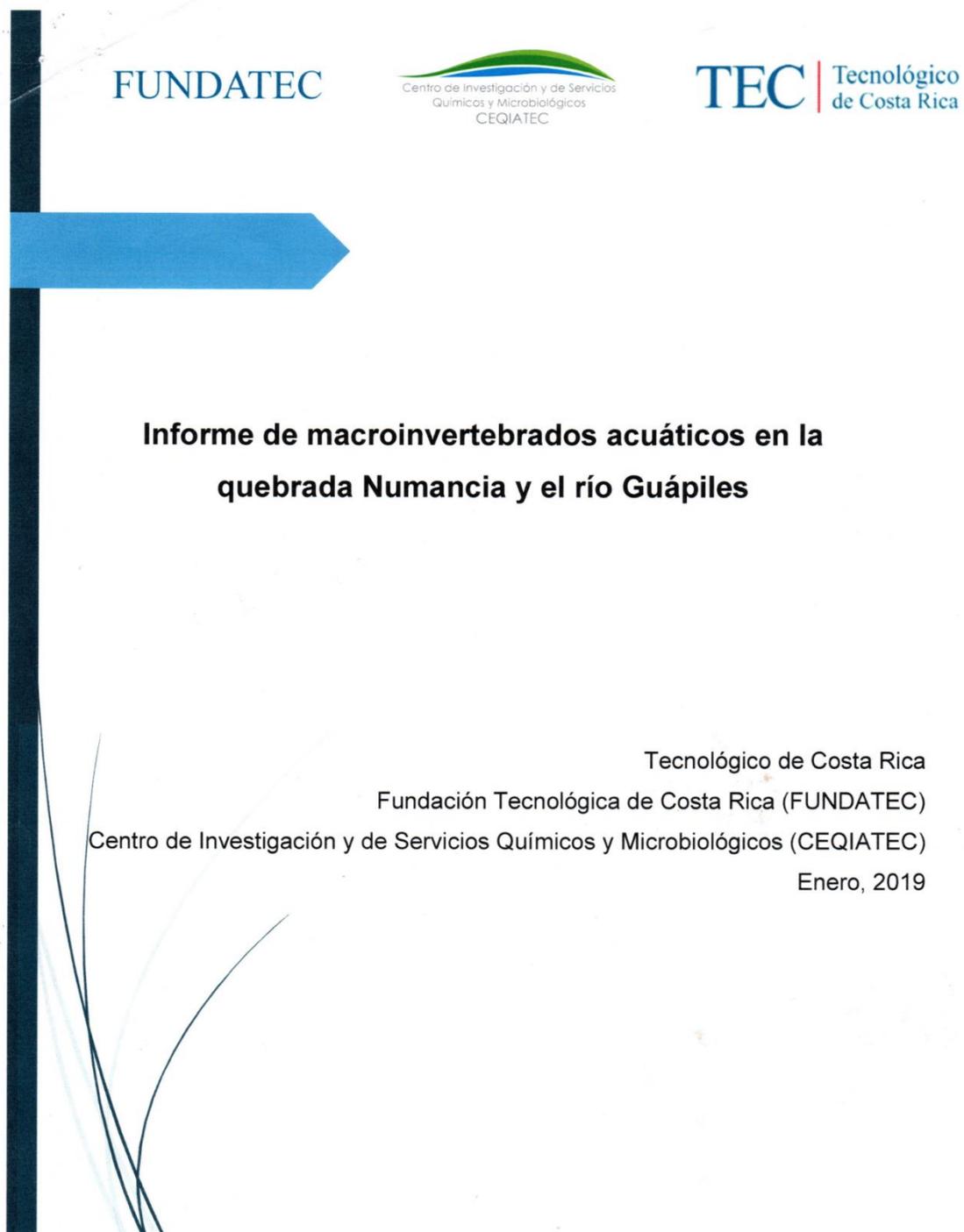


Figura A.2.1. Análisis biológicos I periodo parte 1

Objetivo

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados biológicos de calidad del agua en dos puntos de la quebrada Numancia y 4 puntos del río Guápiles, en Guápiles de Pococí, Limón, Costa Rica.

Metodología

El muestreo fue realizado el día 12 de diciembre de 2018, en 2 sitios de la quebrada Numancia y 4 sitios del río Guápiles, bajo condiciones soleadas. El muestreo biológico lo realizaron las biólogas Lidia Avilés Vargas y Jenny Bermúdez Monge. La toma de muestras fisicoquímicas estuvo a cargo de Giovanni Conejo.

