

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

**"Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres: Estrategias
para la Reducción de la Contaminación en ríos de Oreamuno y Cartago, Costa Rica"**

Rebeca de los Ángeles Camacho Jiménez

Cartago, Julio, 2024.

TEC | Tecnológico
de Costa Rica **ingeniería
ambiental**



GOBIERNO
DE COSTA RICA



"Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres: Estrategias para la Reducción de la Contaminación en ríos de Oreamuno y Cartago, Costa Rica"

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

GUILLERMO DE JESUS CALVO BRENES (FIRMA) Digitally signed by GUILLERMO DE JESUS CALVO BRENES (FIRMA)
Date: 2024.09.21 19:38:30 -06'00'

Dr. Guillermo de Jesús Calvo Brenes
Director

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DORIAN MAURICIO CARVAJAL VANEGAS (FIRMA)
Fecha: 2024.09.19 12:40:41 -06'00'

M.Sc. Dorian Carvajal Vanegas
Lector 1

NATALIA GAMBOA ALPIZAR (FIRMA) Firmado digitalmente por NATALIA GAMBOA ALPIZAR (FIRMA)
Fecha: 2024.09.18 19:10:36 -06'00'

MAP. Ing. Natalia Gamboa Alpizar
Lectora 2

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DAVID ISASI HERNANDEZ PARRA (FIRMA)
Fecha: 2024.09.27 11:48:20 -06'00'

M.Sc. David Hernández Parra
Coordinador(a) COTRAFIG

GUILLERMO DE JESUS CALVO BRENES (FIRMA) Digitally signed by GUILLERMO DE JESUS CALVO BRENES (FIRMA)
Date: 2024.09.21 19:39:14 -06'00'

Dr. Guillermo de Jesús Calvo Brenes
Director Escuela de Química

TEC | Tecnológico de Costa Rica Firmado digitalmente por DIANA ALEXANDRA ZAMBRANO PIAMBA (FIRMA)
Fecha: 2024.09.26 14:34:52 -06'00'

M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi mamá Tatiana, quien me dio la vida, mi nombre, me sacó adelante con su amor siempre incondicional, me escuchó y motivó cada vez que creí no poder más, mis logros son tus logros, te amo Ma. A mi papá Deyni, quien es mi ángel, me ama y me ha cuidado en cada uno de mis pasos.

Le dedico esta tesis a todas las personas y comunidades que resisten y trabajan por la protección de los ríos, en especial aquellos que están más abandonados, son mi inspiración.

Desde lo más profundo de mi corazón, esta tesis está dedicada al Río Toyogres, quien es mi amigo, me ha visto crecer y evolucionar en mis distintas etapas académicas y personales, gracias, Río, por sacar lo mejor de mí. Lo estamos logrando, este es solo el comienzo.

Los sueños se cumplen, esta tesis es un ejemplo de que es cierto.

¡Ríos para la vida, no para la muerte!

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia por todas sus formas de apoyo durante estos años de universidad. Con ustedes he enfrentado grandes retos que me hacen la profesional de hoy. Gracias siempre, Ma, Pa, Gabri, Sebas, Juli y Lunita. A mis gatos que me acompañaron en las traspasadas y ayudaron en momentos de frustración e interminables horas de escritura, mi Pecho y mi Caramelo.

Agradeceré siempre, a cada una de las personas que sumaron a este proyecto, que se vieron genuinamente interesados por el progreso y hallazgos del trabajo.

- A mi profesor tutor Guillermo Calvo, mis lectores de tesis Natalia Gamboa y el profesor Dorian Carvajal por su comprensión, consejos, creer en mí y enseñarme tanto, hicieron de este proyecto una de las mejores experiencias de mi vida.
- A la profesora e investigadora Andrea Quesada quien me acompañó atenta y amablemente con los análisis microbiológicos, a Marco asistente de los laboratorios de Ing. Ambiental por ayudarme tanto y acompañarme en el proceso como un gran amigo, al Profe David por su atención, motivación y tan valiosas retroalimentaciones siempre.
- A cada funcionario del TEC que hizo posible los muestreos: a la directora de carrera y profesora Diana Zambrano por todo su apoyo, a Adriana, la secretaria de la carrera, que se esmeró por hacer posible cada muestreo, a los transportistas del TEC, en especial a Don German, por ser atentos, pacientes y sus divertidas historias.
- A los vecinos del Río Toyogres que me permitieron acceder a sus propiedades para tomar las muestras: Don Asdrúbal y familia, Doña Yamileth y esposo, Don Jorge Gómez, Doña Eugenia Quirós y su hijo, Daniel Brenes.
- A los estudiantes de Ingeniería Ambiental y futuros profesionales quienes fueron mis asistentes en muestreos: Santiago, José Mariano, Kaleb, Rebeca, Alberto y Mary Paz, sin ustedes no hubiera sido posible.
- A todos los participantes de los talleres: ciudadanos y funcionarios de instituciones, muchas gracias por su valioso tiempo y aportes.
- A los patrocinadores de esta tesis: el CEQIATEC para reactivos, materiales y análisis de muestras, la carrera de Ingeniería Ambiental para los muestreos, el Proyecto TEVU en la parte participativa, ambos fueron un apoyo esencial para que esta tesis fuera posible.

Gracias a mis mejores amigas Fer y Vale por nunca abandonarnos y motivarnos juntas en todos estos años, las experiencias son inolvidables y nada hubiera sido igual sin ustedes.

A Dani por acompañarme y ser mi confidente en este proceso, gracias.

A mis amigos, amigas y familiares por apoyarme, estar pendientes de este proceso, valoro de corazón cada conversación, lo atentos que fueron y sus palabras de aliento.

A cada una de las personas que se cruzó en mi camino en esta etapa académica.

Gracias a la música por acompañarme y abrazarme en cada momento, clave de mi inspiración y calma.

Finalmente, gracias a mí misma por ser valiente, optimista, creer en esta idea, decidir aventurarme con confianza y a la vez, incertidumbre a este increíble proyecto. ¡Por los ríos!

TABLA DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo general	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Importancia de la salud ecológica de los ríos urbanos	18
2.2 Factores que influyen en la calidad del agua de la microcuenca	18
2.2.1 Ciclo hidrológico	18
2.2.2 Geomorfología	20
2.2.3 Características del suelo	20
2.2.4 Cobertura, cambios y uso del suelo	21
2.2.5 Cobertura riparia y conectividad biológica	22
2.3 Situación ambiental de los ríos urbanos	24
2.3.1 Fuentes de contaminación de los ríos	24
2.3.2 A nivel nacional	24
2.3.3 Microcuenca del Río Toyogres	27
2.3.4 Calidad de agua superficial	31
2.4 Abordaje para reducir la contaminación en los ríos	32
2.4.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en las cuencas hidrográficas	33
2.4.2 Plan de Gestión Comunitaria (PGC)	34
III. METODOLOGÍA	36
3.1 Enfoque, tipo y diseño de la investigación	36
3.2 Abordaje de los objetivos	36

3.2.1 Muestréos de calidad de agua	36
3.2.2 Análisis físicoquímico y microbiológico	38
3.2.3 Evaluación de la calidad del agua	38
3.2.4 Distribución de la cobertura del suelo	41
3.2.5 Espacios participativos: Acciones de mejora para el Río Toyogres	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Evaluación del nivel de contaminación del Río Toyogres	44
4.2 Determinación de la cobertura del suelo en la microcuenca del Río Toyogres ..	55
4.3 Desarrollo participativo de acciones de mejora para la microcuenca del Río Toyogres	64
V. CONCLUSIONES	72
VII. BIBLIOGRAFÍA	75
VIII. APÉNDICES	83
IX. ANEXOS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo hidrológico del agua según [15].	19
Figura 2.2: Características del suelo según [14], [18].	20
Figura 2.3: Ubicación de la microcuenca dentro del COBRI SURAC.	23
Figura 2.4: Ubicación de la microcuenca dentro de la provincia de Cartago.....	27
Figura 2.5: Resultados de la calidad de agua para el CCME QWI y el NSF WQI en los puntos S1-S4 Toyogres: (I) época seca 2012, (II) época lluviosa 2013 [39].	29
Figura 2.6: Mapa de conectividad de la microcuenca del Río Toyogres según [27].	31
Figura 3.1: Puntos definidos para el muestreo del Río Toyogres.....	37
Figura 4.1: Precipitación mensual en el año 2023.....	45
Figura 4.2: Relación precipitación mensual vs. Resultados calidad de agua para coliformes fecales.	45
Figura 4.3: Relación precipitación mensual vs. Resultados calidad de agua para nitratos. .	49
Figura 4.4: Cobertura del suelo de la Microcuenca del Río Toyogres.	56
Figura 4.5: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 1 y 2.	59
Figura 4.6: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en punto de muestreo 3.	60
Figura 4.7: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 4 y 5.	61
Figura 4.8: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 6 y 7.	62
Figura 4.9: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 8 y 9.	63
Figura 4.10: Distribución en porcentaje de la cobertura del suelo en áreas de protección de ríos y quebradas de la Microcuenca del Río Toyogres.....	63

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1: Crecimiento poblacional en 12 años, en los distritos pertenecientes a la microcuenca del Río Toyogres.	30
Cuadro 3.1: Puntos de muestreo del Río Toyogres para la evaluación de su calidad de agua.	37
Cuadro 3.2: Fórmulas para el cálculo del subíndice (SI) para varios indicadores de la calidad del agua a través de una estandarización de la concentración de cada indicador.	39
Cuadro 3.3: Clasificación de la calidad del agua por rangos y calidades.	40
Cuadro 4.1: Resultados subíndices Coliformes fecales según fórmula de [47].	44
.....	44
Cuadro 4.2: Resultados subíndice Demanda Bioquímica de Oxígeno según fórmula de [47].	47
.....	47
Cuadro 4.3: Resultados subíndice Oxígeno disuelto según fórmula de [47].	48
Cuadro 4.4. Resultados subíndice Nitratos según fórmula de [47].	48
Cuadro 4.5: Resultados subíndice Amonio según fórmula de [47].	50
Cuadro 4.6: Resultados subíndice Fosfatos según fórmula de [47].	51
Cuadro 4.7: Resultados subíndice Turbiedad según fórmula de [47].	51
Cuadro 4.8: Resultados subíndice Alcalinidad según fórmula de [47].	52
Cuadro 4.9: Resultados subíndice Potencial de Hidrógeno según fórmula de [63].	53
Cuadro 4.10: Resultados generales: Índice de Calidad de Agua Superficial Río Toyogres según fórmula de [47].	54
Cuadro 4.11: Distribución de la cobertura del suelo en la Microcuenca del Río Toyogres.	57
Cuadro 4.12: Identificación de aspectos positivos y negativos sobre el recurso hídrico en cuatro distritos de la microcuenca del Río Toyogres.	66
Cuadro 4.13: Identificación de actores sociales y posibles soluciones a los retos destacados en cada comunidad.	67

Cuadro 4.14: Propuesta de Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres dirigida a la minimización de la contaminación del agua y el mejoramiento de su calidad superficial..... 69

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADI: Asociación de Desarrollo Integral

AP: Área de protección

ARESEP: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

ASADAS: Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunes

AYA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

BMWP-CR: Biological Monitoring Water Party

CCCI: Consejos Cantonales de Coordinación Institucional

CCME WQI: Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index

CBI: Corredores Biológicos Interurbanos

CEQIATEC: Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos del TEC

CICA: Centro de Investigación en Contaminación Ambiental de la UCR

CIPA: Centro de Investigación en Protección Ambiental del TEC.

CF: coliformes fecales.

COBIRIS-PÁEZ: Comisión para el Manejo y la Recuperación de la Subcuenca del Río Birrís y Páez

COMCURE: Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la cuenca del Río Reventazón

CO_2 : dióxido de carbono.

DA: Dirección de Aguas

DBO_5 : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días.

GEE: Google Earth Engine

GIRH: Gestión Integral del Recurso Hídrico

ICA: Índice de Calidad de Agua

INA: Instituto Nacional de Aprendizaje

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

INVU: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo

km^2 : kilómetros cuadrados

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MEP: Ministerio de Educación Pública

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MIVAH: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos

NH_3 : amoniaco

NH_4^+ : amonio

NO_3^- : nitratos

NMF WQI: National Sanitation Foundation Water Quality Index

OCA: Observatorios Ciudadanos del Agua

OD: oxígeno disuelto

OET: Organización de Estudios Tropicales

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONGs: Organizaciones no gubernamentales

pH: potencial de hidrógeno

PNUD: Programa de las Naciones Unidas

PO_4^{3-} : fosfatos

QGIS: Quantum GIS

SENARA: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

SI: subíndices

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SIMOCUTE: Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

SINIGIRH: Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico

SUAs: Sociedades Usuarias de Agua de Riego

SWAT: Soil & Water Assesment Tool

TEC: Tecnológico de Costa Rica

TEVU: Proyecto Transición hacia una Economía Verde Urbana.

TPRH: Tarifa de Protección para el Recurso Hídrico

UCR: Universidad de Costa Rica

WQI: Water quality index

RESUMEN

La contaminación severa de quebradas y ríos urbanos es uno de los problemas más graves en Costa Rica, la cual se encuentra directamente vinculada a la falta de infraestructura sanitaria adecuada, al crecimiento descontrolado en las áreas urbanas y rurales y la falta de destinación de fondos para mejorar las condiciones actuales. El Río Toyogres ubicado en los cantones de Cartago y Oreamuno, no es la excepción, de forma que, el cometido principal de este trabajo es elaborar una propuesta de Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres que permita reducir la contaminación del agua que llega al río y mejorar su calidad superficial. Un Plan de Gestión Comunitaria es un documento que permite buscar mejoras continuas a partir del análisis de una situación actual, teniendo como raíces la participación e integración de las personas de un territorio en su formulación y ejecución. Para la línea base de la situación actual, se evaluó la calidad de agua del río de forma integral por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos y el uso del innovador Índice de Calidad de Agua ICA Calvo-Tec con lo que se encontró una severa afectación por altos niveles de contaminación. A la vez, la distribución de la cobertura del suelo en la microcuenca permitió analizar y asociar el uso que se le está dando al suelo con la contaminación encontrada en el río. Mientras que, con tres actividades participativas involucrando a actores sociales comunitarios e institucionales de la microcuenca se logró identificar participativamente retos prioritarios y construir soluciones, plasmadas en un Plan de Gestión Comunitaria, documento que marca los pasos a seguir para la reducción de la contaminación en el Río Toyogres.

Palabras clave: plan de gestión comunitaria, reducción de la contaminación, ICA, microcuenca, Río Toyogres

ABSTRACT

Severe pollution of urban streams and rivers is one of the most serious problems in Costa Rica, which is directly linked to the lack of adequate sanitary infrastructure, uncontrolled growth in urban and rural areas and the lack of allocation of funds to improve current conditions. The Toyogres River, located in the cantons of Cartago and Oreamuno, is no exception, so the main purpose of this work is to elaborate a proposal for a Community Management Plan for the Toyogres River micro-basin that allows minimizing the contamination of the water that reaches the river and improve its surface quality. A Community Management Plan is a document that allows for continuous improvements to be sought based on the analysis of a current situation, having as its roots the participation and integration of the people of a territory in its formulation and execution. For the baseline of the current situation, the quality of the river's water was evaluated comprehensively through physicochemical and microbiological analyzes and the use of the innovative ICA Calvo-Tec Water Quality Index, which found a severe impact by high levels of pollution. In turn, the distribution of soil cover in the micro-basin made it possible to analyze and associate the use that is being given to the soil with the contamination found in the river. Meanwhile, with three participatory activities involving community and institutional social actors from the micro-basin, it was possible to participatively identify priority challenges and build solutions, embodied in a Community Management Plan, a document that marks the steps to follow to reduce pollution in the Toyogres River.

Key words: community management plan, pollution reduction, WQI, microbasin, Toyogres River

I. INTRODUCCIÓN

Los ríos juegan un papel esencial en el desarrollo económico, social y cultural de las comunidades, debido a que es un recurso natural que está asociado a prácticamente todas las actividades humanas [1]. A nivel mundial, el acceso a agua potable y el saneamiento es un derecho humano [2]. No obstante, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades del mundo se debe a problemas relacionados con el agua [3].

Los ríos, independientemente de su ubicación geográfica, ofrecen múltiples beneficios ecológicos siendo esenciales para asegurar el bienestar social y desarrollo económico de los pueblos y ciudades. Conservarlos adecuadamente es una herramienta para proteger a la sociedad de amenazas naturales y eventos climáticos extremos, tales como inundaciones, control de escorrentías y en especial, efectos del cambio climático. Los ríos deberían ser considerados hábitats prioritarios para la recreación de la sociedad, protección de la biodiversidad y las personas [4].

Sin embargo, cada vez más, los múltiples tipos de desarrollo en zonas urbanas atentan contra la conectividad biológica, lo cual afecta a su vez, el bienestar de las personas. Esta es la realidad en países de bajos y medianos recursos donde el problema de contaminación del agua y del ambiente está llegando a niveles críticos, debido a que las grandes o medianas ciudades no cuentan con plantas de tratamiento de agua y los ríos contaminados terminan afectando a las poblaciones cercanas y los recursos naturales de flora y fauna hasta llegar al océano [5]. Por esto, la evaluación de la calidad del agua de los ríos urbanos es una medida que ha tomado gran importancia a nivel mundial en las últimas décadas [6].

Costa Rica no es la excepción, ya que el país posee grandes contrastes en el uso y conservación de los recursos hídricos y los ecosistemas. La contaminación severa de quebradas y ríos urbanos es uno de los casos más graves de sobreexplotación y calidad de aguas, que se da en el país, la cual está asociada a la falta de una infraestructura sanitaria adecuada, al crecimiento urbano sin control de esas áreas y la falta de destinación de fondos para mejorar las condiciones actuales [7]. Cada vez más, las poblaciones necesitan el

suministro de agua para consumo humano, industria, agricultura, producción de energía [8], sin embargo, a medida que estos retos siguen sin resolverse, los expertos advierten que Costa Rica enfrentará una emergencia hídrica en los próximos años [9].

En los últimos años, las condiciones para propiciar la salud ambiental del Río Toyogres no han cambiado, por el contrario, el crecimiento poblacional y desarrollo intensivo de la agricultura alrededor de la microcuenca parecen haber afectado negativamente la calidad del agua. La ausencia de estudios recientes señala la necesidad de evaluar la calidad del agua del río, basado en las distintas variables fisicoquímicas y microbiológicas en la microcuenca, para establecer medidas de reducción, prevención y control de la contaminación. Con esto en mente, se confeccionó un plan de gestión comunitaria enfocado en la reducción de la contaminación del Río Toyogres, parte del cantón de Cartago y Oreamuno, que permita a las personas que conforman la microcuenca involucrarse y apropiarse de la problemática y restauración del río, lo cual, mejoraría tanto la salud ambiental de los ecosistemas cercanos como también, la calidad de vida de las personas que se benefician de ellos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de plan de gestión comunitaria de la microcuenca del Río Toyogres localizada en Oreamuno y Cartago, dirigida a la minimización de la contaminación del agua y el mejoramiento de su calidad superficial.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el nivel de contaminación del agua superficial mediante el uso del modelo de Índice de Calidad de Agua ICA Calvo-Tec basado en variables físico químicas y microbiológicas.
2. Determinar la distribución de cobertura del suelo alrededor de la microcuenca mediante una clasificación supervisada con el uso de sistemas de información geográfica (SIG).
3. Desarrollar participativamente acciones de mejora para la salud ecológica de la microcuenca.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de la salud ecológica de los ríos urbanos

Los ríos urbanos son ecosistemas complejos y dinámicos, donde distintos elementos de la naturaleza se benefician de sus propiedades y juegan un papel importante en el equilibrio y funcionalidad del ambiente [10]. En estos ecosistemas de agua dulce, suelen anidar y reproducirse la mayoría de los peces; mientras que, los seres humanos usamos el agua para beber, bañarnos, lavar, proveer al ganado, pescar, para riego y disponer aguas contaminadas.

En el pasado, muchas ciudades alrededor del mundo se originaron y desarrollaron alrededor de ríos, los cuales funcionaban como vías de transporte, comunicación, recreación y fuente de alimento [4]. Estos ecosistemas son clave para el desarrollo de la vida en general, la recreación de la sociedad, la protección de la biodiversidad, el control climático y, sobre todo, la seguridad a la población frente a eventos climáticos extremos, tales como inundaciones y otros efectos del cambio climático [10].

2.2 Factores que influyen en la calidad del agua de la microcuenca

La hidrología de las cuencas hidrográficas depende de muchos factores, entre ellos el uso de la tierra, el clima y las condiciones del suelo [11]. Así mismo, el ciclo hidrológico, la geomorfología, la cobertura y cambio de uso de suelo influyen directamente en la calidad del agua dentro de la microcuenca [1].

2.2.1 Ciclo hidrológico

La escasez creciente del agua, un recurso vital para ecosistemas y actividades humanas genera tensiones sociales. La capacidad humana para alterar el ciclo hidrológico, tanto cuantitativa como cualitativamente, agrava esta escasez [12]. El ciclo hidrológico, un equilibrio esencial para los recursos hídricos, comprende varios procesos interrelacionados y que actúan de forma coordinada. La precipitación, que abarca lluvias, granizos y otras formas, constituye la principal entrada del sistema hidrológico en una cuenca. Este fenómeno, además de ser un factor climático clave, está vinculado estrechamente a la erosión del suelo, especialmente en terrenos impermeables con fuertes pendientes y falta de cobertura vegetal [13].

Las salidas del balance hidrológico incluyen la evaporación, donde el agua se convierte en vapor desde superficies líquidas, y la evapotranspiración, que engloba la evaporación del agua retenida en el suelo o sobre las hojas de plantas, así como la transpiración, un proceso donde las plantas absorben y liberan agua. La infiltración, proceso mediante el cual el agua penetra el suelo, depende de factores como el tipo de suelo, su estructura y la presencia de vegetación, que favorece la recarga de mantos acuíferos y reduce la escorrentía superficial [3], [14]. El agua almacenada representa la cantidad retenida en diversas formas en el suelo y cuerpos de agua y la escorrentía, por otro lado, es la cantidad de lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo y fluye superficialmente hacia arroyos, ríos, lagos y océanos. Este último proceso es responsable de la erosión del suelo y en el transporte de contaminantes hacia cuerpos de agua. Además, se ve incrementado cuando se dan prácticas agrícolas, como la labranza, que puede afectar negativamente la infiltración y la recarga de mantos acuíferos, y por otro lado, podrían incrementar la escorrentía y con ellos el transporte de contaminantes a los ríos, afectando el desarrollo humano [3], [14].