Se utilizaron dos métodos de muestreo. En los sitios 1, 4, 5 y 6 se realizó colecta directa, que consiste en un muestreo manual con pinzas durante 120 minutos. En este método se remueven todos los sustratos en los diferentes microhábitats encontrados (piedras, hojarasca, madera), utilizando una red o colador y luego se colocan en una bandeja blanca que facilita la observación de macroinvertebrados, posteriormente estos se colocan en viales y se preservan en alcohol al 70%. En los sitios 2 y 3 el muestreo se realizó mediante el método de red D, en donde se realiza un muestreo por los microhábitats con la red D, se hacen tres réplicas de 5 min cada una. La muestra en su totalidad se preserva en alcohol al 90% y se deposita en bolsas plásticas, esta se analiza en el laboratorio. Finalmente, en ambos tipos de muestreo la identificación se realizó al máximo nivel posible en el Laboratorio de Calidad Biológica del Agua del CEQIATEC y se aplicó el índice BMWP-CR, todo lo anterior siguiendo el Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (No.33903 MINAE-S). El material queda depositado en la colección de Entomología Acuática del Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica, tal como lo pide la ley.

Se utilizaron dos métodos, ya que en los puntos 2 y 3 se observó mucha basura y a simple vista se percibió como un ambiente contaminado, en sitios contaminados es mejor utilizar la red D, ya que el tiempo en el río es menor y el contacto con el agua también.

Figura A.2.2. Análisis biológicos I periodo parte 2

Resultados

Se colectó un total de 6207 individuos pertenecientes a 16 órdenes, 44 familias y 78 géneros. El orden con mayor abundancia de organismos fue Ephemeroptera, con 2570 individuos, seguido de Diptera con 1716, los órdenes o clases con menor abundancia fueron Megaloptera, Hirudinea y Lepidoptera, con 4, 7 y 9 individuos respectivamente. El sitio con mayor cantidad de organismos fue el sitio 3 con 2300. Por otro lado, los sitios con mayor número de taxones fueron los sitios 1, 2 y 3 con 48, 49 y 44 taxones respectivamente, mientras que los sitios con menor diversidad fueron los sitios 4, 5 y 6 con 22, 21 y 21 taxones respectivamente (Cuadro I).

Cuadro I. Abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos colectados en 6 puntos de la quebrada Numancia y el río Guápiles. Pococí, 12 de diciembre del 2018.

Orden/Clase	Familia	Género	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	
Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	10	4	6	1			
		<i>Hexanchorus</i>	2	4	2				
		<i>Macrelmis</i>	9	35	1				
		<i>Microcylloepus</i>	4	52			2		
		<i>Neocylloepus</i>	1		11				
		<i>Neoelmis</i>	1		2				
		<i>Phanocerus</i>					1		
		Indet.		10					
		Psephenidae	<i>Psephenus</i>	8	39	8		2	
		Staphylinidae	Indet.					1	
Diptera	Ceratopogonidae	Indet.			2				
	Chironomidae	Chironominae	5	42	105	2	63		
		Orthoclaadiinae	28	3	339	2			
		Tanypodinae	1	2					
		Indet.		933		80			
	Dixidae	<i>Dixella</i>	2						
	Empididae	<i>Hemerodromia</i>	3	9	4	1			
	Muscidae	Indet.	1	1					
	Psychodidae	<i>Maruina</i>		1	14		1		
	Simuliidae	<i>Simulium?</i>	30		1				
		Indet.		37			1		
		Tipulidae	<i>Hexatoma?</i>	1					
	Ephemeroptera	Baetidae	Indet.	2					
			<i>Americabaetis</i>	10	38	72	10	7	2
			<i>Baetodes</i>	19	60	150	12	7	36
<i>Camelobaetidius</i>			8	10	59			1	
<i>Cloeodes</i>			1						
<i>Fallceon?</i>			16						
Indet.							2		
<i>Paracloeodes</i>					1				
Indet.				4		1		1	
Heptageniidae			<i>Maccaffertium</i>			1			
Leptohyphidae			<i>Asioplax</i>	1	7	6	1		
			<i>Leptohyphes</i>	30	239	556	109	126	326
			<i>Traverhyphes</i>	3					

Figura A.2.3. Análisis biológicos I periodo parte 3

		<i>Tricorythodes</i>	36	110	304	29	19	7
		<i>Vacupemius</i>		2	12	11	6	1
	Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	44	16	17	2	1	12
		<i>Thraulodes</i>	1	4				4
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	4	25	1	2	6	
	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	1	7	4		16	1
		<i>Enallagma</i>	5					
	Gomphidae	<i>Perigomphus</i>			1			
	Libellulidae	<i>Dythemis</i>	3					
		<i>Elasmotheremis?</i>		1				
	Megapodagrionidae	<i>Heteragrion</i>		1				
	Platystictidae	<i>Palaemnema</i>				1		
Trichoptera	Glossosomatidae	Indet.		1	7			2
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>			1			
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>		3	2			
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	54	151	217	45	52	31
		<i>Smicridea</i>	5	41	201	51	61	60
	Hydroptilidae	<i>Alisotrichia?</i>		8	5			
		<i>Anchitrichia</i>			7			3
		<i>Anchitrichia?</i>		4				
		<i>Hydroptila</i>	1	48	1			
		<i>Metrichia</i>	33		7			
		Indet.						42
	Leptoceridae	<i>Oecetis</i>		1				
Hemiptera	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	5	1				
	Hebridae	<i>Hebrus</i>	2					
	Mesoveliidae	<i>Mesoveloidea</i>	7					
	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	6	6				
	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	8					
Megaloptera	Corydalidae	<i>Chloronia</i>	1					
		<i>Corydalus</i>	3					
Lepidoptera	Pyalidae	<i>Petrophila</i>	3	5	1			
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	22	1	1			
Basommatophora	Physidae	Indet.		24	2	13	4	1
	Planorbidae	Indet.		21	81	13	3	16
Hirudinea	Indet.	Indet.		1	1	3	2	
Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Indet.	5	21	9	8	1	
	Thiaridae	Indet.		2	1			
Ostracoda	Indet.	Indet.		7			11	
Trombidiformes	Indet.	Indet.	1	3	9			
Turbellaria	Planariidae	Indet.	4	47	15		1	
Oligochaeta	Indet.	Indet.	7	17	53	1		1
		Total de individuos	457	2109	2300	398	391	552
		Total de taxa	48	49	44	22	21	21

Figura A.2.4. Análisis biológicos I periodo parte 4

Los puntos 1, 2 y 3 presentaron valores altos del BMWP-CR, lo que indica excelente calidad biológica del agua. En estos sitios se observó gran diversidad de organismos, entre 44 y 49 taxones, además presentaron organismos poco tolerantes a la contaminación, como los géneros *Maccaffertium sp.*, *Atopsyche sp.* y *Anacroneuria sp.* (Cuadros 1 y 2). A pesar de los buenos resultados obtenidos en los puntos 2 y 3, en estos dos sitios se observó mucha basura, como plásticos y desechos domésticos, además de alta abundancia de organismos pertenecientes a la familia Chironomidae, muy resistentes a ambientes acuáticos contaminados y con poco oxígeno, lo que puede ser indicio de contaminación orgánica. Los puntos 4, 5 y 6 presentaron valores bajos del índice BMWP-CR, indicando mala o regular calidad biológica del agua. La totalidad de organismos en estos sitios son comunes y de amplia distribución en el país, con tolerancia media a la contaminación, como las familias Elmidae, Baetidae y Leptohiphidae. Es probable que en estos sitios

Cuadro II. Resultados del índice BMWP-CR en los 2 puntos de muestreo de la quebrada Numancia y 4 puntos del río Guápiles. Pocosí, 12 diciembre del 2018.

Sitios	1	2	3	4	5	6
Valor del BMWP-CR	121	156	140	58	61	60
Calidad Biológica del agua	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	MALA	REGULAR	MALA

Conclusiones y recomendaciones

- Se encontró una gran cantidad y diversidad de organismos, indicando lo anterior una excelente calidad biológica del agua en los tres primeros sitios de muestreo, esto a pesar de que el primer sitio es justo al lado de la carretera (aunque se observa muy limpio) y los otros dos se encuentran en la ciudad, con presencia de desechos sólidos.
- Los sitios 4, 5 y 6 presentaron menor diversidad de organismos que los primeros sitios, lo cual indicó regular y mala calidad biológica del agua. Estos sitios se adentran mas en la ciudad por lo que es probable que exista contaminación de la fuente de agua.
- Dentro de algunos géneros encontrados, existen especies en peligro de extinción según la lista roja de la UICN, como por ejemplo todos los géneros del orden Odonata. Cabe destacar que no existen claves para la identificación a nivel de especie de la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos, por lo que no se puede saber con exactitud.

Figura A.2.5. Análisis biológicos I periodo parte 5

- Resaltamos la importancia de conservar la zona, pues presenta alta riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos, lo que se relaciona con excelente calidad biológica del agua río arriba.

ANEXOS

Calidad de agua según sumatoria obtenida en el índice BMWP-CR, de acuerdo al reglamento No. 33903 MINAE-S (La Gaceta, Set.2007).