La Figura 2.1 permite ejemplificar visualmente el ciclo hidrológico del agua con sus procesos complementarios:



Figura 2.1: Ciclo hidrológico del agua según [15].

Cabe destacar que, la dinámica de la escorrentía en el terreno va a depender de la geomorfología de la microcuenca, de la intensidad y duración de las precipitaciones en el espacio y tiempo y por último, de la cobertura vegetal [3], [14].

2.2.2 Geomorfología

En las cuencas, subcuencas o microcuencas la pendiente es una de las características geomorfológicas que influye en la contaminación de los ríos, especialmente por el comportamiento de los distintos contaminantes, el uso del agua y los impactos positivos o negativos en la cuenca alta. La pendiente, representada por el grado de inclinación del suelo en una región, desempeña un papel predominante ya que las fuertes precipitaciones pueden provocar el desprendimiento de partículas de suelo, desplazándolas hacia abajo con la escorrentía, provocando una mayor erosión del suelo y contaminación de los ríos, en especial donde hay escasez de vegetación [16]. Tal es el caso de la microcuenca del Río Toyogres que en la parte baja donde las zonas son más planas, las pendientes rondan los 0° y 10°, mientras que en la zona media y alta las pendientes pueden llegar a los 35° [17].

2.2.3 Características del suelo

El suelo es una capa fina y fértil que recubre la superficie de la Tierra [3] que posee múltiples características que pueden incidir en los procesos de contaminación de un río, mencionados en la Figura 2.2:

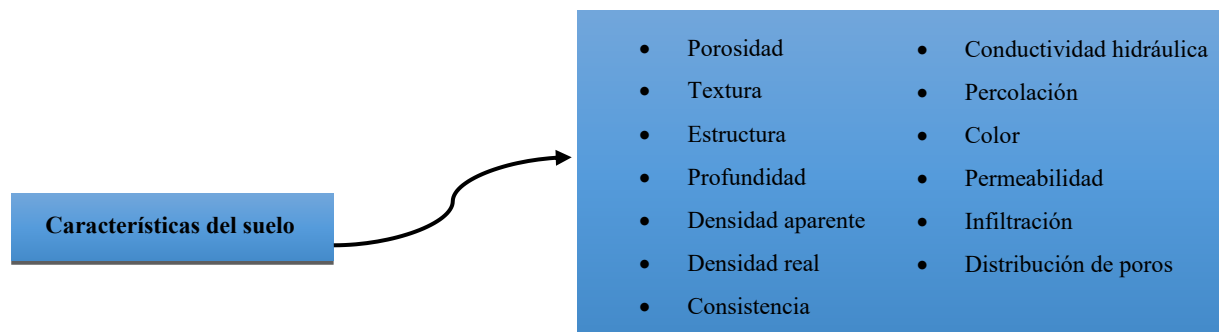


Figura 2.2: Características del suelo según [14], [18].

Dentro de las características del suelo que afectan los procesos erosivos, se encuentra la cobertura vegetal, la cual, con ciertas propiedades como el follaje, la densidad de siembra, la etapa de

crecimiento y su estructura foliar se encargan de reducir la erosión de los suelos al protegerlos del impacto de las gotas de lluvia. También, las raíces favorecen la infiltración, la retención del agua, recarga de mantos acuíferos y ayudan a reducir la velocidad de escorrentía [19].

La degradación del suelo dificulta el crecimiento de la vegetación, lo cual trae repercusiones como: la disminución de la capacidad de absorción del agua y sus nutrientes, deficiencias en la estructura, la impermeabilización del suelo y el aumento de la escorrentía superficial; lo cual provoca el aumento de la erosión en el suelo [4].

2.2.4 Cobertura, cambios y uso del suelo

Así mismo, dentro del ecosistema acuático, el recurso hídrico no solamente engloba el tema del agua y cómo se utiliza, sino que también es fundamental tomar en cuenta otros componentes como la vegetación y el suelo [4] ya que estos se interrelacionan entre sí. Tal es el caso de la cobertura de la tierra, los cambios y usos que se le dan al suelo, pues influyen sobre la calidad del agua.

La cobertura del suelo hace referencia a aquella que se observa sobre la superficie terrestre y se compone de elementos biofísicos como la vegetación, ya sean bosques, pastos, tucotucos, entre otros, así como, las estructuras antropogénicas. El uso del suelo, por su parte, son todas aquellas actividades que se desarrollan en un tipo de cobertura de tierra, para producir sobre ella, mantenerla o cambiarla [20]: algunos ejemplos son el manejo y la conservación de bosques, agricultura, ganadería y pastos y zonas húmedas [21].

Por último, el cambio de uso del suelo hace referencia a cuando se altera, elimina o transforma un ecosistema terrestre natural con el fin de utilizar el espacio físico para desarrollar actividades productivas [3], [18]. Los proyectos urbanísticos, minería a cielo abierto, industrias, complejos turísticos, comercios etc., son actividades potencialmente reconocidas por contribuir al deterioro de la calidad de agua en los ríos, principalmente por los contaminantes que generan y que en muchos casos terminan siendo vertidos o transportados a los cuerpos de agua superficial [3], [18], [22], [23].

2.2.5 Cobertura riparia y conectividad biológica

La cobertura riparia corresponde a franjas vegetales de las zonas de interfase entre las áreas cubiertas ya sea de forma temporal o permanente por los cursos de agua y los terrenos emergidos que los rodean, a estos también se les llaman amortiguadores ribereños [24]. Junto con la cobertura vegetal, estas zonas aportan servicios ecosistémicos permiten la obtención de agua y alimento, previenen deslizamientos de tierra, secuestran carbono, regulan inundaciones y sequías y controlan la calidad de agua al retener y remover sedimentos, materia orgánica, restos de agroquímicos y otros contaminantes provenientes de la escorrentía y de la filtración subterránea [25], [26].

Por otro lado, la conectividad se define como el grado en que el paisaje favorece o impide los desplazamientos de especies entre zonas. Existen dos tipos de conectividad: la estructural y la funcional. La conectividad estructural es aquella en la que influyen los elementos físicos y la diversidad de componentes del paisaje, por ejemplo, la vegetación y cómo se distribuyen las carreteras. Mientras que la conectividad funcional, hace referencia a cómo se comportan las especies con respecto a esos elementos del paisaje. Cuando los parches de cobertura vegetal se encuentran cercanos, la conectividad estructural aumenta, favoreciendo la distribución biológica. En casos contrarios, cuando los parches están aislados y separados por barreras se ve condicionada dicha distribución de especies y consigo la fragmentación de su hábitat [27].

En Costa Rica, estos bosques ribereños y los ríos son áreas de protección (AP) resguardadas por la Ley Forestal [L1] creada en el año 1996, ley que se creó bajo una idea visionaria de conservación del recurso hídrico y sus ecosistemas asociados. Estas áreas de protección son uno de los regímenes especiales de propiedad y protección más antiguos e importantes del país que tienen como objetivo evitar la contaminación y gestionar el riesgo. Un ejemplo de esto es el artículo 33 de la Ley Forestal [L1], en su inciso b), el cual establece que se debe disponer de una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado como parte de las áreas de protección.

Así mismos, cuando los ríos se encuentran en las ciudades se convierten en corredores biológicos interurbanos. Según el Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado-Agua

Caliente (COBRI SURAC) [28], un Corredor Biológico Interurbano (CBI) es un área territorial que proporciona conectividad estructural entre distintos ecosistemas, entre ellos: paisajes, hábitats modificados o naturales. El COBRI SURAC, posee una extensión total de 16.766 ha, colindando a nivel de conectividad con cuatro sitios importantes: el Parque Nacional Volcán Irazú, la Reserva Forestal Cordillera Volcánica Central, la Zona Protectora Cerros de la Carpintera y la Zona Protectora Río Navarro-Río Sombrero. Casi la totalidad de la microcuenca del Río Toyogres es parte del COBRI SURAC (Figura 2.3).

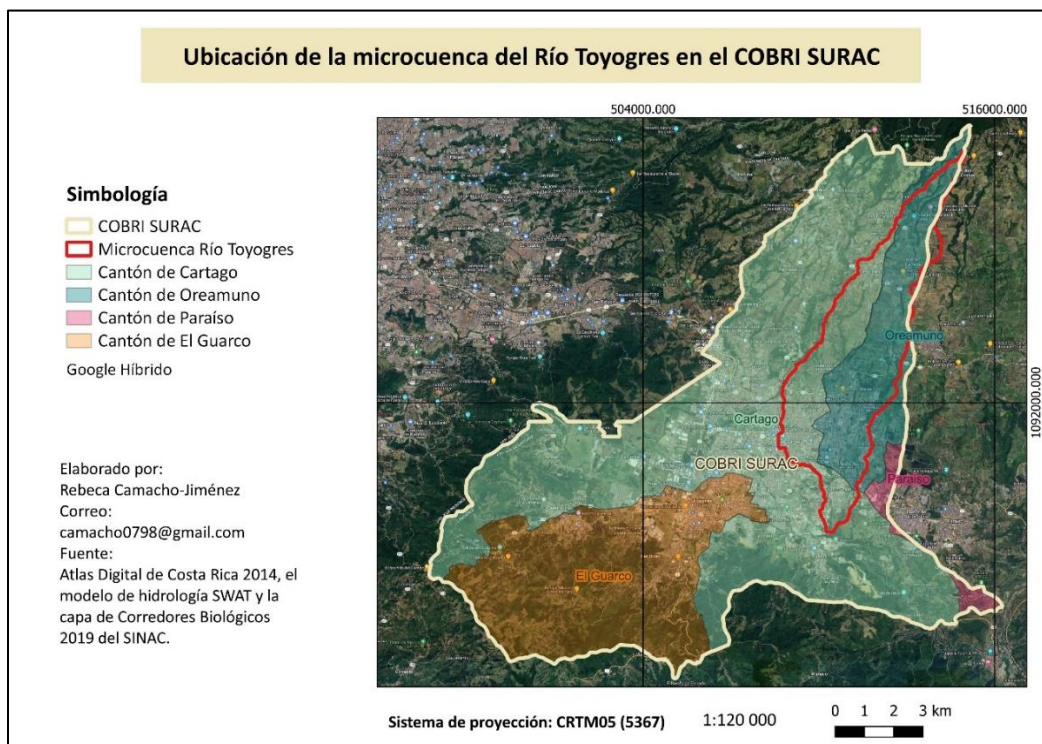


Figura 2.3: Ubicación de la microcuenca dentro del COBRI SURAC.

A pesar de las funciones vitales que cumplen las áreas de protección y del resguardo que la normativa costarricense estableció para estas, actualmente la invasión a estos espacios en microcuencas y nacientes es alto, constantemente normalizado y urgente de solucionar. A su vez, aún más preocupante, existe poca información oficial y sistematizada, sobre el estado de conservación de la mayoría de estos cuerpos de agua.

2.3 Situación ambiental de los ríos urbanos

En algunos países del norte global con recursos económicos elevados se han establecido medidas preventivas, de control y seguimientos rigurosos para garantizar el cumplimiento de sus normativas y la disminución del impacto ambiental en los recursos hídricos. Mientras que, en muchos países de bajos y medianos recursos como Costa Rica, a pesar de su legislación en el tema, sigue presentando desafíos significativos como la correcta canalización de aguas residuales, el establecimiento de plantas de tratamiento en áreas urbanas y el financiamiento respectivo [4], [5].

2.3.1 Fuentes de contaminación de los ríos

Las fuentes de contaminación en tierra se dividen en puntuales y difusas. Las puntuales, son actividades con vertidos directos fácilmente identificables en cuerpos de agua, y las no puntuales, conocidas también como fuentes difusas, son generadas por diversas actividades humanas sin un punto obvio de entrada al agua. Ambos tipos de fuentes de contaminación contribuyen a la mala calidad del agua de ríos, los cuales eventualmente desembocan en mares con concentraciones elevadas [29].

Según Gastezzi et al. y Araya et al. [4], [30], las principales fuentes de contaminación de ríos incluyen descargas residenciales, mal uso de tanques sépticos, vertidos industriales de químicos y residuos, uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, descomposición de residuos sólidos, erosión del suelo y crecimiento urbano no planificado, entre otros. La contaminación de cuerpos de agua, especialmente en ríos, puede dar lugar a enfermedades zoonóticas transmisibles entre animales y humanos, como el cólera y la giardiasis, favorecidas por aguas contaminadas por materia fecal [31]. Estas actividades impactan en hábitats, salud humana, eutrofización y recursos vivos, concentrando sus efectos en las desembocaduras de los ríos y áreas costeras [29].

2.3.2 A nivel nacional

Costa Rica presenta notables contrastes en el uso y conservación de sus recursos hídricos, ecosistemas y medio ambiente. A pesar de los avances distinguidos en la expansión del acceso a servicios de abastecimiento de agua en las últimas décadas, la cobertura de servicios de alcantarillado para la recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas ha sido descuidada.

En la actualidad, las aguas residuales domésticas se descargan en alcantarillados sanitarios o pluviales, o en última instancia, directamente en cuerpos de agua superficial [7].

Esta situación contribuye significativamente a la problemática de sobreexplotación y calidad del agua en ambientes terrestres, costeros y marinos en Costa Rica. Actualmente, la contaminación severa de quebradas y ríos urbanos es uno de los problemas más graves y que se encuentra directamente vinculada a la falta de infraestructura sanitaria adecuada y al crecimiento descontrolado de estas áreas. Específicamente, los ríos urbanos en el Gran Área Metropolitana han excedido su capacidad de carga de contaminación justamente por la gestión incorrecta de residuos, el tratamiento inadecuado de aguas residuales industriales, la descarga directa de aguas residuales domésticas, en la mayoría de los casos y el abandono de áreas de protección de las cuencas. Estas acciones han provocado severas afectaciones, perpetuando la percepción de que la sociedad descuida los cuerpos de agua, considerándolos actualmente como lugares insalubres e inapropiados para el desarrollo de la vida en general [4], [32]. Estas acciones socio ambientales, trascienden a un aspecto cultural altamente arraigado por la población y sus tomadores de decisiones que debe cambiar para recuperar los ríos urbanos del país que cuentan esta historia de negligencia y desamparo.

Normativa costarricense

Existen leyes en materia de protección y conservación del agua, ríos y zonas aledañas entre ellas: la Ley de Aguas [L2] establece un área de protección de 5 metros de ancho a ambos lados del río; la Ley de Tierras y Colonización [L3] obliga a preservar un área de 200 metros en terreno plano y de 300 metros en terreno quebrado en ambos lados del río, la Ley de Protección de Cuencas Hidrográficas [L4] establece 100 metros en terrenos planos y 250 metros en terrenos quebrados, la Ley Forestal [33] establece una zona de protección en ambos lados del río de 10 metros en terreno plano y de 50 metros en terreno quebrado.

A su vez, se han desarrollado reglamentos como el Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones [L5] establece que si la zona a urbanizar se encuentra afectada por un cauce fluvial el área utilizada continúa siendo regida por lo establecido en la Ley Forestal [L1] y debe contar con el visto bueno de la Dirección de Aguas del MINAE. El Reglamento para la Evaluación y

Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales [L6] el cual reglamenta los criterios y la metodología que deben ser utilizados para evaluar la calidad de los ríos, quebradas y arroyos, de forma que permita clasificarlos para distintos usos. También, el Reglamento de Canon Ambiental por Vertidos [L7] se creó para regular el canon por el uso del recurso hídrico para verter contaminantes en los cuerpos de agua. Así mismo, existe un Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica [L8] puesto en marcha entre 2015 y 2020 conocido como el primer esfuerzo interinstitucional que estableció una base para el monitoreo de ríos, quebradas y arroyos en el país.

Adicionalmente, con los años se han lanzado ambiciosas políticas como la Política Hídrica Nacional [L9] que se construyó como marco de acción para atender y solucionar a largo plazo los desafíos en la gestión del agua. Más reciente, se tiene la Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes 2020-2040 [L10] la cual se construyó participativamente para identificar las medidas de protección y necesidades de coordinación interinstitucionales y de involucramiento comunitario para la recuperación y gestión de las AP de los ríos, en la cual, se incluyó el Río Toyogres como parte de los 56 ríos de la Gran Área Metropolitana que se estudiaron para analizar el cumplimiento de la normativa entre el 2011 y el 2013.

Se han creado estrategias como Ríos Limpios: Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030 [L11] la cual busca lograr la recuperación de ríos urbanos a través de cinco líneas: el fortalecimiento de los existentes mecanismos de gobernanza en los territorios, el mejoramiento de la calidad del agua, la gestión integral de los residuos sólidos, la recuperación de los ecosistemas ribereños y la reducción del impacto de las AP invadidas y la implementación de una estrategia de comunicación.

La existencia de un marco legislativo no asegura el cumplimiento de las leyes que protegen los ríos, al contrario, muchas de estas normas se enfocan más en el aprovechamiento de los recursos naturales y no en su conservación [34], lo cual intensifica los procesos de fragmentación en las ciudades, el debilitamiento de sus funciones en los ecosistemas y la pérdida de diversidad biológica [4], [35], [36], [37], [38].

2.3.3 Microcuenca del Río Toyogres

La microcuenca del Río Toyogres, posee un área de drenaje de aproximadamente 2816,8 hectáreas. Los aportes de caudal de parte de quebradas y arroyos tributarios comienzan desde la parte alta del cantón de Oreamuno en el distrito de Potrero Cerrado, mientras que el origen del Río Toyogres se encuentra en el distrito rural de Tierra Blanca del cantón de Cartago (Figura 3.1).

Cuenta con una extensión de 10,18 km de largo, una elevación máxima de 2280 m.s.n.m y una elevación mínima de 1280 m.s.n.m. atravesando los distritos de Tierra Blanca de Cartago, El Carmen de Cartago, San Rafael de Oreamuno, Oriental de Cartago para finalizar en Dulce Nombre de Cartago. Sus aguas drenan finalmente, hacia el Río Agua Caliente, río que desemboca en el río Grande de Orosi para formar el Río Reventazón (Figura 2.4), lo que la hace parte de la subcuenca del Río Reventado-Agua Caliente (Área de Conservación Central) y de la Cuenca del Río Reventazón-Parismina.

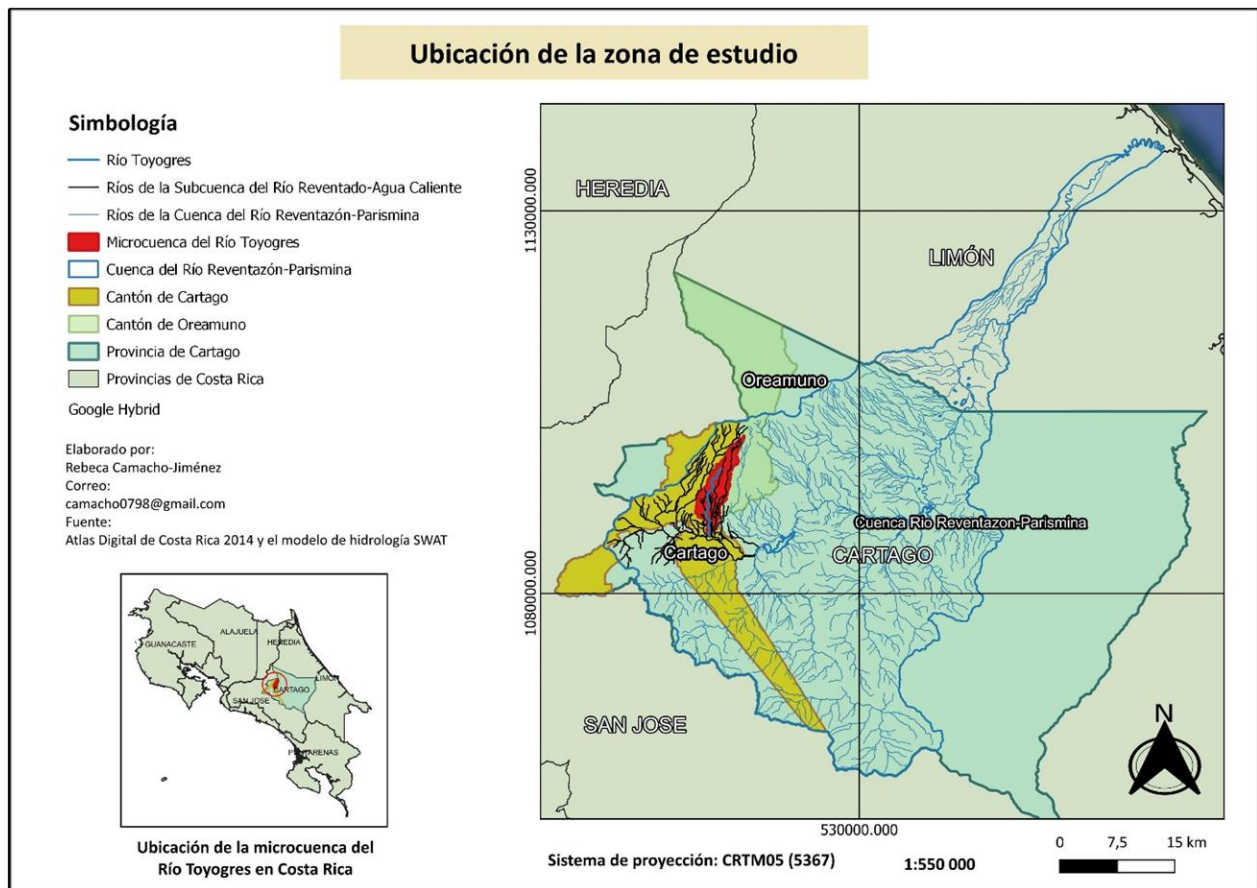


Figura 2.4: Ubicación de la microcuenca dentro de la provincia de Cartago.

La agricultura, predomina en la parte alta de la microcuenca, mientras que, la parte media-baja, está mayormente conformada por uso urbano [17]. La microcuenca del Río Toyogres ha sido estudiada por su morfometría, característica alta pendiente, conectividad estructural, y es reconocida mayormente, por su historial de desborde cuando hay fuertes lluvias y alarmantes índices de contaminación por residuos acuosos y agroquímicos.

Antecedentes de contaminación

Entre 1980 y 1982, el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental de la Universidad de Costa (CICA), estudió la calidad de las aguas de dos ríos, entre ellos el Toyogres, determinando contaminación severa en el agua a través de un índice de calidad de agua “A Water Quality Valuation System” recomendado por el IHE Delft en 1978 para este se analizaron doce indicadores: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, pH, alcalinidad, dureza, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos fijos, sólidos sedimentables, detergentes y temperatura. La conclusión mencionó que las aguas eran inaceptables para el consumo humano y muy poco aptas para el consumo animal, la agricultura y la industria. En ese entonces, aseguraron que la calidad del curso de agua puede recuperarse con medidas sanitarias de tratamiento de aguas residuales [8].