NIVEL DE CALIDAD	BMWP-CR	COLOR
Aguas de calidad excelente	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	Rojo



M.Sc. Jenny Bermúdez Monge
Col. Biol. 1919



Lic. Lidia Avilés Vargas
Col. Biol. 2385

Figura A.2.6. Análisis biológicos I periodo parte 6

ANEXO 3: RESULTADOS FÍSICO- QUÍMICOS II PERIODO DE MUESTREO



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523349 / N 01128189	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 01: Punto 1. Quebrada Numancia.	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección 9:00 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Disueltos (mL/L) **	(82 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,47 ± 0,03)	4500H+ – B
Temperatura (°C) *	(22,2 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) *	(1,0 ± 0,1)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(7,48 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	22	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra recolectada el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.1. Análisis físico-químicos II periodo punto 1

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica**

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523240 / N 01129350	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 03: Punto 2 Río Guápiles	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: Puntual, hora de recolección 10:10 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	(3,6 ± 0,5)	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Disueltos (mg/L) **	(86 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,46 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(22,3 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) *	(1,0 ± 0,1)	4110 – B
Oxígeno Disueltos (mg/L) **	(7,13 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	3,5 x 10 ²	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.2. Análisis físico-químicos II periodo punto 2

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica**

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523398 / N 01129324	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 02: Punto 3. Quebrada Numancia	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección 11:15 a.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	(3,3 ± 0,4)	2540 – D
Sólidos Disueltos (mg/L) **	(78 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,58 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(23,9 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) *	(1,5 ± 0,2)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(7,02 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	34	9221 E

Observaciones

(*) **Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA).** Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) **Ensayos no acreditados.**

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.3. Análisis físico-químicos II periodo punto 3

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523326 / N 01129912	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 04: Punto 4 Río Guápiles	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección 12:30 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Disueltos (mL/L) **	(88 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,09 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(23,6 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) *	(3,2 ± 0,4)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(6,06 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	47	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.4. Análisis físico-químicos II periodo punto 4

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica**

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523231/ N 01130630	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 05: Punto 5 Río Guápiles	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección 1:56 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	< 3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	(4,0 ± 0,4)	2540 – D
Sólidos Disueltos (mg/L) **	(102 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(6,69 ± 0,03)	4500H* – B
Temperatura (°C) *	(25,4 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) *	(5,6 ± 0,7)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(6,19 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	40	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23ª edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.5. Análisis físico-químicos II periodo punto 5

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC

Informe de Resultados de Análisis

Interesado: Municipalidad de Pococí	Fecha Muestreo: 05-02-2019
Solicitado por: Lissy Soto Castro	Fecha Recepción: 06-02-2019
Tipo de Muestra: agua de río	Fecha Inicio análisis: 06-02-2019
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles. GPS: E 00523369 / N 01131237	Fecha Reporte: 13-02-2019
Descripción de la Muestra: Consecutivo 06: Punto 6 Río Guápiles	Código Muestra: 270219
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección 2:30 p.m.	
Muestreado por: Sr. Giovanni Conejo Herrera, personal de CEQIATEC.	
Permiso Sanitario de Funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023	

Análisis	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) **	< 10	5220 – D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) **	<3	5210 – B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	< 3	2540 – D
Sólidos Disueltos (mL/L) **	(121 ± 3)	2540 C
Grasas y Aceites (mg/L) *	< 10	5520 – B
pH a 25 °C *	(7,02 ± 0,03)	4500H+ – B
Temperatura (°C) *	(25,1 ± 0,8)	2550 – B
Nitrato (mg/L) **	(6,4 ± 0,8)	4110 – B
Oxígeno Disuelto (mg/L) **	(6,33 ± 0,05)	4500 O - G
Nitrógeno Amoniacal (mg/L) **	< 0,5	4500 N org - B
Coliformes fecales NMP/100 mL *	26	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

Muestreo dentro del alcance de acreditación realizado por personal de CEQIATEC. Ver alcance en www.eca.or.cr

Metodología: Los análisis y el muestreo fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Figura A.3.6. Análisis físico-químicos II periodo punto 6

ANEXO 4: RESULTADOS BIOLÓGICOS II PERIODO DE MUESTREO

FUNDATEC



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Informe de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada Numancia y el río Guápiles

Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica (FUNDATEC)
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC)
Marzo, 2019

Figura A.4.1. Análisis biológicos I periodo parte 1

Objetivo

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados biológicos de calidad del agua en dos puntos de la quebrada Numancia y 4 puntos del río Guápiles, en Guápiles de Pococí, Limón, Costa Rica.