Entre el 2012 y el 2014, la microcuenca fue parte de un estudio denominado “Pesticide occurrence and water quality assessment from an agriculturally influenced Latin-American tropical region” para la determinación de la contaminación por plaguicidas, donde nuevamente, el CICA monitoreó tres ríos de la región norte de la provincia de Cartago, Costa Rica por medio de dos índices de calidad de agua: el Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index y el National Sanitation Foundation Water Quality Index, CCME WQI y NSF WQI respectivamente [39] y 42 tipos de plaguicidas. Uno de los ríos analizados fue el Río Toyogres, donde se concluyó la presencia de la mayor diversidad de plaguicidas con respecto a los otros dos ríos, contabilizando un total de seis plaguicidas: Diurón, Carbendazim, Carbofurano, Oxifluorfen, Tiabendazol y Clorpirifos.

En la Figura 2.5 se muestran los resultados del monitoreo de calidad de agua realizado, donde se puede observar que los puntos S1-S4 correspondientes al río Toyogres, evidencian la mayor contaminación.

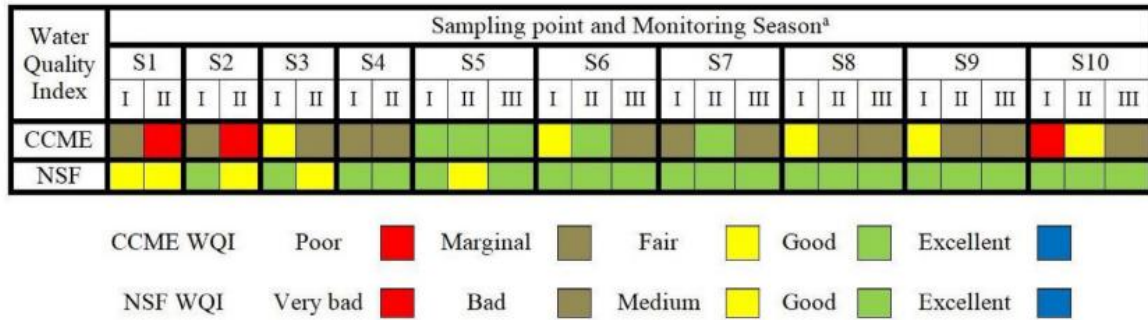


Figura 2.5: Resultados de la calidad de agua para el CCME QWI y el NSF WQI en los puntos S1-S4 Toyogres: (I) época seca 2012, (II) época lluviosa 2013 [39].

Se concluyó que el Río Toyogres presentó los peores índices de calidad de agua durante la época lluviosa. Los puntos de concentración de contaminación ambiental y agroquímica se localizan en la región alta de Tierra Blanca, cerca del poblado de Tierra Blanca, justo donde coexisten importantes actividades urbanas con zonas de cultivo cercanas [39] sitio donde también se origina el Río Toyogres.

Crecimiento poblacional

El creciente desarrollo urbano es un proceso que afecta rápida y fuertemente las cuencas hidrográficas, alterando los componentes del ciclo hidrológico y dificultando la conservación de los recursos naturales [24]. El desplazamiento de la población de las zonas rurales a las urbanas propicia la reclasificación de las zonas rurales en urbanas [40] donde también, ha predominado el crecimiento urbano sin planificación y la falta de vigilancia para el cumplimiento de las normativas por parte de los gobiernos locales. El Cuadro 2.1 muestra cómo se ha dado el crecimiento poblacional específicamente en los distritos de interés para el estudio:

Cuadro 2.1: Crecimiento poblacional en 12 años, en los distritos pertenecientes a la microcuenca del Río Toyogres.

Cantón	Distrito	Área distrito (km ²)	Población 2011	Población 2023	Porcentaje de crecimiento
Oreamuno	San Rafael	10,32	13775	14759	7,15%
	Cot	15	4917	5765	16,43%
	Potrero Cerrado	18,12	1192	1376	14,92%
Cartago	Oriental	2,03	6194	6155	-1,29%
	Carmen	4,35	8909	9750	9,53%
	Tierra Blanca	12,78	2598	2979	14,29%
	Dulce Nombre	33,19	5438	5983	10,15%

Fuente: Estadísticas demográficas 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo. Adaptado de INEC [41].

El crecimiento poblacional que se ha dado en 12 años dentro de la microcuenca del Río Toyogres resulta en un promedio de crecimiento del 12,83% y un 8,17% para el cantón de Oreamuno y Cartago, respectivamente. Los distritos de Potrero Cerrado y Cot en Oreamuno son rurales, siendo Cot el más urbanizado, mientras que, para el caso del cantón de Cartago, solamente Tierra Blanca se considera un distrito rural y es justamente en estos tres distritos mencionados, que se ha dado el mayor crecimiento poblacional con respecto a los demás. Al modificarse el uso de suelo para fines urbanísticos, el terreno se compacta a tal punto que se vuelve infértil, disminuyendo su productividad y provocando la alteración de la cobertura original de las cuencas hidrográficas y su dinámica fluvial [42].

Conectividad estructural del paisaje

En el 2023, se realizó una evaluación de la conectividad estructural del paisaje en la microcuenca del Río Toyogres [27] la cual, reveló la predominancia de las categorías de “Agricultura” e “Infraestructura”, acentuando la fragmentación del paisaje en la zona media de la microcuenca producto del desarrollo urbano (Figura 2.6).

Conectividad 2023 de la microcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica

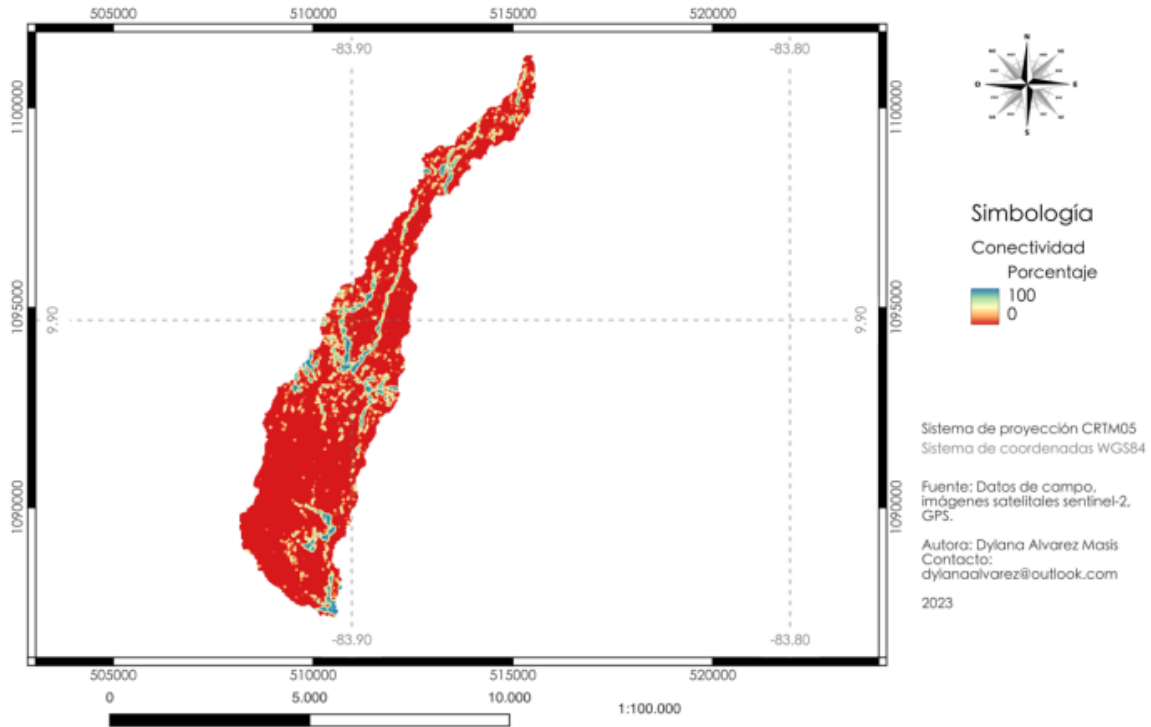


Figura 2.6: Mapa de conectividad de la microcuenca del Río Toyogres según [27].

Con el fin de disminuir dicha fragmentación se establecieron rutas de conectividad de la mano con medidas como la revegetación de AP de los ríos en la microcuenca, la restauración de hábitats, la participación comunitaria e institucional, la promoción de una agricultura sostenible, investigación de la biodiversidad y la evaluación de la eficacia de las acciones que se realicen.

2.3.4 Calidad de agua superficial

La necesidad de evaluar la calidad de agua de los ríos se ha vuelto un tema relevante en miras a minimizar la contaminación que ingresa y, por ende, garantizar el mejoramiento de la salud ecológica de los mismos. La determinación de la calidad de un cuerpo de agua usualmente conlleva el análisis de una cantidad grande de indicadores [43], lo cual dificulta su análisis. Cuando varios indicadores se integran de forma que generan un solo valor, se les denomina índices. Asimismo, un índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color [44].

En este sentido, la legislación costarricense, recomienda el uso de dos índices de calidad de agua en ríos: el índice holandés para valorar la calidad fisicoquímica y el BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party, modificado para Costa Rica) que evalúa la calidad por medio de fauna bentónica [L6]. No obstante, estudios comparativos entre ICAs propuestos, con respecto al índice Holandés, han demostrado que este sobrevalora la calidad de las aguas, principalmente por tratarse de un índice compuesto de solamente tres parámetros de calidad: la demanda bioquímica de oxígeno, el nitrógeno amoniacal y el oxígeno disuelto, parámetros que no permiten una adecuada valoración de la calidad de los ríos al no valorar otros indicadores fisicoquímicos y microbiológicos; mostrando poca sensibilidad a los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que puede sufrir un río entre un período de evaluación y otro [L6], [1], [45], [46], [47].

Índice de calidad de agua superficial ICA Calvo-Tec

En el 2019, el Dr. Guillermo Calvo-Brenes [47] creó un nuevo índice de calidad de agua para ríos de Costa Rica, basado en la realidad ambiental del país, proponiendo una nueva metodología de cálculo. Este índice valora los cuerpos superficiales de forma integral y completa, llevando como nombre ICA Calvo-Tec. Su aplicación tiene la virtud de tomar en cuenta el entorno socioambiental y normativa costarricense generando resultados muy realistas.

Este índice requiere del cálculo de subíndices (SI) de nueve indicadores fisicoquímicos y microbiológicos: alcalinidad, amoníaco (NH_3), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fosfatos (PO_4^{3-}), nitratos (NO_3^-), oxígeno disuelto (OD), pH, turbiedad y coliformes fecales (CF) [1]. Así mismo, el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales costarricense [L6] clasifica la calidad del agua en cinco clases diferentes que, a su vez, se relacionan con 11 usos distintos del agua [9].

2.4 Abordaje para reducir la contaminación en los ríos

La degradación y destrucción de los ecosistemas en el mundo, ha catapultado la crisis ambiental, principalmente, debido a la rápida reducción de los distintos servicios ambientales que prestan los ecosistemas [36]. Por esta razón, evitar la pérdida de la diversidad biológica y sus servicios ambientales, se considera uno de los mayores retos que deberá enfrentar la humanidad durante el siglo XXI [48], de esta forma la conservación y la restauración ecológica surgen como una solución

para revertir procesos de degradación de ecosistemas y pérdida acelerada de biodiversidad. No obstante, para recuperar un ecosistema se deben eliminar factores que impiden la regeneración natural como la contaminación persistente [36].

2.4.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en las cuencas hidrográficas

La GIRH es un proceso que impulsa el cambio de enfoque en la gestión de los recursos hídricos en las cuencas, por medio del aprovechamiento racional y equitativo del agua, el suelo y otros recursos para el bienestar social [49]. Actualmente, la GIRH es considerada la única manera de garantizar ecosistemas saludables, la mitigación contra los desastres climáticos y la protección ambiental ya que es un modelo que promueve la sostenibilidad y respeta la dinámica de los ecosistemas. Una cuenca hidrográfica se define como el territorio limitado por las montañas, laderas y colinas más altas, donde se desenvuelve un sistema de drenaje superficial que reúne sus aguas en un río principal que desemboca a otro cuerpo de agua (un río más grandes, lago o mar) [50]. Las cuencas hidrográficas son territorios donde cada uno de los procesos sociales y ecológicos están profundamente relacionados entre sí [51], siendo la unidad territorial más adecuada para la GIRH [49].

En las cuencas, el enfoque de gestión integral se entiende como un proceso de planeación, implementación y evaluación de acciones que implica un desarrollo medido y planificado que establece metas locales, nacionales e internacionales, que puedan garantizar la participación organizada e informada de todos los sectores afectados en decisiones importantes [49]. La posibilidad de realizar un manejo de cuenca se inicia cuando las personas se reconocen como habitantes de ella y, por lo tanto, beneficiarios de sus servicios ecosistémicos (tanto de las zonas más altas hasta los puntos de salida, como el mar o un lago), al mismo tiempo que se visualizan como generadores de impactos que se reflejan de forma acumulada en las partes bajas de la cuenca [51].

Mecanismos de financiamiento para la GIRH en Costa Rica

En Costa Rica se crearon el Canon de aprovechamiento de Agua [L12] y el Reglamento de Canon Ambiental por Vertidos [L11] como mecanismos económicos para fomentar la GIRH, con los cuales se generan fondos para invertir en el manejo, recuperación, conservación y protección de

los recursos hídricos [52]. También, desde el 2013 existe la Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH), mecanismo creado e impulsado por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), la cual busca el perfeccionamiento de metodologías tarifarias ya existentes, en donde todos entes prestadores del servicio, como las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS) pueden aplicar la tarifa. Esta tarifa permite obtener ingresos para la elaboración de proyectos de protección del agua en áreas estratégicas en donde se encuentran sus fuentes, nacientes, pozos, de donde se abastecen los sistemas que administran estos operadores del servicio de acueducto [53].

2.4.2 Plan de Gestión Comunitaria (PGC)

Un Plan de Gestión Comunitaria se define como un documento que permite buscar mejoras continuas en el territorio a partir del análisis de la situación actual, tiene como pilar fundamental la participación e integración de las personas de un territorio en los procesos de construcción y ejecución. La integración de las comunidades es una de las deficiencias que comúnmente tiene la sociedad ante los problemas socioambientales y al igual que con la GIRH se requiere coordinación y colaboración de actores sociales para resolver dichos problemas. Algunos actores sociales pueden ser: instituciones públicas y privadas, personas expertas, funcionarios y personal técnico, responsables en la toma de decisiones, administradores, organizaciones públicas y privadas, gobiernos locales, organizaciones comunales y ciudadanos en general [7].

La Gestión Comunitaria, en términos de desarrollo en agua y saneamiento, puede ser entendida como la expresión más alta de la participación, la cual implica un proceso de toma de decisiones a través de las cuales se determina el futuro de una localidad [54]. La participación ciudadana, posee múltiples y duraderos beneficios, entre ellos, el mejoramiento de la eficacia con que las personas dan respuesta a los retos del ambiente. Esto, no solo permite realizar mejores diagnósticos de los problemas existentes si no que, impulsa la generación mayores y mejores alternativas para resolver los retos, así como la movilización de recursos humanos y materiales [7], [55].

En muchas ocasiones las respuestas adecuadas para afrontar un problema están sólo en manos de la propia comunidad, haciendo que su involucramiento en los procesos sea imprescindible [7], [55]. La pérdida de servicios ambientales es una preocupación de las comunidades en cualquier

región haciendo que la inclusión activa desde la formulación de los proyectos sea crucial. De esta forma, se puede identificar tanto el manejo regional, como las distintas necesidades de las comunidades locales para garantizar la continuidad y la consolidación de los proyectos [36], [56].

En la Gestión Comunitaria, también es común la intervención de temas administrativos debido a que las estructuras institucionales se rigen por medio de normas, competencias, procedimientos, estructuras administrativas, aspectos económicos y recursos humanos. Sin embargo, esta articulación permite a las instituciones prestadoras de servicios, atender necesidades y demandas de los usuarios. Por lo tanto, las decisiones tomadas representan y atienden los intereses individuales y colectivos, creando relaciones entre sí por medio de la negociación y la resolución de conflictos [57].

III. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque, tipo y diseño de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque mixto ya que combina la recolección, análisis e interpretación de datos tanto cuantitativos como cualitativos [58]. La investigación se compone inicialmente de un diseño experimental/no probabilístico/longitudinal con enfoque cuantitativo, porque hace uso de indicadores de calidad de agua producto de mediciones en campo y análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio de las mismas variables del fenómeno varias veces en un determinado periodo de tiempo y observaciones in situ del estado ecológico del Río Toyogres.

Así mismo, es también cualitativa porque trabaja sobre variables que no pueden ser medidas en términos numéricos tales como la percepción de las personas, parte con la que se trabajará bajo un diseño no experimental/no probabilístico/exploratorio, al contener características propias como la observación, medición y análisis de un fenómeno tal como se da en su contexto natural ya existente [58].

3.2 Abordaje de los objetivos

Este trabajo, se enfocará en la creación de una línea base de datos con la evaluación de la calidad de agua del Río Toyogres, la posterior determinación de la cobertura de suelo de la microcuenca, y, por último, la búsqueda de soluciones colectivas con actores sociales enfocadas en la minimización de la contaminación en el Río. El estudio se realizó desde febrero del 2023 hasta abril del 2024.

3.2.1 Muestreos de calidad de agua

Por medio de visitas de campo, se definieron 9 puntos de muestreo a lo largo del Río Toyogres visualizados en la Figura 3.1.

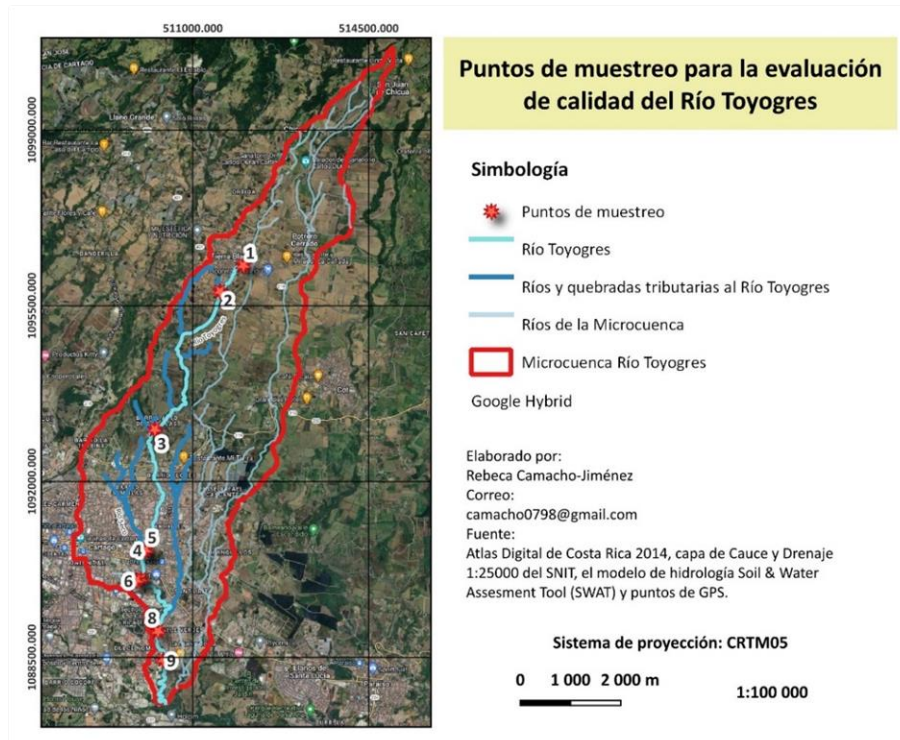


Figura 3.1: Puntos definidos para el muestreo del Río Toyogres.

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo se tomó por medio de un GPS portátil marca Garmin 64s. En el Cuadro 3.1 se brinda la ubicación precisa y elevación de cada uno de ellos.

Cuadro 3.1: Puntos de muestreo del Río Toyogres para la evaluación de su calidad de agua.

N° Punto	Puntos de muestreo	Elevación (m.s.n.m.)	Ubicación geográfica	
			Coordenada X	Coordenada Y
1	Origen Río Toyogres	2280	512002,20	1096301,33
2	Intersección Tierra Blanca	2000	511541,28	1095785,29
3	Puente San Blas	1601	510241,48	1093037,58
4	Intersección Vía de Tren	1334	510054,83	1090645,29
5	Intersección abajo Vía de Tren	1329	510049,02	1090635,09
6	Puente TEC	1314	509872,82	1090033,78
7	Puente Trans. 13	1320	509968,44	1090053,68
8	Puente Dulce Nombre	1368	510303,21	1089018,47
9	Puente Piedra	1347	510409,60	1088451,36

Fuente: Datos obtenidos con QGIS Versión 3.28.3-Firenze, a través del uso de Google Híbrido, el Modelo de Elevación Digital ALOS PALSAR y puntos georreferenciados en campo.

A partir de la identificación de los puntos de muestreo, se realizó un muestreo representativo de un año, de febrero a diciembre del 2023, donde cada dos meses, en cada uno de estos puntos se

tomaron dos muestras de agua superficial in situ, es decir, se muestreó en febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre. Se recolectó una muestra en botella plástica de un litro y otra muestra en una bolsa estéril de polietileno de alta resistencia de 100 mililitros, de inmediato fueron preservadas en una hielera para minimizar el tiempo entre el muestreo y el análisis de las muestras. Los muestreos y análisis respectivos se realizaron siguiendo la metodología descrita en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2012.

3.2.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico

Se seleccionaron nueve indicadores de interés, los cuales se evaluaron en campo y laboratorio: fosfatos (PO_4^{3-}), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), turbiedad, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto y coliformes fecales. Es importante recalcar que, la mayoría de los indicadores analizados no son normados de forma obligatoria si no complementariamente por el Decreto N° 33903-S-MINAE- Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, normativa vigente [L6]. Mientras que, el ICA Calvo-Tec si los contempla, lo cual significa que el analizar estos indicadores en muestras de agua de río proporcionará información aún más detallada del estado de contaminación del río.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Aguas del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del TEC, mientras que las muestras de coliformes fecales para análisis microbiológico fueron analizadas en el Laboratorio de Microbiología Ambiental del Edificio de Ingeniería Ambiental del TEC.

3.2.3 Evaluación de la calidad del agua

Una vez que se tienen los valores resultantes de los indicadores de calidad analizados se procede a hacer las conversiones respectivas por medio de fórmulas matemáticas que transforman estos indicadores que tienen diferentes magnitudes y unidades, a subíndices que se expresan en una escala de 0 a 100, para posteriormente calcular el ICA Calvo-Tec. El objetivo de las conversiones es normalizar los valores obtenidos en cada indicador para sumarlos y compararlos entre los resultados de cada mes. Para cada uno de los muestreos se realizó un documento en Excel que contiene los valores resultantes, mientras que para el cálculo de los subíndices y el ICA se creó

otro documento. El Cuadro 3.2 muestra las fórmulas utilizadas para transformar los valores obtenidos a subíndices, fórmulas que varían para cada indicador.

Cuadro 3.2: Fórmulas para el cálculo del subíndice (SI) para varios indicadores de la calidad del agua a través de una estandarización de la concentración de cada indicador.

Indicador	Fórmula
Oxígeno disuelto	$SI = \frac{ax^b}{c^b + x^b}$ <p>donde a = 141,0464, b = 2,283152, c = 5,30566</p> <p>SI = 10 para X < 1,75</p> <p>SI = 100 si SI > 100</p>
Demanda bioquímica de oxígeno	$SI = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ <p>donde a = 98,84689, b = 235,2236, c = -4,829346, d = 2,470089</p> <p>SI = 10 para X > 20</p>
pH	<p>SI = 10 para X < 4</p> <p>SI = +2,628e^{0,5200X} para 4 ≤ X < 7</p> <p>SI = 100 para 7 ≤ X < 8,0</p> <p>SI = 100e^{-0,5188(X-8)} para 8 < X < 11,0</p> <p>SI = 10 para X > 11</p>
Coliformes fecales	<p>SI = 100 para X ≤ 1</p> <p>SI = -3,6298ln(x) + 100,32 para 1 < X ≤ 1000</p> <p>SI = 9,3566(ln(x))² - 178,55ln(x) + 861,82 para 1000 < X ≤ 15000</p> <p>SI = 10 para X > 15000</p>
Nitratos	<p>SI = 10 para X ≥ 23</p> <p>SI = a + bx + cx² + dx³</p> <p>donde a = 99,29607, b = 0,4259834, c = -0,4072464, d = 9,420290*10⁻³</p>
Amoniaco	<p>SI = ae^{bx}</p> <p>donde a = 102,7848, b = -0,2910088</p> <p>SI = 10 para X > 8</p>
Fosfatos	<p>SI = a + bx + cx² + dx³</p> <p>donde a = 99,76275, b = -95,18685, c = 37,73048, d = -5,042201</p>

	$SI = 10$ para $X > 3,7$ $SI = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ donde $a = 100,125$, $b = -0,7097$, $c = 0,012191$, $d = -1,4834 \cdot 10^{-4}$, $e = 4,6307 \cdot 10^{-7}$ $SI = 10$ para $X > 140$
Alcalinidad	$SI = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ $a = 99,7988$, $b = 484,5982$, $c = -283,7007$, $d = 0,7688$ $SI = 10$ para $X > 700$
Turbiedad	$SI = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$ $a = 99,7988$, $b = 484,5982$, $c = -283,7007$, $d = 0,7688$ $SI = 10$ para $X > 700$

Fuente: Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica [58].

Una vez terminado el muestreo anual, con los datos obtenidos se procedió a realizar el cálculo del ICA Calvo-Tec, utilizando la fórmula del promedio cuadrado armónico no ponderado, mostrada a continuación (Fórmula 1).

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI^2}}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde:

WQI es el Índice de Calidad del Agua (Water Quality Index)

SI es el subíndice de cada indicador

n es el número total de indicadores utilizados en el cálculo

Posterior al cálculo del ICA, los valores obtenidos se clasificaron en diferentes niveles de calidad, utilizando la escala que se indica en el Cuadro 3.3 en el cual se puede observar el rango, clase y color en el que se puede clasificar el punto de muestreo de acuerdo con su nivel de contaminación.

Cuadro 3.3: Clasificación de la calidad del agua por rangos y calidades.

Rango	Clase	Nivel de contaminación	Color
90,0 - 100	1	Ninguno	Blue
75,0 - < 90,0	2	Incipiente	Green
45,0 - < 75,0	3	Moderado	Yellow
20,0 - < 45,0	4	Severa	Orange
0 - < 20,0	5	Muy severa	Red

Fuente: Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica [47].

3.2.4 Distribución de la cobertura del suelo

Se determinó la distribución de la cobertura del suelo en la microcuenca por medio de una clasificación supervisada con Google Earth Engine (GEE). Esto tuvo como objetivo analizar el uso que se le está dando al suelo, definiendo la cobertura en cuatro categorías específicas: urbano, forestal, pastos y cultivos [59]. Una vez obtenidas las categorías sería posible asociar la contaminación que se encuentra presente en el Río, a partir de la evaluación de calidad realizada, con las fuentes de contaminación producto del uso del suelo que se esté dando.

Para lograr esto, fue necesario delimitar la zona de estudio (Figura 3.1) utilizando el modelo hidrológico Soil & Water Assessment Tool (SWAT) y el programa QGIS versión 3.28.3- Firenze. Posteriormente, para clasificar la cobertura del suelo de las zonas rurales y urbanas se requirió la toma de puntos geográficos abarcando el área de la microcuenca, para lo cual se utilizó un GPS portátil marca Garmin 64s. De esta forma, se crearon áreas de entrenamiento para introducirlas en la plataforma de GEE, mientras que, en lo que respecta a la clasificación supervisada, se utilizó una imagen Sentinel-2 con fechas del 15 al 20 de abril de 2023, fechas que coincidieron con una imagen que presentó la menor cantidad de nubosidad.

Adicionalmente a la determinación de cobertura de suelo, se realizó un análisis del cumplimiento de las áreas de protección de varios ríos y quebradas que pertenecen a la microcuenca del Río Toyogres, las cuales, deben estar protegidas bajo la Ley Forestal [L1]. Para esto, se utilizó la Delimitación Digital de áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos para los cantones de Cartago y Oreamuno, recursos generados en el 2023 por el Proyecto Transición hacia una Economía Verde Urbana (TEVU), iniciativa de la Organización para Estudios Tropicales (OET) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). A partir de capas de áreas de protección generadas por dicho proyecto y la capa de cobertura de suelo generada por el presente estudio, se traslapó la información para obtener porcentajes de cumplimiento del área de protección o, por el contrario, determinar el porcentaje de invasión por otra cobertura, diferente a bosques.

3.2.5 Espacios participativos: Acciones de mejora para el Río Toyogres

Con el objetivo de tomar en cuenta tanto la opinión como las soluciones de actores sociales comunitarios, se realizaron tres actividades participativas: dos talleres con comunidades y un taller con instituciones.

- **Diagnóstico de percepción de la contaminación del recurso hídrico**

En la primera actividad, se aplicó un Diagnóstico de percepción de la contaminación del recurso hídrico, una actividad cualitativa que pretendía identificar las fortalezas y afectaciones del entorno en temas del manejo del agua y el suelo según la experiencia o apreciación de los ciudadanos. Para la misma se buscó la asistencia de ciudadanos de la microcuenca de los distritos de Potrero Cerrado, San Rafael, Cartago Oriental, parte de Cot, Tierra Blanca y Dulce Nombre.

Como parte de la dinámica del diagnóstico cada participante ubicó su residencia o finca en un mapa físico que tenía delimitada el área de la microcuenca y los elementos de importancia como quebradas y ríos, los distritos y las comunidades que la conforman. Esta dinámica es similar a un rompehielos, tiene como objetivo sensibilizar el ser parte de un territorio y con ello, explicar cómo pueden incidir el buen o inadecuado manejo de los recursos naturales en la microcuenca. Seguidamente, para introducir el tema, se realizó una presentación de los resultados de la investigación para contextualizar y justificar la problemática actual.

Posteriormente, para la parte participativa, se dividió el grupo según los sectores en representación de los seis distritos de la microcuenca mencionados anteriormente. Bajo estos grupos, se comenzó con la identificación de los aspectos positivos y negativos del manejo del recurso hídrico en la comunidad donde vive cada persona. Luego, estos aspectos fueron presentados en público para a su vez, destacar y sintetizar en papelógrafos y fichas los retos que las comunidades consideraron prioritarios por resolver. Así mismo, se destacaron actores sociales asociados a estos retos que podrían ser útiles en un eventual involucramiento.

- **Taller participativo comunitario**

Para la segunda actividad, se realizó un taller comunitario virtual dando seguimiento al trabajo resultante del diagnóstico de percepción de la contaminación, por lo tanto, se limitó la invitación

hacia el mismo grupo de personas. Esta actividad, tuvo como objetivo construir participativamente el Plan de Gestión Comunitaria desde la perspectiva de las personas que son parte del territorio de la microcuenca. Para esta construcción, se utilizó la técnica de recolección de información “Grupos focales”, técnica que se considera una entrevista grupal entre el investigador y los participantes. Se utiliza en especial porque es particularmente útil para explorar los conocimientos y experiencias de las personas en un ambiente de interacción, facilitando la discusión de temas difíciles de tratar, permitiendo examinar lo que la persona piensa, cómo piensa y por qué piensa de esa manera [60].

- **Taller participativo institucional**

Por último, la tercera actividad fue un taller presencial participativo con instituciones, en la cual, se invitaron a aproximadamente 33 funcionarios expertos en temas de recurso hídrico, salud pública, agricultura, saneamiento de instituciones como el INVU, la ASADA Tierra Blanca, el Acueducto Municipal de Oreamuno, MIDEPLAN, COBIRRIS-PÁEZ, COMCURE, SENARA, COBRI SURAC, MAG, TEVU, Ministerio de Salud, SINAC, Dirección de Aguas, la Alianza Nacional de Ríos y Cuencas, el TEC, GASEL y el INA. También gestión ambiental, planificación urbana, encargados de oficinas de género, atención al ciudadano o en posiciones asociadas a la toma de decisiones políticas como alcaldías o vicealcaldías de las Municipalidades de Cartago y Oreamuno. La dinámica consistió en la presentación de los resultados de la investigación como también, los aportes resultantes del diagnóstico de percepción de la contaminación y el taller participativo con comunidades.

Seguidamente, se dividieron aleatoriamente los participantes en tres grupos focales, los cuales, fueron guiados cada uno por una persona facilitadora, el objetivo de cada grupo focal fue sustentar el Plan de Gestión Comunitaria con aportes institucionales contruidos colaborativamente a través de un proceso de diálogo y consenso. Por último, los resultados de cada grupo fueron expuestos entre los participantes con el fin de explicar cada abordaje e incluso, encontrar similitudes entre las propuestas para unificarlas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del nivel de contaminación del Río Toyogres

La calidad del agua en los cuerpos de agua superficiales depende de las características naturales de la microcuenca y a los impactos que ocurren en la zona, determinando, por consecuencia, la salud de los ecosistemas acuáticos y las actividades humanas que se puedan llevar a cabo [12]. El Cuadro 3.3, presenta los rangos, clases y colores para poder asociar los niveles de contaminación en los resultados de cada indicador.

Se analizó un solo indicador microbiológico correspondiente a coliformes fecales. Estas son bacterias que están en los intestinos de humanos y animales de sangre caliente, su presencia es un indicador de contaminación del agua y alimentos lo cual también indica que una mayor concentración de coliformes en el agua está asociada a una mayor cantidad de descargas fecales y, por lo tanto, un mayor riesgo de presencia de bacterias patógenas intestinales que puedan ocasionar enfermedades infecciosas. A su vez, la presencia de coliformes fecales en los análisis es sinónimo de contaminación reciente en el agua [61].

Cuadro 4.1: Resultados subíndices Coliformes fecales según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	53,81	29,41	11,62	13,15	10,00	13,15	
2	53,81	40,35	10,00	14,82	10,53	21,95	
3	76,15	79,06	10,00	10,00	24,57	49,17	
4	80,58	21,49	10,00	45,24	21,95	21,95	
5	81,68	40,35	10,00	13,15	11,54	10,00	
6	29,41	10,53	10,00	10,00	10,00	10,00	
7	40,35	40,35	10,00	21,95	21,95	13,15	
8	29,41	40,35	10,00	45,24	21,95	21,95	
9	40,35	40,35	10,00	45,24	45,24	10,00	

Como se puede observar, los niveles de contaminación predominantes son el severo y muy severo, no obstante, es a partir del mes de junio donde el nivel de contaminación muy severa se dispara en todos los puntos de muestreo, y se mantienen niveles de contaminación de moderado hasta muy severo hasta el final del año. Es importante recalcar que, los resultados podrían estar asociados con el arrastre de la contaminación producto de la escorrentía superficial que se da con el comienzo de las lluvias como se muestra en la Figura 4.1.

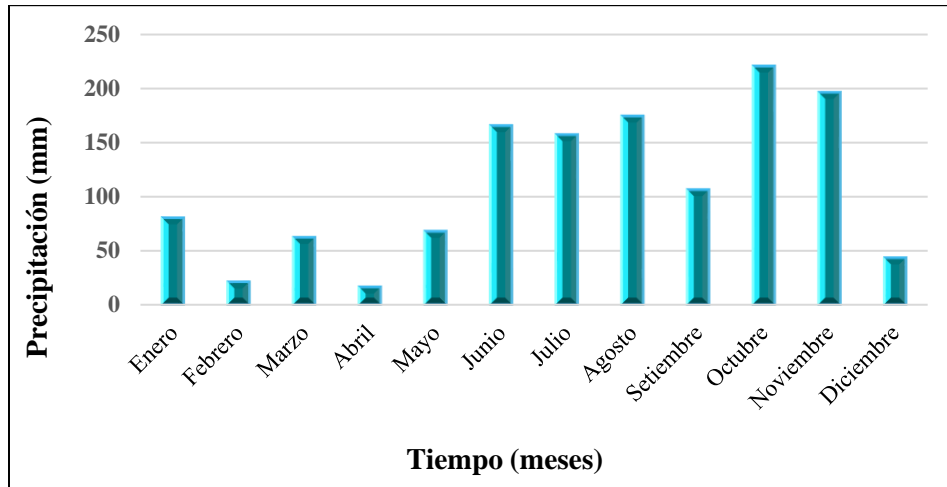


Figura 4.1: Precipitación mensual en el año 2023.

Fuente: Estación meteorológica de la Escuela de Ingeniería Forestal, TEC ubicada en el distrito de Potrero Cerrado, Oreamuno.

En el año 2023, el inicio de la época lluviosa se dio justamente en junio, un mes después de lo esperado según los historiales de precipitación debido al Fenómeno del Niño, esta época a su vez coincidió justamente con el aumento de la contaminación fecal en el agua.

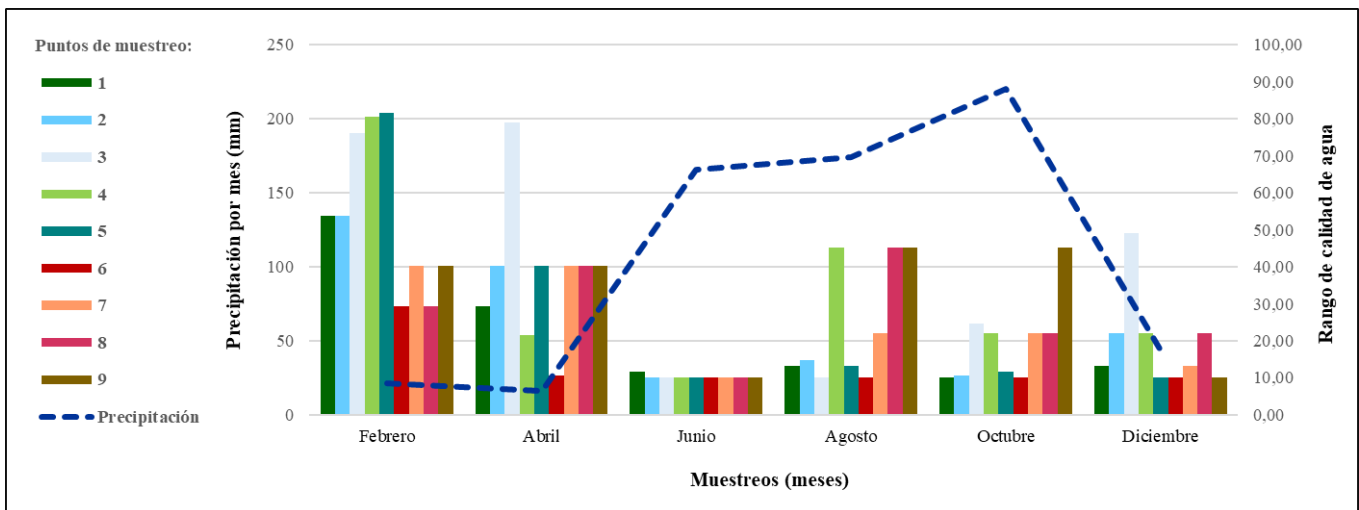


Figura 4.2: Relación precipitación mensual vs. Resultados calidad de agua para coliformes fecales.

En la Figura 4.2 se ejemplifica la forma en que el aumento de la contaminación se encuentra asociada a el aumento de las lluvias, la información detallada sobre los puntos de muestreo se encuentra en el Cuadro 3.1. Inicialmente en los meses de febrero y abril la contaminación no tuvo

picos alarmantes en la mayoría de los puntos de muestreo. Hasta el mes de junio cuando se registra la época lluviosa de forma constante, todos los puntos de muestreo indicaron una contaminación muy severa. Esta contaminación fue disminuyendo en ciertos puntos de muestreo probablemente debido al factor de dilución que las lluvias ocasionan en el río sin embargo, muchos otros puntos mantuvieron una contaminación crítica a pesar de los anterior, esto se puede deber a la presencia de una contaminación puntual y persistente cercano al punto de muestreo o a la contaminación difusa constante producto de la escorrentía superficial que podría estar relacionada a contaminación fecal por actividad ganadera cercana que confluye a las aguas del río.

Durante las múltiples visitas de campo realizadas, en el punto de muestreo 5, se pudo evidenciar el uso del río para aseo personal por personas en condición de calle, es importante destacar este componente social y de salud pública ya que es muestra de que a diario personas se ven afectadas por la contaminación en el río, lo que a su vez significa que, de mejorar su calidad, se verán muy beneficiadas personas en alta vulnerabilidad. También, según la información disponible en la plataforma digital SINIGIRH (Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico), el agua de río se usa para riego de cultivos agrícolas por medio de concesiones otorgadas por la Dirección de Aguas del MINAE. No obstante, bajo las condiciones actuales conocidas gracias a los resultados de la calidad del agua del río, se asegura que la normativa costarricense no clasifica el agua como uso seguro para riego o baño.

El Cuadro 4.2, presenta la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO_5 es un indicador importante porque mide la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación de la materia orgánica. Este indicador tiene relación con la biodegradabilidad de la materia orgánica y es afectado por la temperatura del medio, las clases de microorganismos y la cantidad y tipo de los nutrientes presentes. Los niveles altos de DBO_5 están asociados a niveles altos de contaminación debido a la alta presencia de carga orgánica. Además, estos niveles promueven la eutrofización creando condiciones anóxicas para el medio [61].

La eutrofización se define como el crecimiento excesivo de malezas acuáticas y fitoplancton por exceso de nutrientes provenientes de productos que contienen nitrógeno y fósforo, lo cual provoca

aguas turbias, afloraciones de algas dañinas, tóxicas para la salud pública y la de los seres vivos de un cuerpo de agua, produciendo el deterioro de la calidad del agua de un río [62].

Cuadro 4.2: Resultados subíndice Demanda Bioquímica de Oxígeno según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	10,00	12,64	10,00	10,92	10,00	10,00	● Ninguna
2	30,27	16,38	17,26	45,09	26,67	46,05	● Incipiente
3	88,88	97,28	92,50	97,64	97,75	98,81	● Moderado
4	71,85	31,16	17,12	25,14	45,15	37,91	● Severa
5	18,16	26,59	15,37	37,85	24,01	21,74	● Muy severa
6	10,00	10,00	10,00	32,06	10,00	10,00	● Ninguna
7	84,08	53,79	23,07	41,47	42,69	31,76	● Incipiente
8	15,83	9,46	41,28	36,92	45,09	21,67	● Moderado
9	20,73	12,45	20,73	52,12	44,28	27,27	● Severa

Analizando los resultados, de forma general, se puede observar que los colores predominantes son el rojo y el naranja, asociados a niveles de contaminación muy severos y severos, lo cual indica que, a pesar del flujo constante del Río, existe un nivel de contaminación importante que imposibilita las condiciones adecuadas para que la vida acuática se desarrolle. En cambio, el punto de muestreo 3 es la excepción, ya que mostró niveles de contaminación más bajos, clasificando la contaminación como ninguna e incipiente.

Seguidamente, se analizó el oxígeno disuelto que se define como la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Este indicador está relacionado con la aireación del río y el nivel del caudal; por otra parte, se relaciona con el soporte de la fauna acuática. Los niveles bajos de oxígeno disuelto promueven los procesos anaeróbicos, que trae consigo la generación de sabores y olores desagradables [61]. Su medición es esencial, ya que, algunos peces y otros seres vivos no pueden vivir si el nivel de oxígeno presente es bajo, se recomienda que el contenido de oxígeno disuelto sea de 5 mg/L [3] equivalente a un valor de 65,75 al transformar la magnitud del oxígeno a subíndice.

Cuadro 4.3: Resultados subíndice Oxígeno disuelto según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	34,54	18,22	47,81	58,28	71,04	10,89	
2	73,85	76,00	75,44	60,15	79,03	74,58	
3	94,15	100,00	72,24	81,01	100,00	73,27	
4	76,28	95,62	42,12	69,21	97,48	41,01	
5	46,72	83,31	45,98	74,00	95,33	58,96	
6	52,14	10,00	18,06	25,37	49,45	11,94	
7	10,00	97,93	49,99	59,64	98,82	75,01	
8	10,00	97,93	51,25	66,39	99,94	53,03	
9	44,88	93,85	47,63	62,66	97,21	44,51	

Todas aquellas casillas en verde y azul están por encima de 5 mg/L de oxígeno disuelto, como sucedió mayormente en el punto 3. En cambio, las casillas restantes indicaron ausencia de oxígeno disuelto moderada, severa o muy severa, siendo el punto 6 el más afectado de todos. Como se puede observar, los puntos de muestreo no mantienen una calidad de agua constante que pueda permitir la supervivencia de la vida acuática, haciendo cada vez más difícil su adaptación ante los cambios, haciendo también, cada vez más urgente eliminar las fuentes de contaminación actuales para asegurar un equilibrio apropiado para el río.