Metodología

El muestreo fue realizado el día 5 de febrero de 2019, en 2 sitios de la quebrada Numancia y 4 sitios del río Guápiles, bajo condiciones soleadas. El muestreo biológico lo realizó la bióloga Lidia Avilés Vargas. La toma de muestras fisicoquímicas estuvo a cargo de Giovanni Conejo.

Se utilizaron dos métodos de muestreo, ambos son equivalentes. Se realizó colecta directa, que consiste en un muestreo manual con pinzas durante un tiempo efectivo de 120 minutos. En este método se remueven todos los sustratos en los diferentes microhábitats encontrados (piedras, hojarasca, madera), utilizando una red o colador y luego se colocan en una bandeja blanca que facilita la observación de macroinvertebrados, posteriormente los organismos se colocan en viales y se preservan en alcohol al 70%. Además, se utilizó el método de red D, en donde se realiza un muestreo en los diferentes microhábitats con la red D, se hacen tres réplicas de 5 min cada una. La muestra en su totalidad se preserva en alcohol al 90% y se deposita en bolsas plásticas, esta se analiza en el laboratorio. Finalmente, la identificación se realizó al máximo nivel posible en el Laboratorio de Calidad Biológica del Agua del CEQIATEC y se aplicó el índice BMWP-CR, todo lo anterior siguiendo el Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (No.33903 MINAE-S). El material queda depositado en la colección de Entomología Acuática del Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica, tal como lo pide la ley.

Resultados

Se colectó un total de 8746 individuos pertenecientes a 18 órdenes, 42 familias y 63 géneros. El orden con mayor abundancia de organismos fue Ephemeroptera, con 3324 individuos (de los cuales 2687 pertenecían al género *Leptohyphes*), seguido de Trichoptera con 1988; el orden con menor abundancia fue Veneroidea, con solamente un individuo. El sitio con mayor cantidad de organismos fue el sitio 6, con 3213, mientras que el sitio con menos cantidad de individuos fue el sitio 4, con 389. Por otro lado, los sitios con mayor número de taxones fueron los sitios 1 y 6, con 45 y 39 taxones respectivamente, mientras que el sitio con menor diversidad fue el 3, con 20 taxones (Cuadro I).

Figura A.4.2. Análisis biológicos I periodo parte 2

Cuadro I. Abundancia y riqueza taxonómica de macroinvertebrados acuáticos colectados en 6 puntos de la quebrada Numancia y el río Guápiles. Pococí, 5 de febrero del 2019.

Orden/Clase	Familia	Género	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6	
Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	35				12	1	
		<i>Hexanchorus</i>	7						
		<i>Macrelmis</i>	167	5		1	13		
		<i>Microcylloepus</i>					30	74	
		<i>Microcylloepus</i>	205	1		4			
		<i>Neoelmis</i>	1						
		<i>Phanocerus</i>	10						
		Indet.	66						
	Limnichidae	Indet.						8	
	Psephenidae	<i>Psephenus</i>	3	4	1		1	26	
	Staphylinidae	Indet.	7				1		
	Diptera	Ceratopogonidae	Indet.	4				2	11
		Chironomidae	Chironominae		194		192		116
			Orthoclaadiinae			11	40		148
Tanypodinae					1	5		10	
Indet.			118		549		401		
Empididae		<i>Hemerodromia</i>	1	1	7	9	14	9	
Muscidae		Indet.		2	3	1			
Psychodidae		<i>Maruina</i>					3	37	
		Indet.				1			
Simuliidae		<i>Simulium?</i>	27	5			4	43	
Tipulidae		<i>Limonia?</i>	6						
		Indet.	1			1	2	4	
Ephemeroptera		Baetidae	<i>Americabaetis</i>	1	3	1	5		4
			<i>Baetodes</i>	3	2		3	35	51
	<i>Camelobaetidius</i>		6			2	1		
	Indet.		76		3		6		
	Leptohyphidae	<i>Asioplax</i>	4				1		
		<i>Leptohyphes</i>	385	29	5	25	653	1590	
		<i>Tricorythodes</i>	51	17	5	11	85	80	
		<i>Vacupernius</i>		1		6	13	15	
		<i>Farrodes</i>	86	2			14	30	
		<i>Thraulodes</i>	9					5	
Trichoptera	Glossosomatidae	Indet.						1	
	Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>	7						
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	113	83	172	3	361	201	
		<i>Smicridea</i>	70	59	24	22	274	400	
	Hydroptilidae	<i>Alisotrichia?</i>				1		4	
		<i>Anchitricia</i>						5	
		<i>Anchitricia?</i>			3		3		
		<i>Hydroptila</i>	113				26		
		<i>Metrichia</i>						3	
		<i>Ochrotrichia</i>						3	
	Indet.					1			
Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	9					23		
Xiphocentronidae	Indet.	4							
Odonata	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>				1	4	1	