Por otro lado, se analizaron dos compuestos derivados del nitrógeno: los Nitratos (NO_3^-) y el Amonio (NH_4^+). El nitrógeno como elemento está presente en las aguas en forma de compuestos, como el amonio, los nitritos y los nitratos. Sin embargo, la presencia de niveles significativos de nitratos en las aguas está asociada a la contaminación por fertilizantes y las cantidades excesivas de nitrógeno promueven la eutrofización, como lo es el caso de los resultados obtenidos del Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Resultados subíndice Nitratos según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	80,58	19,55	10,00	8,82	10,00	10,00	
2	10,00	10,00	10,00	39,24	10,00	10,00	
3	99,40	35,55	18,25	64,59	63,46	10,00	
4	98,41	47,98	10,00	36,37	25,32	10,00	
5	97,96	52,79	10,00	39,93	27,80	10,00	
6	98,23	31,75	10,00	48,61	16,07	23,29	
7	53,21	10,00	10,00	10,37	10,00	10,00	
8	90,03	11,93	10,00	18,17	10,00	10,00	
9	93,91	10,72	10,00	18,60	10,00	10,00	

El mes de febrero tuvo diversos niveles de contaminación, siendo el punto 2 el más crítico, seguido por el punto 7 con contaminación moderada y, por último, el Origen del Río Toyogres (punto 1) con contaminación incipiente, este mes de forma predominante tuvo la menor contaminación con respecto a los demás meses. Es a partir de abril, que la contaminación presentó grandes cambios en la mayoría de los puntos de muestreo, lo cual indica que para estos meses la fuente de contaminación, que podría estar asociada a la presencia de fertilizantes en el río, se fue intensificando, llegando a niveles muy severos, severos y en algunos casos moderados.

No obstante, como se puede ver en la Figura 4.3, en el mes de abril las lluvias no fueron un factor significativo por lo que la presencia de esta contaminación puede deberse a una fuerte y cercana contaminación por fertilizantes. En el mes de junio, la calidad de todos los puntos de muestreo se vio gravemente afectada, hasta llegar a niveles muy severos, lo cual puede estar directamente relacionado con la época lluviosa, la escorrentía superficial y, por tanto, con contaminación difusa.

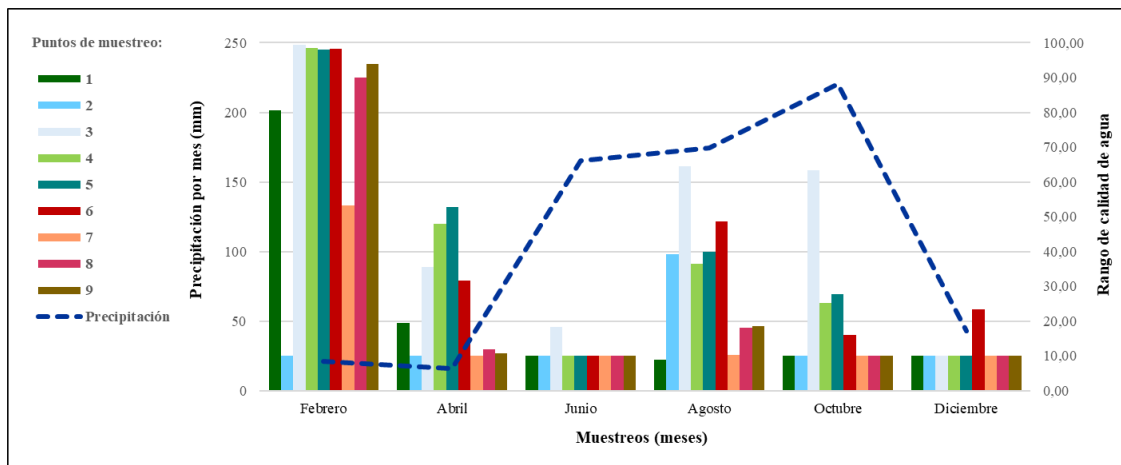


Figura 4.3: Relación precipitación mensual vs. Resultados calidad de agua para nitratos.

El amonio, por su parte, es un compuesto producto de la destrucción de la materia orgánica nitrogenada. En este caso, los niveles de contaminación predominantes fueron moderados y severos, mientras que, ciertos puntos presentaron niveles muy severos como lo fue el caso de los puntos de muestreo 6 y 8, los cuales en casi todos los meses presentaron los niveles más altos, tal y como se ve en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5: Resultados subíndice Amonio según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	42,37	21,00	58,16	26,53	44,99	20,68	● Ninguna
2	28,61	10,79	28,25	59,52	51,47	53,90	● Incipiente
3	91,87	92,17	35,37	45,17	82,66	80,16	● Moderado
4	54,77	44,71	94,98	30,62	51,80	54,07	● Severa
5	49,66	35,96	23,03	40,72	55,58	51,67	● Muy severa
6	52,60	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	● Ninguna
7	10,00	43,86	37,16	39,16	41,14	52,00	● Incipiente
8	19,21	16,47	18,72	18,44	32,67	33,03	● Moderado
9	28,02	32,67	22,39	24,55	52,13	52,77	● Severa

Los niveles excesivos de amonio generalmente se dan en aguas contaminadas por descargas fecales domésticas y ganaderas, uso de fertilizantes y plaguicidas en actividades agrícolas y las descargas de residuos agrícolas e industriales. De forma consecuente, estas altas concentraciones en el agua provocan la pérdida en el equilibrio de la vida acuática, hiperactividad, aumento de la tasa de respiración, reducción del crecimiento, afectación del sistema inmunológico, cambios patológicos y muerte [61]. La presencia de amonio en el agua es altamente peligrosa para cualquier tipo de vida que intente subsistir a partir de las condiciones del río, las cuales por evidencia no son del todo íntegras. El nivel de contaminación decreció en la mayoría de los puntos, en los meses de octubre y diciembre, a excepción del punto 6, el cual tuvo contaminación constante muy severa. Por último, se destaca el punto 3 de forma general al presentar la menor contaminación de amonio ($< 1 \text{ [NH}_4^+]$).

Por otro lado, se analizó la presencia de fosfatos (PO_4^{3-}) en el agua, el cual además de ser un nutriente esencial para todos los organismos, se encuentra en pequeñas cantidades en el medio y puede limitar la diversidad biológica cuando se excede. Generalmente, este elemento puede estar en rocas o materia orgánica y en el caso del agua se encuentra en forma de fosfatos. Ante la adición de fósforo a un sistema acuático, la respuesta es el incremento en la producción de plantas, algas, biomasa y por consecuencia, ocurren procesos de eutrofización [61].

Según [61], cuando se sobrepasan ciertos niveles de concentración, eso provoca un aumento en la turbiedad y en la materia orgánica, lo cual propicia condiciones anóxicas lo cual significa que la cantidad oxígeno es escaso o en casos, inexistente. Además, menciona que las altas concentraciones de fósforo están asociadas a las actividades humanas, especialmente al uso de

fertilizantes y productos de limpieza, también, asociadas a descargas domésticas e industriales, así como el arrastre hacia los ríos por efecto de la escorrentía.

Cuadro 4.6: Resultados subíndice Fosfatos según fórmula de [47].

Nº Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	41,43	26,63	24,93	26,37	50,04	28,67	Ninguna
2	17,77	10,00	30,74	31,56	32,75	30,39	Incipiente
3	51,47	52,65	48,18	26,91	49,10	47,76	Moderado
4	24,28	20,01	19,82	20,56	25,37	27,47	Severa
5	20,39	18,94	30,48	23,59	26,25	26,21	Muy severa
6	19,86	10,00	18,46	15,56	10,00	10,00	Muy severa
7	10,00	19,09	22,83	20,88	22,13	23,49	Severa
8	10,00	10,00	19,06	18,78	18,53	17,97	Muy severa
9	10,00	10,00	19,51	18,83	18,85	18,56	Muy severa

El Cuadro 4.6, muestra que este compuesto tuvo altas concentraciones a lo largo del año. Los niveles de contaminación predominantes fueron severos y muy severos y algunas casillas indicaron contaminación moderada. No obstante, los puntos de muestreo 6, 8 y 9 fueron especialmente críticas en todos los meses, lo cual evidencia una contaminación fuerte y persistente en el Río que puede estar asociada a la constante descarga de aguas jabonosas cargadas de productos de limpieza, aguas grises domésticas e industriales y uso de agroquímicos con este compuesto.

Seguidamente, la turbiedad, es una medida de la claridad del agua y es independiente del color, esta se da ya sea por la presencia de partículas en suspensión, como arcilla, limos, sedimentos, materia orgánica o inorgánica finamente dividida o también, por compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y microorganismos [61].

Cuadro 4.7: Resultados subíndice Turbiedad según fórmula de [47].

Nº Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	89,86	85,74	85,74	92,42	94,08	91,79	Ninguna
2	92,36	96,18	89,44	95,57	95,06	96,35	Ninguna
3	98,31	99,03	53,05	87,02	96,38	99,80	Incipiente
4	97,83	97,57	79,34	88,24	97,57	98,90	Incipiente
5	94,61	96,57	86,94	90,02	96,95	97,57	Incipiente
6	96,89	94,08	92,14	92,64	94,81	95,13	Ninguna
7	94,61	97,44	89,16	92,64	97,89	98,90	Ninguna
8	97,01	96,95	93,23	90,04	98,24	98,82	Ninguna
9	97,01	94,59	94,47	89,61	98,62	99,48	Ninguna

Como se puede observar, el mes de junio indicó en su mayoría una contaminación incipiente con excepción del punto 3 que tuvo una contaminación moderada, mientras que, en agosto, los puntos 3, 4 y 9 registraron una contaminación incipiente. Las altas concentraciones de turbiedad facilitan la formación de sólidos, lo cual provoca tanto la obstrucción de las vías respiratorias de los peces, como también, reduce la disponibilidad de luz, afectando especies y organismos primarios, los cuales se encargan de la entrada de energía en los ecosistemas [61].

El Cuadro 4.8, presenta el indicador de alcalinidad, que es la capacidad del agua para resistir los cambios de pH después de la adición de un ácido. Los resultados de alcalinidad muestran 3 casos de alcalinidad incipiente, mientras que para el resto de casos no hubo un alto valor de alcalinidad en el agua. Este indicador apunta a que una alta alcalinidad puede deberse a la presencia de compuestos o elementos como carbonatos de calcio, magnesio y sodio, y en los casos en que el pH no sobrepasa un valor de 8,3, la alcalinidad se asocia a la presencia de bicarbonatos [61].

Cuadro 4.8: Resultados subíndice Alcalinidad según fórmula de [47].

Nº Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	91,52	89,43	91,52	91,03	91,03	91,28	● Ninguna
2	89,22	88,58	92,81	90,80	92,29	91,77	● Incipiente
3	96,42	93,93	95,13	99,33	94,52	94,52	● Moderado
4	93,64	92,03	93,64	94,22	92,81	93,93	● Severa
5	93,36	90,56	93,64	93,93	92,81	92,55	● Muy severa
6	92,68	90,56	92,29	91,52	91,03	90,33	
7	92,03	91,77	93,93	93,64	92,81	92,81	
8	93,09	91,77	93,09	93,64	92,81	92,55	
9	93,36	92,03	93,64	93,93	93,09	92,55	

El potencial de hidrógeno está asociado a la acidez o la basicidad del agua y a su vez, se encuentra relacionado con la capacidad de autodepuración de un río, la geología de la zona y la presencia de metales pesados en el mismo y, por tanto, con la sustentabilidad de la vida. Cuando ocurren cambios significativos en el pH esto puede causar la pérdida del conjunto de especies de plantas, animales y organismos que pertenecen al río [61].

Cuadro 4.9: Resultados subíndice Potencial de Hidrógeno según fórmula de [63].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	100,00	100,00	56,50	100,00	84,32	100,00	 Ninguna
2	100,00	100,00	53,64	100,00	97,03	100,00	
3	85,65	100,00	59,51	100,00	100,00	100,00	 Incipiente
4	90,22	100,00	62,69	100,00	100,00	100,00	
5	90,22	100,00	66,04	100,00	100,00	61,72	 Moderado
6	85,65	100,00	73,28	100,00	100,00	100,00	
7	81,31	100,00	81,31	100,00	100,00	100,00	 Severa
8	95,03	100,00	81,31	100,00	100,00	100,00	
9	100,00	100,00	85,65	100,00	100,00	100,00	 Muy severa

El Cuadro 4.9, muestra los subíndices del pH los cuales indican en su mayoría ningún tipo de contaminación, con ciertas variaciones incipientes en febrero, junio y octubre, mientras que, en el mes de junio especialmente y diciembre, se evidencia un nivel de contaminación moderada para algunos puntos de muestreo. A pesar de lo mencionado, el pH siempre estuvo dentro de los rangos de calidad recomendados en la literatura: entre 6,0 a 9,0 [3], equivalentes a 59,5 y 61,7 al transformar el valor a subíndice.

A continuación, se explicarán los resultados generales del Índice de Calidad de Agua, donde se puede observar en el Cuadro 4.10 cómo persisten valores relativamente bajos, con cifras entre 20-40, los cuales indican la predominancia de un nivel de contaminación severo. A su vez, se tiene algunos casos aislados con intervalos entre 0-20 que indican contaminación muy severa, otros entre 50-75 con contaminación moderada y apenas dos casillas para el punto 3 con contaminación incipiente. El punto 3, a lo largo de todos los resultados específicos e inclusive en el general del ICA, ha mostrado tener los menores niveles de contaminación, por lo cual, es importante analizar cuáles son las posibles razones por las que este sitio de muestreo logra tener un impacto más reducido ante la constante alteración de las condiciones del agua.

Cuadro 4.10: Resultados generales: Índice de Calidad de Agua Superficial Río Toyogres según fórmula de [47].

N° Punto	1er muestreo Febrero	2do muestreo Abril	3er muestreo Junio	4to muestreo Agosto	5to muestreo Octubre	6to muestreo Diciembre	Simbología
1	26,50	24,81	21,08	22,48	20,42	17,85	
2	37,20	19,53	23,47	35,62	26,97	44,07	
3	80,97	82,78	27,10	26,71	55,75	71,46	
4	54,57	36,43	22,90	38,08	42,12	40,44	
5	36,03	38,04	22,26	30,70	27,84	24,74	
6	24,58	13,48	15,71	18,21	14,83	13,76	
7	16,97	43,27	24,16	37,59	39,28	30,61	
8	17,82	18,59	22,97	34,15	35,88	31,54	
9	24,34	22,00	22,44	38,47	43,49	24,03	

Por otro lado, el punto 6 presentó contaminación muy severa de forma constante desde abril hasta diciembre, por lo cual, es necesario intervenir a detalle este punto de muestreo, ya que se hizo la toma de muestras directamente en el punto 6, Quebrada (sin nombre), conocida como Quebrada de Residencias (por su cercanía a las residencias estudiantiles del TEC) a escasos metros de hacer su aporte al Río Toyogres. El resultado para este punto de muestreo se esperaba fuera alto y significativo solamente por lo que se podía percibir en el sitio previo a su evaluación. De forma atinada, a través de los resultados de los indicadores específicos, este punto presentó la contaminación más crítica y persistente, siendo los coliformes fecales, la DBO₅, el oxígeno disuelto, los nitratos, el amonio y los fosfatos los indicadores más relevantes en este punto.

Lo anterior, refuerza las afectaciones presentes en el Río Toyogres producto de altos niveles de contaminación reciente ya sea por descargas fecales domésticas y/o ganaderas, descargas de residuos agrícolas e industriales con agroquímicos, la presencia de residuos de productos de limpieza que promueven condiciones anaerobias y la presente eutrofización en el agua por el bajo contenido de oxígeno disuelto y la poca capacidad de los microorganismos de digerir la cantidad de carga orgánica presente y que se aporta a diario.

Si bien, se conocen las razones por las cuales el Río Toyogres se encuentra contaminado, hay una serie de aspectos evidentes los cuales son retos con componentes sociales, ambientales, políticos y económicos importantes. Estas razones han sido mencionadas varias veces por expertos, organizaciones e instituciones citadas en este estudio, a su vez, los resultados demuestran lo que la falta de infraestructura para el saneamiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas ocasionan. A su vez, el efecto de la escorrentía superficial es grave, especialmente en

una zona de estudio con pendientes pronunciadas, con una productividad económica altamente agrícola de importancia para el país y en donde, sin duda alguna se ha intervenido para la expansión agrícola con escasas e insuficientes buenas prácticas para los ecosistemas propios y aledaños, los beneficios que la cobertura vegetal puede brindar en el río y la vida que dependen del mismo.

Por otro lado, a pesar de que la evaluación se realizó muestreando el Río principal de la microcuenca (Río Toyogres), este río recibe los afluentes de distintos ríos y quebradas, mencionados a continuación: Río Seco, Río San Nicolás, Quebrada Chiva, Quebrada Sabanillas, Quebrada Seca, Quebrada Caída, Quebrada San Nicolás y 8 Quebradas intermitentes las cuales no poseen nombre en los registros públicos. Es necesario visibilizar estos tributarios ya que su estado puede ser un reflejo de la situación general, de forma que, para mejorar la condición del río se debe intervenir bajo un enfoque de gestión integral dándole la misma importancia a estos ríos, quebradas y arroyos.

La severa contaminación en el río es constante según la evaluación realizada, no obstante, la continuidad del monitoreo para el Río Toyogres y sus tributarios es clave para conocer su estado ecológico, descubrir las causas puntuales de su contaminación y con ello, tomar las medidas necesarias para contrarrestarlas. Si bien, esta evaluación permite tomar una fotografía del estado del Río, ésta fotografía está alertando sobre la poca posibilidad que tiene la vida acuática y terrestre de obtener beneficios ecosistémicos dignos y seguros para su desarrollo, tanto en el presente como en el futuro. Las personas y su salud pública están directamente asociadas a esta situación, ya que son actores que históricamente han utilizado estos espacios de forma recreativa y turística, más que para su explotación irracional, como se da actualmente.

4.2 Determinación de la cobertura del suelo en la microcuenca del Río Toyogres

La determinación de la cobertura del suelo en la microcuenca del Río Toyogres se realizó con el fin de analizar el uso del suelo, de los ecosistemas y de esta forma, conocer su distribución en la microcuenca. Determinar los impactos de los diferentes tipos de uso del suelo en las aguas superficiales puede brindar recomendaciones tanto para la restauración de los ecosistemas acuáticos, como también para los planificadores locales en la elaboración de planes de desarrollo

de cuencas hidrográficas, así como para los formuladores de políticas en la evaluación de decisiones para la gestión sostenible de los suelos [11].

Para el abordaje de la distribución de la cobertura de suelo en la Microcuenca del Río Toyogres, se trabajó con 4 categorías generales: Bosque, Cultivos, Pastos y Urbano determinados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas (SIMOCUTE) [64], con el fin de determinar el porcentaje que representa cada uno de ellos en la zona de estudio. En la Figura 4.4, se presenta un mapa sobre la cobertura del suelo en la Microcuenca.

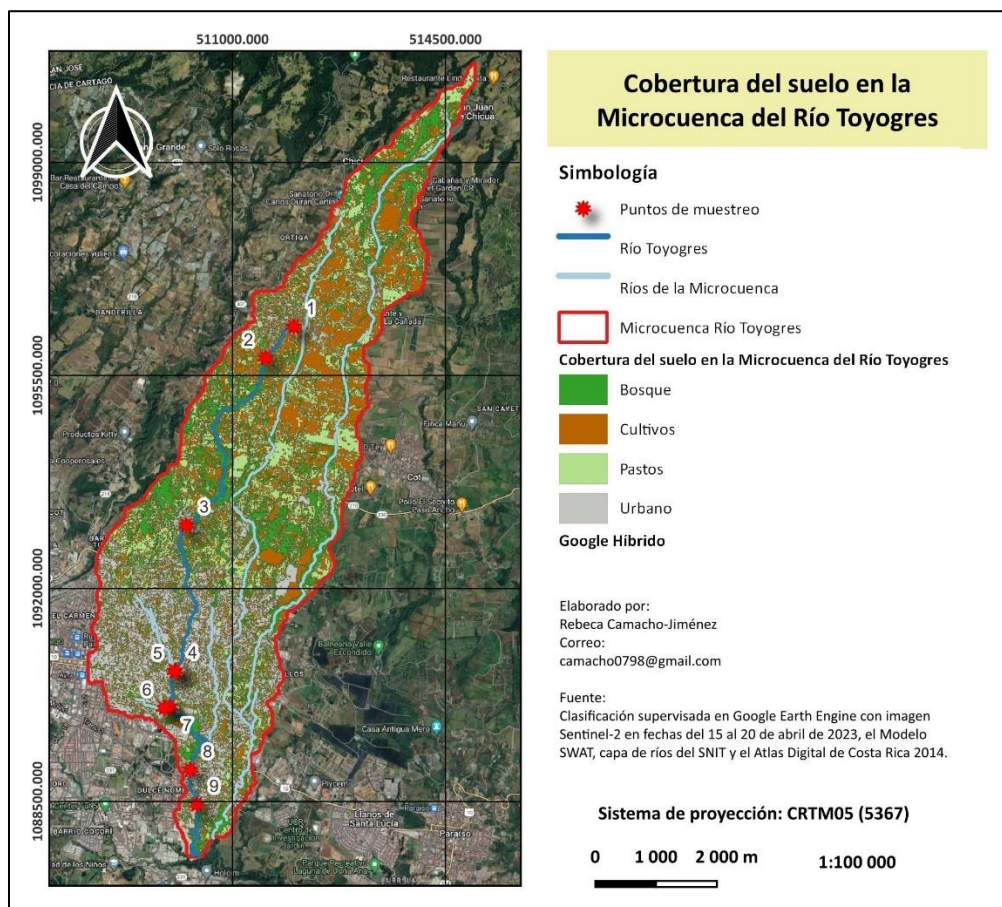


Figura 4.4: Cobertura del suelo de la Microcuenca del Río Toyogres.

La microcuenca está compuesta por un total de 2817 hectáreas, terrenos donde se llevan a cabo distintas actividades productivas y económicas como lo es la producción hortícola, la ganadería, el comercio de productos y servicios, el turismo, entre otros. Esta zona posee altas pendientes y pertenece a la Cuenca alta del Río Reventazón-Parismina, de forma que cualquier intervención

positiva o negativa tendrá sin duda, un grado de impacto en toda la cuenca. El Cuadro 4.11, detalla los porcentajes obtenidos de la distribución de la cobertura del suelo en la Microcuenca.

Cuadro 4.11: Distribución de la cobertura del suelo en la Microcuenca del Río Toyogres.

Categoría	Cobertura suelo (ha)	Porcentaje
Cultivos	1056,59 ha	37,52%
Pastos	748,20 ha	26,55%
Bosque	573,52 ha	20,38%
Urbano	438,48 ha	15,55%
TOTAL	2 816,79 ha	100%

Como se puede observar, de mayor a menor, la cobertura del suelo por cultivos predomina la distribución con un 37,52%, seguido por los pastos con un 26,55 %, la forma de la microcuenca evidencia la fuerte presión que ejercen los cultivos y pastos sobre los recursos naturales por medio del uso de la tierra, especialmente en la parte norte. De esta forma, la suma de ambas categorías equivale a un 64,07% de la cobertura del suelo en la microcuenca. La toma de puntos para las áreas de entrenamiento se realizó desde agosto hasta octubre del 2023 y se utilizó una imagen satelital Sentinel-2 con fechas del 15 al 20 de abril del 2023 para hacer la determinación. No obstante, debido a que en estas zonas se trabaja con cultivos permanentes y rotatorios hay ciertas áreas categorizadas de momento como pastos en donde en ciertas épocas del año también se cultiva.

Costa Rica cuenta con la tasa de consumo de agroquímicos más alta en la región centroamericana y específicamente, la zona donde se origina la microcuenca es parte del territorio donde se produce el 83% de las hortalizas para consumo de todo el país. Es justamente en estos sitios donde se utilizan indiscriminadamente agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas con el fin de producir cosechas de mejor calidad. Durante décadas estas prácticas se han llevado a cabo a costa de la cadena de impactos negativos en la flora y fauna, suelos, arroyos, ríos y acuíferos [7], [65]. La escorrentía superficial ha sido facilitada por los usos de suelo actuales, lo cual podría explicar los valores obtenidos en el ICA Calvo-Tec, especialmente, los resultados para coliformes fecales y nitratos.

La microcuenca está compuesta por un 20,38% de bosque, en la Figura 4.4, de norte a sur se puede observar que hay extensiones continuas y aisladas de cobertura boscosa. Predomina el bosque en

la microcuenca alta-media, mientras que, en la microcuenca baja predomina la zona urbana, donde se encuentra en mayor parte el 15,55% de cobertura urbana identificada. Lo anterior puede ser altamente perjudicial ya que, los ríos brindan conectividad estructural para la flora y fauna silvestre de forma que la permanencia de parches boscosos en ciertas zonas pero el faltante o disminución de estos en otros sitios podría estar afectando la conectividad biológica en la zona, las funciones de descontaminación del agua que las plantas, arbustos y árboles cumplen al permanecer en las áreas de protección como lo es la disminución de la carga orgánica, sedimentos y los contaminantes químicos. La falta de cobertura boscosa se da mayormente en la parte media-baja de la microcuenca, coincidiendo con el aumento de zona urbana.

Al traslapar las capas de ríos de la microcuenca, el Río Toyogres y las áreas de protección (Figura 4.4) se puede observar que estos parches continuos son parte del área de protección de los ríos, determinados por la Ley Forestal [L1] los cuales deben ser respetados tanto por los gobiernos locales al otorgar permisos de construcción y usos de suelo como también, por los ciudadanos y encargados de construcción. En la práctica, al realizar una delimitación de estas áreas de protección se puede evidenciar que existe una violación hacia esta ley producto de la invasión de terrenos colindantes con distintos cuerpos de agua superficiales en la microcuenca.

A continuación, en la Figura 4.5, Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.8 y Figura 4.9, se puede observar a detalle el contraste entre el área que se debe cumplir y las áreas que se encuentran interfiriendo. A su vez, se aprecia la distribución de la cobertura y la cercanía que tienen ciertos usos del suelo con los puntos de muestreo.

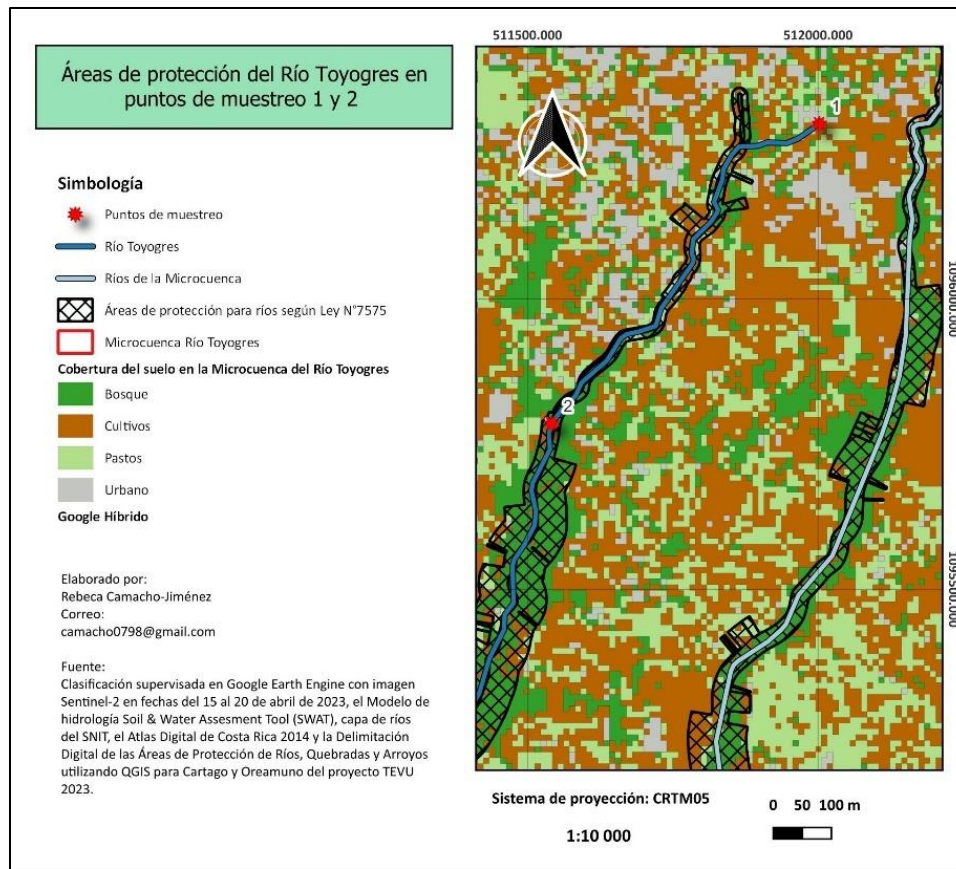


Figura 4.5: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 1 y 2.

Los puntos de muestreo 1 y 2 se encuentran en una zona altamente agrícola del distrito de Tierra Blanca en Cartago, como lo es el caso del Origen del Río Toyogres (Apéndice 1), esto hace que el Río esté expuesto de gran manera a la aplicación de agroquímicos y a la descarga de aguas residuales domésticas desde su comienzo debido a que se encuentra presionado por una zona urbana pequeña con poca planificación territorial. Específicamente en el primer punto el área de protección del río es inexistente y conforme el río va bajando hacia el punto 2, la fuerte topografía permite que se sitúen plantas y árboles en lugar de casas creando una zona de protección difícil de acceder. No obstante, los alrededores se encuentran consumidos por coberturas con poca vegetación.

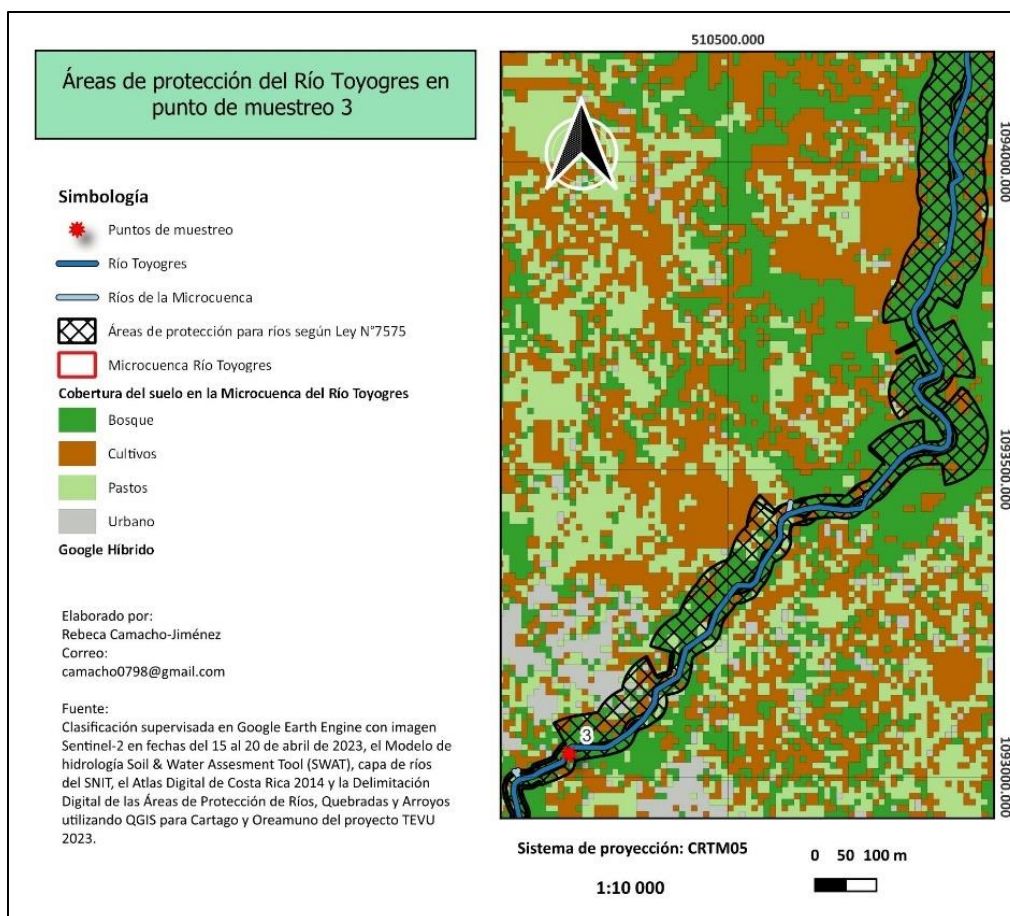


Figura 4.6: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en punto de muestreo 3.

El punto 3, resulta ser un ejemplo para explorar a profundidad ya que los resultados de calidad mostraron ser los más altos, por lo que es importante analizar las condiciones ambientales, topográficas y forestales de este sitio que pueden dar una pauta para la conservación del río. Como se puede observar, antes del punto 3 hay un largo segmento de cobertura boscosa que sin duda podría estar teniendo una influencia positiva en la reducción de la contaminación del agua a pesar de que a sus alrededores se pueda contemplar la presión por actividades agrícolas o ganaderas y el comienzo de la zona urbana.

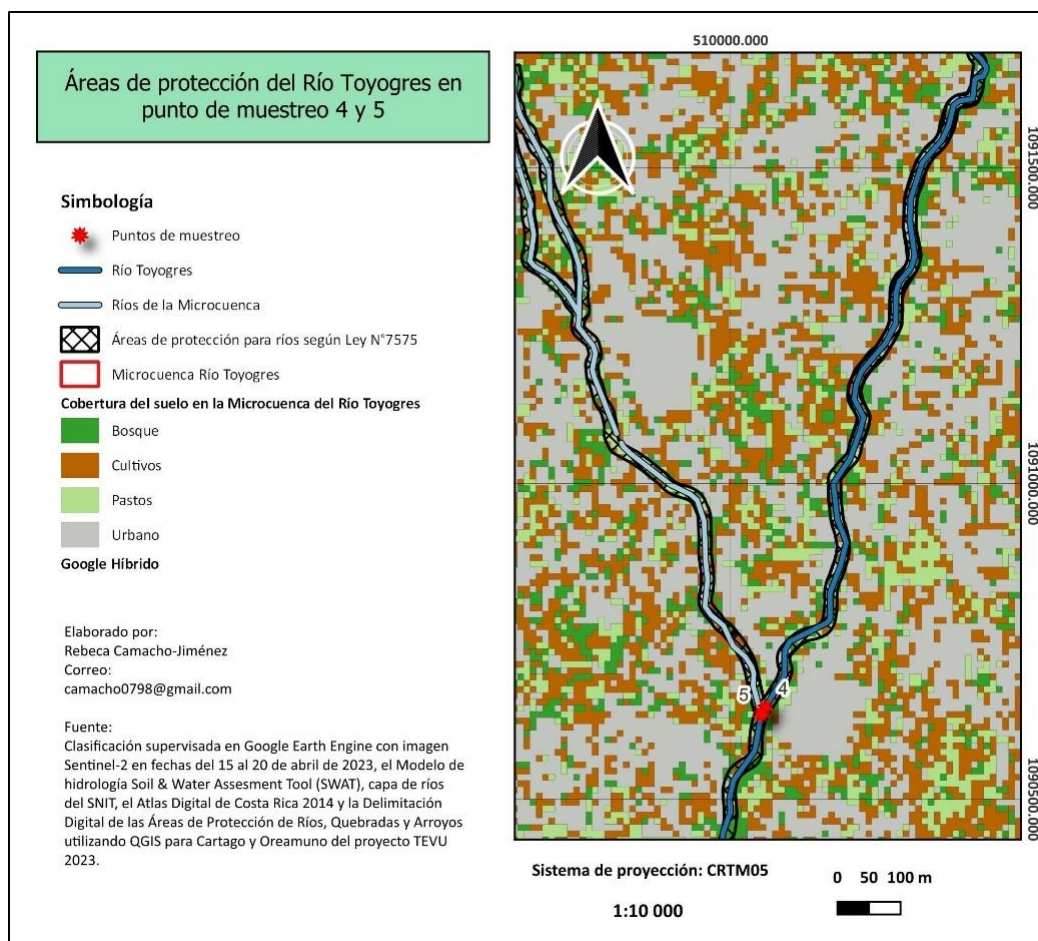


Figura 4.7: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 4 y 5.

La Figura 4.7, muestra lo que es la inmersión del Río en la zona urbana. Aquí es esencial señalar la ausencia, en muchas partes, por completo de la cobertura vegetal, lo cual históricamente ha provocado también un alto riesgo para la población ante las crecidas del Río. En esta zona se tiene el impacto del arrastre de contaminante agrícolas y ganaderos, pero también, en gran parte de los desagües domésticos de aguas grises y residuales de la zona alta y media del Río.

En la Figura 4.8, para los puntos 6 y 7, predomina la cobertura urbana, la baja cobertura vegetal y sus consecuentes impactos. El punto 6, mostró mayor contaminación, se sospecha esta sea producto de la alta cantidad de descargas de aguas residuales domésticas y de comercios altas en grasas y aceites. Por otro lado, en este caso, la cobertura boscosa, aumenta después del punto 7 conforme el río entra a la propiedad del TEC, donde la cobertura es muy significativa y beneficiosa para la conectividad estructural de estos corredores biológicos.

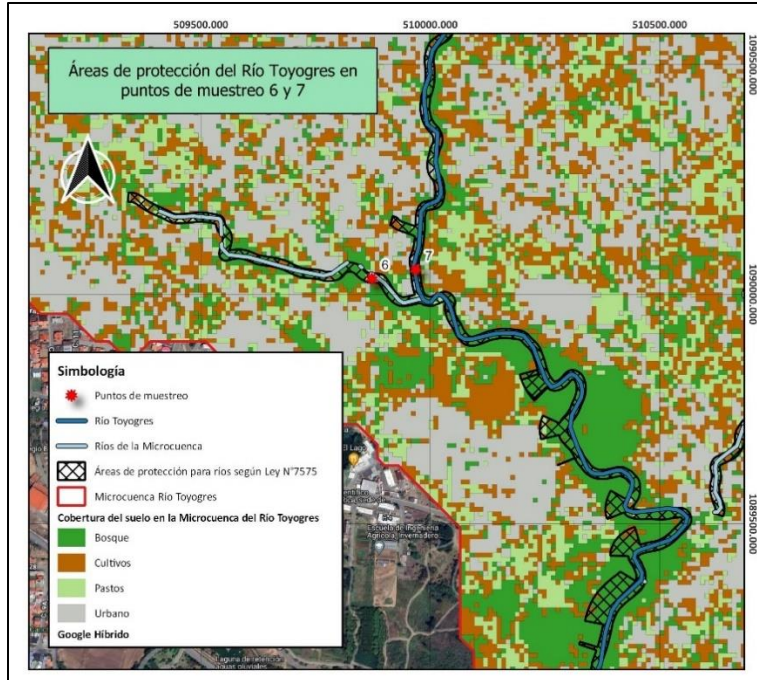


Figura 4.8: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 6 y 7.

Por último, en la Figura 4.9, se encuentran los puntos 8 y 9, en la zona de Dulce Nombre de Cartago, ambos rodeados por zona residencial. A este punto del río llega la contaminación producto de las actividades río arriba de forma diluida, debido a los aportes pluviales y aguas residuales domésticas que se mezclan. Como se puede observar, la presión urbana en esta zona es fuerte y se encuentra acompañada de escasas áreas boscosas, además en esta zona baja están establecidas empresas más grandes que podrían estar ejerciendo un impacto en el río.

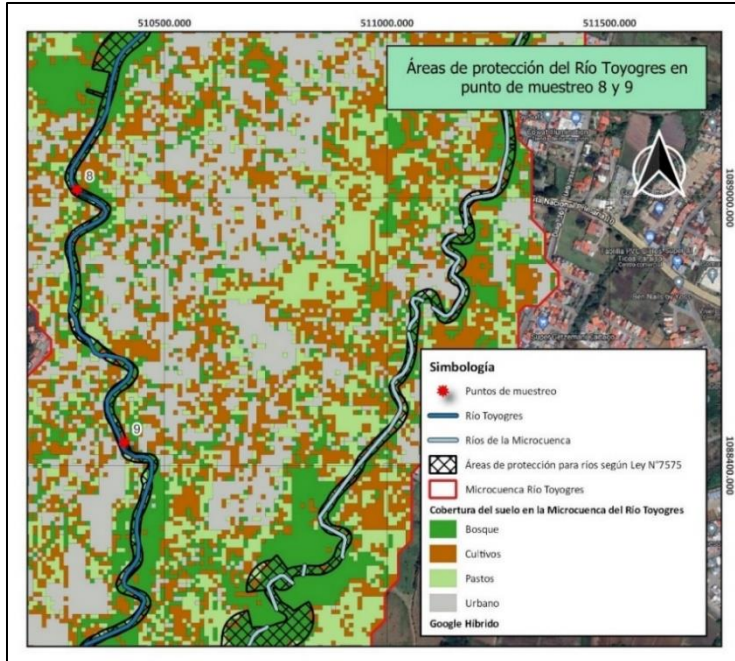


Figura 4.9: Cobertura del suelo y áreas de protección del Río Toyogres en puntos de muestreo 8 y 9.

Se pudo identificar que el área total correspondiente a áreas de protección en ríos y quebradas debe ser de 179 hectáreas, sin embargo, se identificó que de ese 100%, en la actualidad solamente un 68% corresponde a bosque y el 32% faltante ocupa espacios para pastos con 18%, cultivos en un 11% y zonas urbanas en un 3% (Figura 4.10).

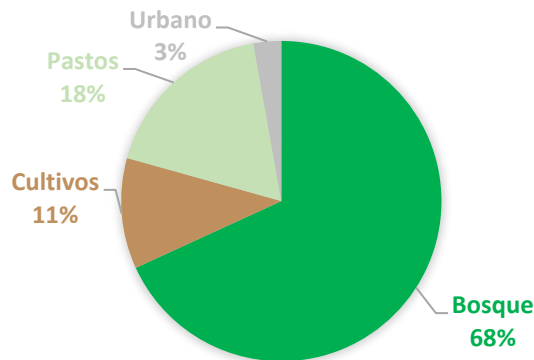


Figura 4.10: Distribución en porcentaje de la cobertura del suelo en áreas de protección de ríos y quebradas de la Microcuenca del Río Toyogres.

El desarrollo sostenible en los territorios se asegura por medio de una adecuada planificación urbana, la cual depende de la capacidad de los gobiernos municipales de planificar y administrar sus áreas urbanas y rurales [66]. Los porcentajes presentados anteriormente dejan en evidencia que se está dando una inadecuada e insuficiente planificación de estos espacios rurales y urbanos bajo conceptos reales de sostenibilidad y adaptación al cambio climático mientras, los múltiples retos socio ambientales presentes en la microcuenca repercuten en toda la cuenca del Río Reventazón-Parismina.

Los ecosistemas de lechos y bordes de los ríos y quebradas protegen las comunidades acuáticas y humanas por lo cual, es necesario y prioritario resguardarlos y restaurarlos. En los múltiples recorridos de campo se pudo verificar la invasión de estas zonas de protección (Apéndice 2), lo cual indica que estos ecosistemas se ven violentados a diario por medio de la constante contaminación, impidiendo a especies de flora y fauna desenvolverse en su hábitat natural, impidiendo, aportar los bienes y servicios ambientales que ofrecen a la sociedad [24]. Por lo tanto, la planificación urbana con enfoque en la GIRH y el respeto de las leyes establecidas, tienen un protagonismo prioritario.

Resulta urgente que la sociedad comprenda la forma en que las AP garantizan la capacidad de resiliencia de los territorios y exija que se respeten apropiadamente. Esto significa disponer de los espacios necesarios para soportar adecuadamente eventos extremos, desarrollados en forma natural o debido a perturbaciones antrópicas, tales como las lluvias intensas, sobrellevar elevadas temperaturas, la erosión de los suelos, el transporte de sedimentos, etc., sin que se produzcan degradaciones del sistema ambiental [24].

4.3 Desarrollo participativo de acciones de mejora para la microcuenca del Río Toyogres

Avanzar hacia una nueva relación con el agua, basada en los principios de la sostenibilidad, exige que haya esfuerzos económicos, científicos y tecnológicos, pero también requiere nuevos enfoques de educación y el replanteo de los procedimientos para que haya participación ciudadana en la toma de decisiones públicas [7], [55]. Como ejemplo, hacer posible espacios donde las personas puedan aportar su opinión a través de las vivencias que han experimentado, fue esencial para procesos como el presente. La participación no asegura que todas las personas vayan a estar de

acuerdo con las decisiones acordadas, pero la participación impulsa la construcción colectiva por medio del diálogo y la escucha atenta de los aportes y necesidades de las personas, haciendo que estos procesos de toma de decisiones sean integradores. De esta forma, las personas también entienden y son parte de las decisiones que se toman, considerando el contexto y las variables que influyen en una problemática [7].

Los talleres participativos realizados tuvieron como objetivo informar acerca de la situación actual a partir del establecimiento de una línea base de información para con ello, identificar y proponer actividades puntuales que puedan lograr la reducción de la contaminación que llega al río.