Figura A.4.3. Análisis biológicos I periodo parte 3

	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	8				1	4
		<i>Enallagma?</i>		7	7		1	
	Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	2	1	1			
		<i>Dythemis</i>	3					
		Indet.				1	2	3
	Platystictidae	<i>Palaemnema</i>						1
Hemiptera	Hebridae	<i>Hebrus</i>	13					
	Mesoveliidae	<i>Mesoveloidea</i>	28					
	Naucoridae	<i>Cryphocricos</i>	15	1				
	Veliidae	<i>Rhagovelia</i>	22		1			1
Lepidoptera	Crambidae	<i>Petrophila</i>	32				4	2
Megaloptera	Corydalidae	<i>Corydalus</i>	2				1	
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	8					
Collembola	Indet.	Indet.	6					
Trombidiformes	Indet.	Indet.	5	1	2	3	1	12
Basommatophora	Physidae	Indet.		19	1	25	2	
	Planorbidae	Ancylinae				7		64
		Indet.			19		39	
Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Indet.	5	2	6	16	26	137
	Thiaridae	Indet.			4		3	1
Veneroida	Sphaeriidae	Indet.					1	
Ostracoda	Indet.	Indet.	1				33	12
Hirudinea	Indet.	Indet.				2	1	
Turbellaria	Planariidae?	Indet.	4	10		1	10	73
Oligochaeta	Indet.	Indet.	8		19	1	8	
		Total de individuos	1757	461	833	389	2093	3213
		Total de taxa	45	25	20	27	38	39

Los puntos 1 y 6 presentaron valores altos del BMWP-CR, lo que indica excelente calidad biológica del agua. En estos sitios se encontraron organismos poco tolerantes a la contaminación, como los géneros *Atopsyche* sp. y *Anacroneuria* sp. El punto 5 estuvo a una unidad de tener excelente calidad biológica del agua (Cuadros I y II). Los demás sitios presentaron calidad de agua regular, siendo abundantes las familias con tolerancia media o alta a la contaminación, como Leptohipidae, Hydropsychidae y Chironomidae. La totalidad de organismos en estos sitios son comunes y de amplia distribución en el país.

Cuadro II. Resultados del índice BMWP-CR en los 2 puntos de muestreo de la quebrada Numancia y 4 puntos del río Guápiles. Pococí, 5 de febrero del 2019.

Sitios	1	2	3	4	5	6
Valor del BMWP-CR	137	74	65	75	119	126
Calidad Biológica del agua	EXCELENTE	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENA	EXCELENTE

Al comparar los valores del índice BMWP-CR del presente muestreo con los del muestreo realizado en diciembre del año 2018, en la mayoría de los sitios la calidad biológica del agua mejoró, con la

Figura A.4.4. Análisis biológicos I periodo parte 4

excepción de los sitios 2 y 3 que bajó de excelente a regular (Cuadro III). Estos cambios (mejoras o declines de la calidad biológica del agua) pueden deberse a varios factores, por ejemplo la disminución del caudal en el segundo muestreo, posibles cambios en el vertido de contaminantes, entre otros factores.

Cuadro III. Comparación de la calidad biológica del agua (índice BMWP-CR) en diciembre 2018 y febrero 2019, en los 2 puntos de muestreo de la quebrada Numancia y 4 puntos del río Guápiles. Pococí, 5 de febrero del 2019.

Sitio	Índice BMWP-CR	
	Diciembre 2018	Febrero 2019
1	EXCELENTE	EXCELENTE
2	EXCELENTE	REGULAR
3	EXCELENTE	REGULAR
4	MALA	REGULAR
5	REGULAR	BUENA
6	MALA	EXCELENTE

Conclusiones y recomendaciones

- En el presente muestreo se encontró gran cantidad y diversidad de organismos principalmente en los sitios 1, 5 y 6, siendo estos sitios los que mostraron mejor calidad biológica del agua. Los otros sitios presentaron regular calidad biológica del agua.
- Al igual que en el muestreo anterior se observó gran cantidad de basura sólida y desechos domésticos, principales en los puntos 2,3 y 5, además de vertido de aguas grises.
- Dentro de algunos géneros encontrados, existen especies en peligro de extinción según la lista roja de la UICN, como por ejemplo todos los géneros del orden Odonata. Cabe destacar que no existen claves para la identificación a nivel de especie de la mayoría de los macroinvertebrados acuáticos, por lo que no se puede saber con exactitud.
- La alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos demuestra la importancia de conservar la zona, el sitio 1 en ambos muestreos presentó excelente calidad biológica del agua debido a que tiene menos influencia antropogénica (está río arriba), sin embargo el sitio 6 en el segundo muestreo también presentó calidad excelente, cuando en el muestreo anterior había

Figura A.4.5. Análisis biológicos I periodo parte 5

mostrado calidad mala. Se recomienda seguir con el monitoreo, para poder analizar los cambios observados en la calidad biológica del agua.