- **Diagnóstico de percepción de la contaminación del recurso hídrico**

Es importante recalcar que, los aspectos mencionados en el Cuadro 4.12 han sido producto de la recopilación de información expuesta por las personas participantes en el diagnóstico. Así mismo, como parte de la logística del diagnóstico se extendió la invitación con anticipación a personas que residan en los distritos de Potrero Cerrado, San Rafael, Tierra Blanca, El Carmen, Cartago Oriental y Dulce Nombre, por medio de distintas formas de difusión como grupos de WhatsApp, grupos distritales y temáticos de Facebook, redes de contactos en temas ambientales, entre otros (Apéndice 3).

Se contó con la participación de trece personas de los distritos de San Rafael, Tierra Blanca, Dulce Nombre, Cartago Oriental (Apéndice 4), de las cuales, siete personas fueron hombres y seis personas fueron mujeres. En el Cuadro 4.12, se exponen los resultados de la primera parte de la actividad grupal: la identificación de aspectos positivos y negativos entorno al recurso hídrico (Apéndice 5).

Cuadro 4.12: Identificación de aspectos positivos y negativos sobre el recurso hídrico en cuatro distritos de la microcuenca del Río Toyogres.

Distrito	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Tierra Blanca, Cartago	<ul style="list-style-type: none"> Nacientes provienen de Parque Nacional Volcán Irazú-Sector Prusia Se cuenta con una buena calidad en agua potable según análisis realizados 	<ul style="list-style-type: none"> No hay manejo de aguas residuales Uso de ríos contaminados para riego La comunidad no se encuentra interesada en conocer análisis que se le hace al agua Disposición inadecuada de los residuos sólidos Invasión de áreas de protección por urbanismo y agricultura
San Rafael, Oreamuno	<ul style="list-style-type: none"> No se ha visto problemas de aguas residuales con respecto a suciedad excesiva de caños y taqueo de alcantarillas durante las lluvias Es un corredor biológico efectivo gracias a los ríos 	<ul style="list-style-type: none"> Existe una gran diferencia del servicio de agua potable según la comunidad Muchas fugas y poca información sobre potabilidad Baja accesibilidad de información sobre su tratamiento El río se nota en estado crítico por contaminación de aguas jabonosas, mal olor (químicos), algas
Cartago Oriental	<ul style="list-style-type: none"> Agua potable abundante, con buen sabor y recurso disponible diariamente El agua residual está canalizada No hay malos olores (cañerías y sistema en buen estado) No es común ver fugas de agua El río siempre tiene caudal (cuesta que se seque) 	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento ineficiente de aguas residuales Falta de conocimiento ¿qué pasa con el agua? Contaminación fuerte de ríos Malos olores Deficiente planificación urbana Utilización de agua contaminada para riego
Dulce Nombre, Cartago	<ul style="list-style-type: none"> Se percibe menos agua jabonosa en el río 	<ul style="list-style-type: none"> Poca educación de cosecha de agua de lluvia Infraestructura deficiente de canalización de agua residual

Así mismo, además de destacar aspectos positivos y negativos en la gestión del recurso hídrico en cada una de esas comunidades representadas, progresivamente, se fue dando una conversación fluida en la cual, se aportaron insumos clave como los actores sociales que se podrían ver involucrados y las soluciones asociadas, las cuales, se muestran en el Cuadro 4.13 (Apéndice 6).

Cuadro 4.13: Identificación de actores sociales y posibles soluciones a los retos destacados en cada comunidad.

Distrito	Instituciones u organizaciones para involucrar	Formas de atacar los retos destacados en su comunidad
Tierra Blanca, Cartago	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad de Cartago • Ministerio de Salud • ASADAS • Distribuidores de agroquímicos • Comunidad en general 	Concientizar sobre nuestra responsabilidad en la preservación de los recursos naturales
San Rafael, Oreamuno	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa privada • Municipalidad de Oreamuno • AyA • ONGs que puedan ayudar a la planificación y enlace de proyectos 	Campañas "publicitarias" de conocimiento de las diferentes problemáticas a las comunidades para luego organizarse mediante las ASADAS y las diferentes organizaciones comunitarias y hacer participe a toda la ciudadanía
Cartago Oriental	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidad de Cartago • AyA • TEC • Grupos organizados de vecinos 	Necesidad de que la información llegue a la comunidad
Dulce Nombre, Cartago	<ul style="list-style-type: none"> • Junta directiva de ADI Dulce Nombre • Parroquia de Dulce Nombre 	<p>Utilizar plataformas de fácil acceso como WhatsApp o Telegram y otras.</p> <p>Utilizar boletines informativos en puntos de interés como Iglesia, escuela o colegio para hacer llamado a la gente a participar de actividades o charlas, en escuelas o colegios con voluntariado</p> <p>Realizar recolección de residuos en sitios públicos sin que represente un peligro para las personas que participen</p>

• Taller con comunidades para la construcción del Plan de Gestión Comunitaria

Dando seguimiento al trabajo realizado en el diagnóstico, se realizó un espacio virtual con seis personas de los distritos de San Rafael, Tierra Blanca, Dulce Nombre, Cartago Oriental (Apéndice 7). En este espacio, se buscó y consiguió que cada participante tuviera la oportunidad de nombrar y exponer las mayores preocupaciones, inquietudes y posibles soluciones entorno a la contaminación de los ríos.

De esta forma, el taller con comunidades propuso el abordaje de dos retos específicos en el Plan de Gestión Comunitaria (Apéndice 8):

1. Mejoramiento de la gestión de residuos (sólidos y líquidos), su transporte y vertido.
2. Respeto y rehabilitación de áreas de protección y cuerpos de agua.

El abordaje del primer reto se propone gracias a la percepción en el día a día de una fuerte contaminación por residuos sólidos en el río, pero también, el ecosistema del río descuidado, fuertes olores, presencia de plagas, zancudos, aguas jabonosas, gran cantidad de algas y suciedad. Mientras que el segundo reto se propone como una alternativa para involucrar a las personas de las comunidades que se aferra a la Ley Forestal [L1] por medio de las áreas de protección. En el espacio se habló mucho sobre como la rehabilitación de las áreas laterales de los ríos podría ser un elemento diferenciador en bajar la contaminación en el agua, mantener y aumentar la conectividad biológica y reforzar las laderas ante las crecidas del río.

- **Taller con instituciones para la construcción del Plan de Gestión Comunitaria**

Como parte de la logística del taller se extendió la invitación con anticipación a funcionarios con labores en la zona de estudio y con expertos en temas de recurso hídrico, salud pública, agricultura, planificación urbana, saneamiento, gestión ambiental, encargados de oficinas de género, atención al ciudadano o en posiciones asociadas a la toma de decisiones políticas como alcaldías y vicealcaldías (Apéndice 9).

Para este último taller, se contó con la participación de diez personas funcionarias de distintas instituciones, entre ellas, participó el Ministerio de Salud-Área Rectora Cartago, la Municipalidad de Oreamuno, la Municipalidad de Cartago, el SINAC, el Tecnológico de Costa Rica y el proyecto Transición hacia una Economía Verde Urbana (Apéndice 10). De estos participantes, seis fueron mujeres y cuatro fueron hombres.

Con respecto a la dinámica, en este espacio, se presentaron los antecedentes y los resultados de la investigación, a su vez, se mostraron los productos del Plan de Gestión Comunitaria desde la visión de las comunidades. Producto de esta información presentada, hubo valiosas intervenciones por parte de los participantes, ideas que enriquecieron el espacio, para posteriormente dividir a los

participantes aleatoriamente en tres grupos. En cada uno de estos grupos se trabajó el Plan de Gestión Comunitaria desde la visión institucional. La actividad grupal fue facilitada por tres mujeres. La información construida se puede visualizar en el Apéndice 11, mientras que el Plan de Gestión Comunitaria completo se puede ver en el Cuadro 4.14. Cabe destacar que se definieron plazos de ejecución para utilizar como guía que se interpretan de la siguiente manera: Corto plazo: 1 año, Mediano plazo: 2 a 5 años y Largo plazo: más de 5 años.

Cuadro 4.14: Propuesta de Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres dirigida a la minimización de la contaminación del agua y el mejoramiento de su calidad superficial.

Retos prioritarios	Actividades	Actores sociales	Plazos de ejecución	Insumos
Mejoramiento de la gestión de residuos sólidos y líquidos y su transporte y vertido.	<p>1. Programa o Iniciativa de sensibilización y seguimiento para regular la disposición de aceites, grasas, residuos líquidos y sólidos (Uso de trampas de recolección de residuos sólidos, control de aguas residuales de los comercios, casas, sector agrícola, industrial tanto en zonas urbanas como rurales)</p> <p>2. Campañas participativas educativas como talleres, actividades. Enfocados en el bienestar ecológico, cambio del discurso de concientización sobre cómo se ve afectado el río propiamente.</p>	Centros educativos, Guías y Scouts, ASADAS, Acueductos Municipales, Ministerio de Salud, Municipalidades, ADIs, Universidades, Colectivo Ambiental Taticú, OCAs, SINAC, COBRI SURAC, COMCURE y COBIRRIS-PÁEZ.	<p>Corto-mediano plazo con plan piloto</p> <p>Corto plazo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Participación comunitaria en organización y actividades • Profesionales en diseño y generación de insumos. • Colaboración con difusión de actividades.
Respeto y rehabilitación de áreas de protección y cuerpos de agua	<p>1. Campañas de arborización con comunidades en áreas de protección colindantes a ríos y fincas</p>	INA, Municipalidades, Centros educativos, SINAC- MINAE, Cobri Surac, TEC, Colectivo Ambiental Taticú, COMCURE y COBIRRIS-PÁEZ, ADIs, TEVU, fincas turísticas, Oficina de Agricultura.	Corto a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Árboles, arbustos, plantas • Mantenimiento (contrapartidas con Municipalidades) • Herramientas para reforestaciones • Recurso humano capacitado en el tema

	2. Refuerzo de los departamentos de gobiernos locales en el aspecto ambiental: planes reguladores, control de permisos de construcción, regulaciones más estrictas a nuevas propiedades, mapeo de propiedades que invaden AP desde la Ley Forestal.	Oficina de género o atención ciudadana transparencia, INVU, MIVAH.	Largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto para refrigerios • Asistencia primeros auxilios • Organización comunitaria • Organización comunitaria, para procesos de vigilancia • Recurso humano capacitado en el tema
Calidad y cantidad de agua	1. Programa de monitoreo y control de los usos de agua y descargas contaminantes (calidad y cantidad, contaminación puntual, difusa y constante)	Ministerio de Salud Dirección de Aguas CEQIATEC Universidades CCCI	Mediano plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de fondos para proyectos • Canon de aguas
Desarticulación interinstitucional y falta de enfoque interdisciplinario para abordar las problemáticas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar mesas de trabajo interdisciplinarias con apoyo de academia. 2. Realizar bases de datos 3. Utilizar herramientas para gestión de conocimiento (SIG) 	Municipalidad de Oreamuno Municipalidad de Cartago Ministerio de Salud SINAC Universidades Comunidades dentro de la microcuenca Productores locales CCCI COMCURE TEC MEP ASADAS ADIs Dirección de Aguas	Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso humano de instituciones • Equipo interdisciplinario y apoyo de la academia • Fondos (alianzas estratégicas) • Participación ciudadana • Convenios • Línea base
Manejo de prácticas agrícolas deficientes en la producción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sensibilizar con enfoque de impactos socioambientales en la microcuenca 2. Ofrecer incentivos y cadenas de valor 		Mediano-largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Línea base inventario de agroquímicos • Capacitación
Vertidos de aguas residuales, dudoso	1. Trabajar en conjunto con ordenes sanitarias del Ministerio de Salud (procesos de vigilancia de calidad de AR deficientes)			

cumplimiento del reglamento de vertidos, uso de agua de vertidos para riego	2. Realizar un declaración de restricción de vertidos con la Dirección de Aguas – Plan Catastro y Plan Regulador	MAG SUAs	Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento legal efectivo
Legislación que no responde a la capacidad de depuración del río	1. Establecer una gobernanza del proceso de atención a la microcuenca 2. Rehabilitar áreas de protección (recuperación de ecosistemas con Piloto del CCCI)		Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación • Mejoramiento de condiciones

La recuperación de un río es un tema que de primera mano se puede percibir de forma lejana e incluso hasta imposible, no es hasta que se trabaja de forma coordinada, participativa y organizada que reducir la contaminación y propiciar condiciones para la restauración natural del río, se comienza a ver más cercano y posible. Durante la reunión con instituciones una de las conversaciones más relevantes tuvo que ver con el mecanismo de gobernanza que podría tener este Plan de Gestión Comunitaria para ser puesto en marcha en un futuro cercano, de allí sobresalió la idea de utilizar los Consejos Cantonales de Coordinación Institucional (CCCI) como mecanismo de gobernanza. Los CCCI son espacios de coordinación técnica y política interinstitucional en los cantones, espacios estables con años de funcionamiento que, a su vez, lideran distintas comisiones, entre ellas una con temática ambiental. Cada año, estas comisiones ambientales tienen objetivos en común que cumplir entorno a actividades educativas desde donde se puede promover la puesta en marcha del Plan de Gestión Comunitaria de forma oficial en alianza con otros comités, comisiones, ONGs, asociaciones y empresas.

Paralelamente, como parte del mecanismo de gobernanza comunitaria surgen los Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA), los cuales, son colectivos de participación ciudadana que funcionan bajo el amparo de la Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica. Los OCA ofrecen un espacio de involucramiento donde las personas se pueden unir voluntariamente para vigilar y monitorear constantemente un cuerpo de agua a través de actividades y proyectos, promoviendo la mejora en la gestión y protección del agua en un territorio específico, los OCA se pueden establecer para la protección del agua potable o de un río [67].

V. CONCLUSIONES

El Río Toyogres está afectado por severos niveles de contaminación los cuales, por su cercanía con campos agrícolas, pastos y zona urbana, pueden estar asociadas a descargas fecales domésticas y ganaderas, residuos agrícolas e industriales y productos de limpieza. Estas condiciones promueven procesos anaerobios, de eutrofización, reducción de la capacidad de los microorganismos de digerir la carga orgánica y, por lo tanto, impide que la vida acuática pueda sobrevivir, reduciendo los beneficios ecosistémicos, afectando la salud pública, el uso recreativo de estos espacios y el turismo en la zona.

El punto 6, conocido como Quebrada de Residencias, sitio donde predominó la cobertura urbana, tuvo la contaminación más crítica y persistente según el ICA Calvo-Tec, siendo los indicadores de coliformes fecales, DBO₅, oxígeno disuelto, nitratos, amonio y fosfatos los más relevantes. Mientras que el punto 3, sitio rodeado de cultivos, pastos y parches boscosos significativos, resulta ser un ejemplo para explorar a profundidad puesto que los resultados de calidad mostraron ser los más altos. Es importante analizar las condiciones ambientales, topográficas y forestales de este sitio ya que pueden dar una pauta para la conservación del Río Toyogres.

La cobertura de cultivos y pastos, predominaron en la zona alta de la microcuenca del Río Toyogres, siendo un 37,52% y un 26,55% respectivamente. Los usos del suelo, la escasa cobertura boscosa, la pendiente de la zona, el uso indiscriminado de agroquímicos y el vertido de aguas residuales ejercen una fuerte presión sobre la microcuenca media y baja. El bosque predomina en la parte alta-media y disminuye en la parte media-baja de la microcuenca con un 20,38%, esta disminución coincide con el aumento de zona urbana la cual representó un 15,55%, como también, coincide con el aumento severo y muy severo de la contaminación en el Río Toyogres (puntos 4 a 9).

Las 179 hectáreas de AP de los ríos de la microcuenca están divididas en un 3% de uso urbano, 11% de uso agrícola, 18% con pastos, y 68% corresponde a bosques. El respeto y aumento de la cobertura boscosa en las AP de los ríos contribuirá a reducir la contaminación presente.

La escorrentía superficial, la falta de cobertura boscosa, las actividades agrícolas y ganaderas, la falta de infraestructura adecuada para el saneamiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas y las pendientes pronunciadas en la zona de estudio pueden ser factores influyentes de mayores niveles de contaminación en el Río Toyogres.

El Plan de Gestión Comunitaria y sus líneas de acción son una base fuerte para la reducción de la contaminación en la microcuenca del Río Toyogres. El involucramiento comunitario e institucional permitió levantar un proceso educativo, sostenible y cultural diferenciador para los cambios necesarios en la microcuenca.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer un mecanismo de gobernanza institucional y comunitaria para llevar a cabo el Plan de Gestión Comunitaria para el Río Toyogres.

Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo y participativo de la microcuenca del Río Toyogres, realizando las evaluaciones de calidad de agua con el ICA Calvo-Tec, incluyendo el monitoreo biológico BMWP-CR.

Se recomienda promover y aplicar buenas prácticas agrícolas en la zona de estudio para reducir la escorrentía superficial y la contaminación que llega al Río. Esto engloba la conservación y aumento de cobertura vegetal y la implementación del manejo sostenible del suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Salazar Céspedes, “Estrategia de Monitoreo Hídrico Comunitario para la microcuenca río Jorco basado en el análisis de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos de la calidad de agua”, Tesis de grado para optar por el grado de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia , 2018.
- [2] S. Soto-Cordoba, L. Gaviria-Montoya, y M. Pino-Gómez, “Condiciones del saneamiento ambiental sostenible en comunidades Rurales de la Provincia de Cartago años 2014-2016, Costa Rica”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 31, núm. 2, p. 106, jun. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i2.3628.
- [3] G. Calvo-Brenes, *Ríos: Fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental*, 1a ed. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015.
- [4] P. Gastezzi-Arias, V. Alvarado-García, y G. Pérez-Gómez, “La importancia de los ríos como corredores interurbanos”, *Revista Biocenosis*, Vol. 31, N° 1-2, pp. 37–45, mar. 2017.
- [5] O. Gómez-Duarte, “Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global”, *Revista de la Facultad de Medicina*, ISSN 0120-0011, ISSN-e 2357-3848, Vol. 66, N° 1, 2018, págs. 7-8, vol. 66, núm. 1, pp. 7–8, 2018, doi: 10.15446/revfacmed.v66n1.70775.
- [6] Olguín Eugenia J., González-Portela Ricardo E., Sánchez-Galván Gloria, Zamora-Castro Jorge E., y Owen Tomás, “Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México - PDF Descargar libre”, *Revista Latinoamericana Biotecnológica Ambiental Algal*, vol. Vol. 1, núm. N° 2, pp. 178–190, 2010, Consultado: el 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/54002645-Contaminacion-de-rios-urbanos-el-caso-de-la-subcuenca-del-rio-sordo-en-xalapa-veracruz-mexico.html>
- [7] Jiménez Cisneros Blanca y Galizia Tundisi, “Diagnóstico del Agua en las Américas”, mar. 2012. Consultado: el 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Jimenez-3/publication/312488830_Diagnostico_del_Agua_en_Las_Americas_En_Espanol/links/587e388008ae9275d4eb8ab7/Diagnostico-del-Agua-en-Las-Americas-En-Espanol.pdf#page=227

- [8] A. Rodríguez Ulloa, B. Chacón Solano, y A. Mata Jiménez, “Calidad de las aguas de los ríos Toyogres y San Nicolás, Cartago, Costa Rica 1980 -1982”, *Tecnología en Marcha*, ISSN 0379-3962, ISSN-e 2215-3241, Vol. 6, N°. 4, 1984, págs. 3-7, vol. 6, núm. 4, pp. 3–7, 1984, Consultado: el 3 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7426820&info=resumen&idioma=SPA>
- [9] Calvo-Brenes G, “Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica”, *Tecnología en Marcha*, vol. Vol. 26, núm. 2, pp. 9–19, abr. 2013, Consultado: el 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1399/1293
- [10] U.S. Fish and Wildlife Service, “Habitat Evaluation Procedures. ESM 102. ”, Washington D.C., 1980.
- [11] S. T. Y. Yong y W. Chen, “Modeling the relationship between land use and surface water quality”, *J Environ Manage*, vol. 66, núm. 4, pp. 377–393, dic. 2002, doi: 10.1006/JEMA.2002.0593.
- [12] M. Á. Pérez Martín, “Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para grandes cuencas. aportación al análisis de presiones e impactos de la directiva marco del agua”, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2005. Consultado: el 8 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/191462>
- [13] L. E. Maderey Rascón y A. Jiménez Román, “Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México”, *Scielo*, vol. 45, ago. 2001.
- [14] USDA, “Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo”, ago. 1999. Consultado: el 18 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- [15] INA, “El ciclo hidrológico | Recurso Hídrico - Tema 1”. Consultado: el 8 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.inavirtual.ed.cr/pluginfile.php/1311915/mod_resource/content/16/final/el_ciclo_hidrolgico.html

- [16] A. Hernández-Ulate, “Geomorfología, uso de la tierra y dinámica erosión sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa Rica”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Universidad Nacional, Guanacaste, 2010. Consultado: el 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5858>
- [17] P. Ramírez-Granados y K. Alfaro-Jiménez, “Morfometría de la subcuenca del río Toyogres, Cartago, Costa Rica”, *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, núm. 60, pp. 255–276, may 2018, doi: 10.15359/rgac.60-1.9.
- [18] M. Guerrero Hernández, “Determinación del efecto del uso del suelo (influencia antropogénica) sobre la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento de la población en la cuenca del Río Sarapiquí.”, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, 2011. Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: uned.ac.cr/ecologiaurbana/images/pdf/Tesis-manuel-guerrero.pdf
- [19] J. Nuñez Solís, *Manejo y conservación de suelos*. San José, Costa Rica: Editorial EUNED, 2010.
- [20] A. Araya Ulloa, “Propuesta para un plan de manejo de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica”, Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2016.
- [21] Acevedo-Mairena H, Monge-Vargas R, Ramírez-Zea C, y Calvo-Méndez M, “Descripción del Sistema de Clasificación de Uso y Cobertura de la Tierra propuesto para el SIMOCUTE”, *Revista Trimestral sobre la Actualidad Ambiental - Ambientico*, pp. 23–34, marzo de 2020. Consultado: el 13 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/30621/273_23-34.pdf
- [22] Alianza Mundial de Derecho Ambiental, “Guía Para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros”, Estados Unidos de América, 2010.
- [23] C. A. Sierra Ramírez, “Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico”, 2011, Consultado: el 14 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568#.ZGG5afWcW2Q.mendeley>

- [24] C. Vidal y H. Romero Aravena, “Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción.”, 2010, Consultado: el 8 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118084#.ZDIZ8nfpYes.mendeley>
- [25] J. S. Robinson y A. N. Sharpley, “Release of Nitrogen and Phosphorus from Poultry Litter.”, *Rev. J. Environ. Qual*, vol. 24, pp. 62–67, 1995.
- [26] L. A. Bruijnzeel, “Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review”, Holanda, 1990.
- [27] D. Álvarez-Masis, “Conectividad estructural del paisaje circundante a los corredores biológicos del ITCR, Campus Tecnológico Central, Cartago, Costa Rica”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2023.
- [28] COBRI SURAC, “Ficha Técnica Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado-Agua Caliente (COBRI SURAC)”, nov. 2007. Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14874553/cobri-surac-sinac>
- [29] J. Escobar, “La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar ”, Santiago de Chile, dic. 2002. Consultado: el 7 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6411/S0210820_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] J. Araya y A. Rodríguez, “Boletín informativo del Observatorio Municipal No 11”, San José, Costa Rica, 2011.
- [31] Y. Solarte, M. Peña, y C. Madera, “Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano”, *Colomb Med*, vol. 37, núm. 1, mar. 2006, Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cm/v37n1/v37n1a11.pdf>
- [32] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y Viceministerio de Agua y Mares del Ministerio de Ambiente y Energía, “Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030”, San José, Costa Rica, mar. 2020.
- [33] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, *Ley N° 7575. Ley Forestal*. La Gaceta, 1996.