ANEXOS

Calidad de agua según sumatoria obtenida en el índice BMWP-CR, de acuerdo al reglamento No. 33903 MINAE-S (La Gaceta, Set.2007).

NIVEL DE CALIDAD	BMWP-CR	COLOR
Aguas de calidad excelente	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	Rojo



M.Sc. Jenny Bermúdez Monge
Col. Biol. 1919



Lic. Lidia Avilés Vargas
Col. Biol. 2385

Figura A.4.6. Análisis biológicos I periodo parte 6

ANEXO 5: METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL

Método área-velocidad con flotador:

Se emplea, especialmente en ríos y canales de sección homogénea. Debe determinarse el área mojada (transversal) de la sección y, luego, media la velocidad del flujo (Lozano, 2013). El procedimiento es el siguiente:

- Se elige una distancia “ d ” entre dos transeptos de un tramo recto, de entre 5 a 10 metros de longitud (Figura A.5.1).
- Debe calcularse el área media de la sección del transepto 1 (ubicado aguas arriba), como el producto del ancho por la profundidad media. Para esta determinación se mide el ancho del río o canal y se divide en segmentos a intervalos regulares, se mide la profundidad de los intervalos. La división en segmentos se realiza empleando el criterio del Cuadro A.5.1.

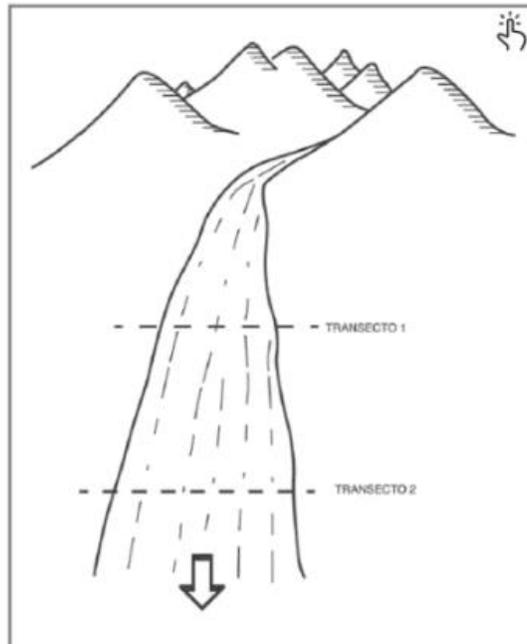


Figura A.5.134. Establecimiento de los transeptos para aforo

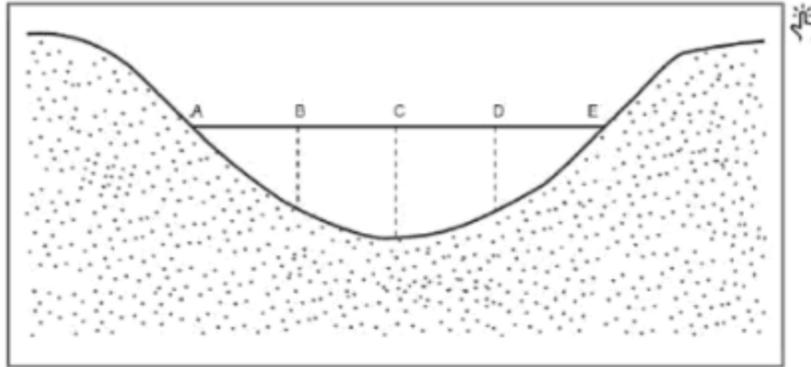


Figura A.5.2. Segmentos de cauce en la sección del transecto

Cuadro A.5.119. Criterios de selección de los intervalos para aforo de aguas superficiales

Ancho (m)	<1,0	1,0 a 2,0	2,0 a 4,0	4,0 a 10,0	10,0 a 30,0	>30,0
# segmentos o criterio de selección de intervalo	3	5 a 10 (cada 0,2m)	4 a 8 (cada 0,5m)	4 a 10 (cada 1m)	5 a 15 (cada 1m)	Cada 3 a 5m

- Se mide la profundidad de cada punto del intervalo divisor de los segmentos. Para el ejemplo mostrado en la Figura A.5.2, el río se ha dividido en 4 segmentos (AB, BC, CD y DE); se miden las profundidades de los puntos B, C y D. Como la profundidad en las orillas (puntos A y E) es de 0 (cero), se promedian sólo las profundidades con valor (B, C y D) para determinar la profundidad media.
- El área se calcula considerando un rectángulo equivalente con una base igual al ancho del río y unas alturas iguales a la altura promedio.

$$A = \text{ancho del río} * \left(\frac{B+C+D+\dots+n}{n} \right) \text{ (A.5.1)}$$

- Se realiza el mismo procedimiento para la sección del transepto aguas abajo, promediando las dos áreas transversales de ambos transeptos. Esta será el área “A” (A.5.1), de la sección de aforo.
- Se arroja un objeto flotante aguas arriba del transepto 1 (corcho, papel, pelota) y se mide, con cronómetro, el tiempo que tarda en recorrer la distancia “L” entre los dos transeptos. El procedimiento se repite 5 veces y se promedian los resultados. Esta será la velocidad superficial “ V_{sup} ” de la corriente.

$$V_{sup} = \frac{L}{t} \text{ (A.5.2)}$$

Donde:

V: Velocidad superficial del flujo (m/s)

L: Distancia conocida en el tramo del canal (m)

t: Tiempo en que tarda el objeto flotante en recorrer la distancia d

Una vez que se halle esta velocidad superficial “ V_{sup} ” (A.5.2), debe considerarse que está es mayor que la velocidad media “ V_m ” (A.5.3), de flujo. Por esta razón, debe afectarse por un coeficiente cuyo valor más frecuente es 0,85.

$$V_m = 0,85 * V_{sup} \text{ (A.5.3)}$$

El caudal será

$$Q = A * V_m \text{ (A.5.4)}$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

A: Área transversal de la sección mojada (m^2)

V_m : Velocidad media del flujo (m/s)

ANEXO 6: METODOLOGÍA PARA OBTENER EL PORCENTAJE DE SATUACIÓN DE OXÍGENO (PSO)

Los valores de saturación de OD (OD_{sat}) para varias temperaturas se puede calcular utilizando la fórmula de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (Comité de Investigación de Ingeniería Sanitaria de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil, 1960) citado por (Lin, 2014):

$$OD_{sat} = 14,652 - 0,41022T + 0,0079910T^2 - 0,000077774T^3 \quad (A.6.1)$$

Donde:

OD_{sat} : Concentración de saturación de oxígeno disuelto (mg/L)

T : Temperatura del agua (°C)

Esta fórmula representa los valores de saturación para el agua destilada ($\beta = 1,0$) a la presión del nivel del mar. Las impurezas del agua pueden aumentar el nivel de saturación ($\beta > 1,0$) o disminuir el nivel de saturación ($\beta < 1,0$), dependiendo de las características del contaminante. Para la mayoría de los casos, se supone que β es la unidad. Los valores OD_{sat} calculados a partir de la ecuación (A.6.1) se enumeran en el Cuadro A.6.1 para temperaturas del agua que varían de cero a 30 °C (Lin, 2014).

Cuadro A.6.1. Valores de saturación de oxígeno disuelto (mg /L)

T (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13,86	13,82	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17

4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,90	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8,08	8,07	8,05	8,04
26	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,90	7,89
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45

30	7,44	7,42	7,41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Las concentraciones de saturación de OD generadas por la fórmula deben corregirse por las diferencias en la presión del aire causadas por los cambios de temperatura y por la elevación sobre el nivel del mar. El factor de corrección se puede calcular de la siguiente manera (Lin, 2014):

$$f = \frac{2116,8 - (0,08 - 0,000115A)E}{2116,8} \quad (\text{A.6.2})$$

Donde:

f: Factor de corrección por encima del nivel del mar

A: Temperatura del aire (°C)

E: Elevación del sitio por encima del nivel del mar (m)

Con dicho factor se calcula el OD_{sat} corregido:

$$OD_{sat \text{ corregido}} = OD_{sat} * f \quad (\text{A.6.3})$$

Con lo que se obtiene el porcentaje de saturación de oxígeno (PSO) (Roldán & Ramírez, 2008):

$$PSO (\%) = OD_{sat \text{ corregido}} * \frac{100}{OD_{teó}} \quad (\text{A.6.4})$$

Donde:

PSO: Porcentaje saturación de oxígeno (%)

OD_{sat} corregido: Oxígeno disuelto experimental (mg/L)

OD_{teó}: Oxígeno disuelto teórico (mg/L)