- [34] N. Ureña Retana, “Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo sobre los recursos hídricos en la Microcuenca del Río Ciruelas, Costa Rica”, 2004, Consultado: el 11 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4938#.ZDY9Ah9AmtE.mendeley>
- [35] C. Troche y E. Guarachi, “Análisis del cambio de cobertura y fragmentación del hábitat en el municipio de Independencia. Una propuesta metodológica simple para la identificación de áreas prioritarias de investigación biológica.”, Centro de levantamientos aeroespaciales y aplicaciones SIG para el desarrollo sostenible de los recursos naturales, Cochabamba, 2001.
- [36] O. Vargas Ríos, “Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación”, *Acta biol. Colomb*, vol. 16, núm. 2, pp. 221–246, jun. 2011, Consultado: el 7 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v16n2/v16n2a17.pdf>
- [37] M. Polo Ballinas, “Los servicios ecosistémicos de los ríos urbanos y su contribución en la adaptación al cambio climático en las ciudades mexicanas”, *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, vol. 6, núm. 1, pp. 43–51, 2014, Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/es/revista/investigacion-ambiental-ciencia-y-politica-publica/articulo/los-servicios-ecosistemas-de-los-rios-urbanos-y-su-contribucion-en-la-adaptacion-al-cambio-climatico-en-las-ciudades-mexicanas>
- [38] M. R. Vargas, L. P. Castro, R. V. Chacón, R. M. Monge, y F. N. Obando, “Evaluación ecológica rápida de un ecosistema urbano: el caso de la microcuenca del Río Pirro, Heredia, Costa Rica.”, *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2, núm. 47, pp. 41–69, 2011, Consultado: el 10 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/4109>
- [39] D. Ramírez-Morales, M. E. Pérez-Villanueva, J. S. Chin-Pampillo, P. Aguilar-Mora, V. Arias-Mora, y M. Masís-Mora, “Pesticide occurrence and water quality assessment from an agriculturally influenced Latin-American tropical region”, *Chemosphere*, vol. 262, p. 127851, ene. 2021, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127851.
- [40] A. Dourojeanni y A. Jouravlev, “Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos”, dic. 1999.

- [41] INEC, “Estadísticas demográficas 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo”, jul. 2018.
- [42] R. Masís Campos y H. Vargas Picado, “Incremento de Áreas Impermeables por Cambios de Usos de la Tierra en la Microcuenca del Río Burío”, *Scielo*, vol. 93, núm. 1, jun. 2014, Consultado: el 9 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-28592014000100003
- [43] T. Abbasi y S. A. Abbasi, *Water Quality Indices*. India: Elsevier, 2012. doi: 10.1016/C2010-0-69472-7.
- [44] N. Fernández, A. Ramírez, y F. Solano, “Índices fisicoquímicos de calidad del agua: Un estudio comparativo”, en *Memorias del evento: Agua 2003. Conferencia internacional usos múltiples del agua para la vida y el desarrollo sostenible*, N. Fernández, A. Ramírez, y F. Solano, Eds., International Water Association, 2003. Consultado: el 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/fisic.pdf>
- [45] G. Calvo-Brenes, “Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental”, Doctoral, Universidad Estatal a Distancia, Universidad Nacional de Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2013.
- [46] G. Calvo-Brenes y J. Mora-Molina, “Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 20, núm. 4, Cartago, Costa Rica, pp. 59–67, octubre de 2007. Consultado: el 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/452/380
- [47] G. Calvo-Brenes, “Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica”, *Tecnología en Marcha*, vol. Vol. 32, núm. 4, pp. 104–115, oct. 2019, Consultado: el 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4796/4566

- [48] P. Meli y V. Carrasco-Carballido, “Restauración ecológica de riberas: Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona”, Distrito Federal México, 2011.
- [49] A. Dourojeanni, A. Jouravlev, y G. Chávez, “Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica”, Santiago de Chile, ago. 2002. Consultado: el 9 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6407/S028593_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [50] J. Faustino y F. Jiménez, “Manejo de Cuencas Hidrográficas”, 2000, *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba*.
- [51] E. Ríos, H. Avalos, I. González-Mora, R. Pineda, y A. Alcántar, *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. 2013.
- [52] INA, “¿Qué es Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH)? | Recurso Hídrico - Tema 1”. Consultado: el 9 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.inavirtual.ed.cr/pluginfile.php/1311915/mod_resource/content/16/final/qu_es_gestin_integrada_de_recurso_hdrico_girh.html
- [53] S. Cascante-Elizondo, “Una tarifa para mejorar la prestación del servicio hídrico”, *Semanario Universidad*, el 14 de septiembre de 2022.
- [54] O. A. Merchán Villegas, “Plan de Gestión Comunitaria como alternativa para promover la participación ciudadana de los moradores de la ciudadela Jaime Roldós, cantón La Libertad, provincia de Santa Elena.”, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2015. Consultado: el 15 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/3113/1/UPSE-TOD-2015-0053.pdf>
- [55] “IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua”, 2004.
- [56] O. Vargas Ríos, *Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del bosque altoandino*. 2007.
- [57] S. Bastidas y M. García, “La Gestión Comunitaria en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento como base de sostenibilidad y construcción de tejido social”, Colombia, 2002. Consultado: el 8 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_4/9/4.Bastidas_y_Garcia%20.pdf

- [58] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México, 2014. Consultado: el 1 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/AMB/AI5904/S-1-2023.CA.AI5904.1/file-storage/view/libros%2FMetodologia - Investigacion - ed - Sampieri.pdf](https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/AMB/AI5904/S-1-2023.CA.AI5904.1/file-storage/view/libros%2FMetodologia%20-%20Investigacion%20-%20ed%20-%20Sampieri.pdf)
- [59] D. Carvajal, “Definición de categorías de cobertura de suelo”, el 27 de julio de 2023.
- [60] A. Hamui-Sutton y M. Varela-Ruiz, “La técnica de grupos focales”, *Investigación en Educación Médica*, vol. 2, núm. 5, pp. 55–60, ene. 2013, doi: 10.1016/S2007-5057(13)72683-8.
- [61] G. Calvo Brenes, *Índices e indicadores sobre la calidad del agua*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2018.
- [62] F. G. García Miranda y V. Miranda Rosales, “Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico”, *Repositorio universitario*, oct. 2018.
- [63] C. G. Cude, “Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness”, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol. 37, núm. 1, pp. 125–137, feb. 2001, doi: 10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x.
- [64] SIMOCUTE, “Marco Conceptual del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas”, San José, Costa Rica, 2019.
- [65] UNA, “La situación del agua en Costa Rica”, Heredia, Costa Rica, 2004.
- [66] INVU, “Manual de Planes Reguladores como Instrumento de Ordenamiento Territorial”. Consultado: el 3 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Manual+de+Planes+Reguladores+como+Instrumento+de+Ordenamiento+Territorial>
- [67] Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica, “Observatorios Ciudadanos del Agua”. Consultado: el 19 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/5ede6f5665eb9856c72471b2/t/64a4971ce2201a7b74a2d662/1688508189133/Observatorios+Ciudadanos+del+Agua++%28ES%29.pdf>

VIII. APÉNDICES

Apéndice 1: Punto de muestreo 1: Origen del Río Toyogres y sus alrededores



Apéndice 2: Evidencia de invasión del área de protección del Río Toyogres en zona urbana, San Rafael de Oreamuno



Apéndice 3: Invitación a la Presentación de resultados: Calidad del agua de la microcuenca del Río Toyogres y Diagnóstico: percepción de la contaminación del Recurso Hídrico.



Apéndice 4: Asistencia al Diagnóstico de percepción de la contaminación

18/11/2023

"Transición a una economía verde urbana y la generación de beneficios ambientales globales"

LISTA DE ASISTENCIA *Diagnóstico de percepción de la contaminación y presentación de resultados*

#	Nombre completo	Institución	Teléfono	Correo	M	F	Firma
	Priscilla de Jesús Abarca Bonilla	UCR	87052127	pris161298@gmail.com		✓	<i>[Signature]</i>
	Vera C Cespedes A.	Asada TB	88438086	veracespedes56@hotmail.com			<i>[Signature]</i>
	Sulio Gómez	Asada TB	84895928				<i>[Signature]</i>
	José Brenes Ramírez	Asada TB	83526066	josebrenesr@gmail.com			<i>[Signature]</i>
	Glean Petersen P	Particular	83688630	petersen_eileen@hotmail.com			<i>[Signature]</i>
	JORGE ROSALES E.	Particular	88832778	@gmail.com		✓	<i>[Signature]</i>
	Daniel Brenes Q	Particular	8806-1422	danybre@gmail.com	X	✓	<i>[Signature]</i>
	Eugenia Quirós Calderón	Particular	901-91-21-18	eugeniaquirós56@gmail.com		✓	<i>[Signature]</i>
	Selva María R	particular	86243520	selva.smr@hotmail.com	/		<i>[Signature]</i>

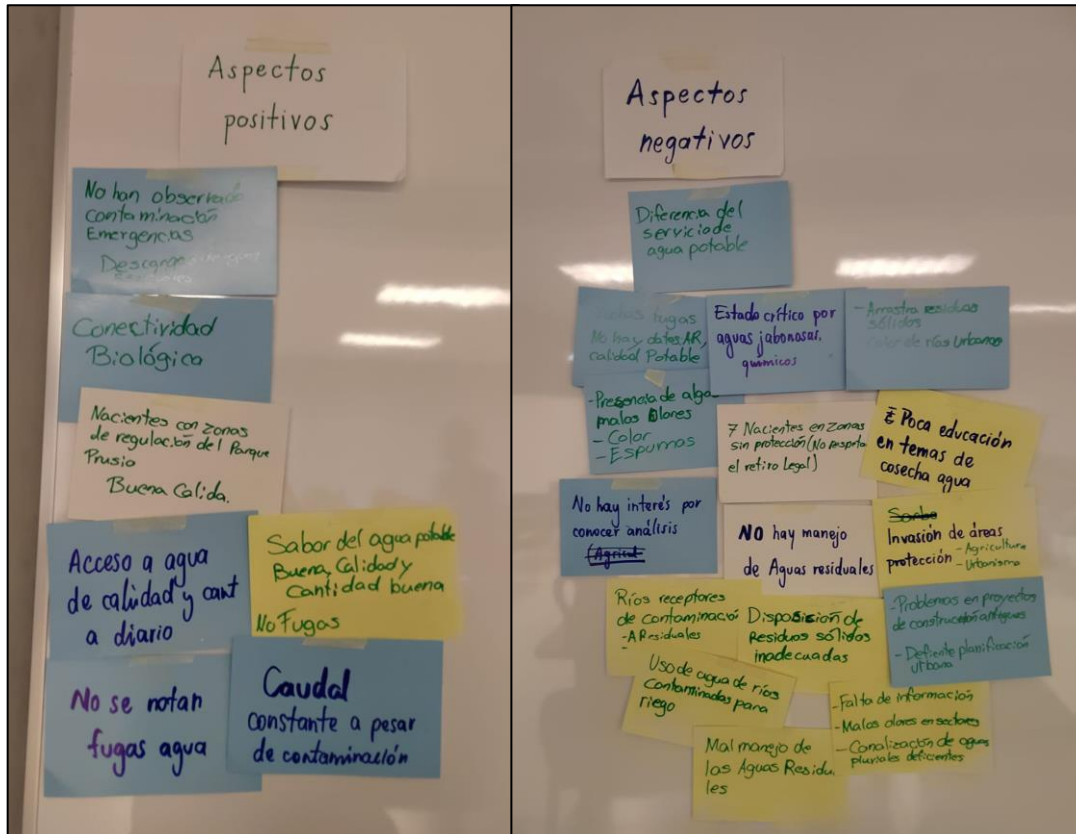
15-11-23

"Transición a una economía verde urbana y la generación de beneficios ambientales globales"

LISTA DE ASISTENCIA

#	Nombre completo	Institución	Teléfono	Correo	M	F	Firma
	Sebastián Antonio Sánchez Guzmán	Tatisevi Colectivo Ambiental/Particular	77580301	antoniosg.3097@gmail.com	✓		

Apéndice 5: Identificación de aspectos positivos y negativos entorno al recurso hídrico



Apéndice 6: Actores sociales y posibles soluciones identificadas

Tomando en cuenta los aspectos negativos destacados por su sector, mencione ¿cuáles instituciones públicas, organizaciones, grupos comunitarios, empresas o actores sociales involucraría usted para atacar estos retos que se identificaron?	¿Qué cosas (actividades, campañas, plataformas, entre otras) considera usted, pueden impulsarse para atacar los retos destacados en su comunidad?	Distrito al que pertenece
Empresa privada, Municipalidad de Oreamuno, AyA, cualquier Organización no gubernamental que pueda ayudar a la planificación y enlace de proyectos	Campañas "publicitarias" de conocimiento de las diferentes problemáticas a las comunidades para luego organizarse mediante las asadas y las diferentes organizaciones comunitarias y hacer participe a toda la ciudadanía	San Rafael
Municipalidad de Oreamuno, Ministerio De Salud , Asadas, Distribuidores de Agroquímicos, Comunidad En General.	Concientizar sobre nuestra responsabilidad en la preservación de los recursos naturales , no solo Hídrico, Son recursos agotables .	Tierra Blanca
Municipalidad, AyA, TEC, grupos organizados de vecinos, otros	Todo lo que este disponible, se necesita que la información llegue a la comunidad	Cartago Oriental
La junta directiva de Dulce Nombre, La parroquia de Dulce Nombre para hacer llamado a la gente a participar de actividades o charlas, en escuelas o colegios con voluntariado, se tiene en cuenta que indudablemente es peligroso recoger basura del río directamente, pero se puede contribuir con la recolección en parques y aceras u otro punto de interés ya que al evitar basura en alcantarillas también se previene indirectamente que esta caiga en los ríos y al mismo tiempo se educa a la población sobre esto para que de forma personal se de la iniciativa.	Whatsapp es una plataforma de fácil acceso como Telegram y otras, boletines informativos en puntos de interés como Iglesia, escuela o colegio, claramente con su debido permiso	Dulce Nombre

Apéndice 7: Asistencia al taller con comunidades para la construcción del Plan de Gestión Comunitaria.

Id	Start time	Completion time	Nombre	Organización que representa	Cantón y distrito	Género	Comentario adicional
1	4/10/24 19:27:53	4/10/24 19:28:53	Tatiana Jiménez Jiménez		Oreamuno, San Rafael	Femenino	Muchas gracias por el espacio
2	4/10/24 19:29:21	4/10/24 19:30:09	Sebastián Sánchez Guzmán	Tatiscú Colectivo Ambiental	Oreamuno, San Rafael	Masculino	
3	4/10/24 19:34:10	4/10/24 19:34:46	María Fernanda Muñoz Tubito	Estudiante de Ingeniería Ambiental	Cartago, Oriental	Femenino	¡Gracias por el espacio!
4	4/10/24 19:34:20	4/10/24 19:34:53	Gissel Hernández Rivas	Vecina	Oriental	Femenino	
5	4/10/24 19:40:25	4/10/24 19:40:55	Natalia Gamboa Alpizar	OET TEVU PNUD	Alajuela, Central	Femenino	
6	4/10/24 19:57:48	4/10/24 19:58:32	Priscilla Abarca Bonilla	UCR/estudiante	Cartago, Tierra Blanca	Femenino	
7	4/10/24 19:58:06	4/10/24 19:58:45	Sebastián Camacho Jiménez	Ninguna	San Rafael, Oreamuno	Masculino	
8	4/10/24 19:58:06	4/10/24 19:59:10	Rebeca Camacho Jiménez	TEC	San Rafael, Oreamuno	Femenino	

Apéndice 8: Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres desde la visión de las comunidades.

Retos prioritarios	Actividades	Actores sociales	Plazos de ejecución	Insumos
Mejoramiento de la gestión de residuos sólidos y líquidos y su transporte y vertido.	1. Programa o Iniciativa de sensibilización y seguimiento para regular la disposición de aceites, grasas, residuos líquidos y sólidos (Uso de trampas de recolección de residuos sólidos, control de aguas residuales de los comercios, casas, sector agrícola, industrial tanto en zonas urbanas como rurales)	Centros educativos, Guías y Scouts, ASADAS, Acueductos Municipales, Ministerio de Salud, Municipalidades,	Corto-mediano plazo con plan piloto	<ul style="list-style-type: none"> Participación comunitaria en organización y actividades Profesionales en diseño y generación de insumos.

	<p>2. Campañas participativas educativas como talleres, actividades. Enfocados en el bienestar ecológico, cambio del discurso de concientización sobre cómo se ve afectado el río propiamente.</p>	<p>ADIs, Universidades, Colectivo Ambiental Taticú, OCAs, SINAC, Cobri Surac, Comisiones de Cuenca.</p>	<p>Corto plazo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración con difusión de actividades.
<p>Respeto y rehabilitación de áreas de protección y cuerpos de agua</p>	<p>1. Campañas de arborización con comunidades en áreas de protección colindantes a ríos y fincas</p> <p>2. Refuerzo de los departamentos de gobiernos locales en el aspecto ambiental: planes reguladores, control de permisos de construcción, regulaciones más estrictas a nuevas propiedades, mapeo de propiedades que invaden AP desde la Ley Forestal.</p>	<p>INA, Municipalidades, Centros educativos, SINAC- MINAE, Cobri Surac, TEC, Colectivo Ambiental Taticú, Comisiones de Cuenca, ADIs, TEVU, fincas turísticas, Oficina de Agricultura.</p> <p>Oficina de género o atención ciudadana transparencia, INVU, MIVAH.</p>	<p>Corto a largo plazo</p> <p>Largo plazo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Árboles, arbustos, plantas • Mantenimiento (contrapartidas con Municipalidades) • Herramientas para reforestaciones • Recurso humano capacitado en el tema • Presupuesto para refrigerios • Asistencia primeros auxilios • Organización comunitaria • Organización comunitaria, para procesos de vigilancia • Recurso humano capacitado en el tema

Apéndice 9: Asistencia al taller con instituciones para la construcción del Plan de Gestión Comunitaria

Apéndice 10: Asistencia al taller con instituciones para la construcción del Plan de Gestión Comunitaria

"Transición a una economía verde urbana y la generación de beneficios ambientales globales"

MINA E OET TEVU economía verde urbana gef

LISTA DE ASISTENCIA


Fecha: 27/04/2024

Nombre de la actividad: Taller Acciones de mejora para la Microcuenca Río Toyogres

#	Nombre completo	Institución	Teléfono	Correo	M	F	Firma
	Florencia Olayo	SINAC OF-L	25912398	flor.olayo@sinac.gob.cr		X	[Firma]
	Clara Artaña	SINAC	25519398	iremo.artana@sinac.go.cr		X	[Firma]
	Rebeca Camacho Jiménez	TEC	83823819	camacho0798@gmail.com	X		[Firma]
	Mauricio Chicas R.	TEC	83835718	mchicas@tec.ac.cr	X		[Firma]
	Kathia Albo	TEVU	89964729	ekathy@tevu.org		X	[Firma]
	Emma Mora	Comunidad	-	emora@toyogres.org		X	[Firma]
	Maria Alvarado	TEVU	85002025	maria.alvarado@tevu.org	X		[Firma]
	Carlos Salazar Mora	MINSA DARS Cartago	7012 6890	carlos.salazar@minsa.gov.cr	X		[Firma]
	Natalia Bonilla	TEVU-DEF-PMO	8312 9137	natalia@toyogres.org		X	[Firma]
	Arianna Bonilla	Muni Cartago	89648375	arianna@munici-pal-cartago.cr		X	[Firma]
	Patricia Montenegro	Bases Muni Cartago	88791534	pmontenegro@munici-pal-cartago.cr		X	[Firma]
	Milena Torres	Muni Cartago	88571672	milena@munici-pal-cartago.cr		X	[Firma]

Organización para Estudios Tropicales - OET
9512-06309
San José, Moravia de Oro, San Pedro
14086 2314200


"Transición a una economía verde urbana y la generación de beneficios ambientales globales"



LISTA DE ASISTENCIA

Fecha: _____

Nombre de la actividad: _____

#	Nombre completo	Institución	Teléfono	Correo	M	F	Firma
	Jessica Aguilar C.	Municipalidad de Oreamuno	83273379	jessica.aguilar@oaramuno.go.cr			
	William Marcelo	Oreamuno	83071935	william.marcelo@oaramuno.gov	X		

Organización para Estudios Tropicales -OET-
 3023-040069
 San José, Montes de Oro, San Pedro
 (+506) 2511-6200
www.oet.or.cr

Apéndice 11: Plan de Gestión Comunitaria para la microcuenca del Río Toyogres desde la visión de las instituciones.

Retos prioritarios	Actividades	Actores sociales	Plazos de ejecución	Insumos
Desarticulación interinstitucional y falta de enfoque interdisciplinario para abordar las problemáticas	1. Mesas de trabajo interdisciplinarias con apoyo de academia. 2. Bases de datos 3. Herramientas para gestión de conocimiento (SIG)	Municipalidad de Oreamuno Municipalidad de Cartago	Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> Recurso humano de instituciones Equipo interdisciplinario y apoyo de la academia Fondos (alianzas estratégicas) Participación ciudadana Convenios Línea base
Manejo de prácticas agrícolas deficientes en la producción	1. Sensibilización con enfoque de impactos socioambientales en la microcuenca 2. Ofrecer incentivos y cadenas de valor	Ministerio de Salud SINAC Universidades Comunidades dentro de la microcuenca Productores locales CCCI	Mediano-largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> Línea base inventario de agroquímicos Capacitación

Vertidos de aguas residuales, dudoso cumplimiento del reglamento de vertidos, uso de agua de vertidos para riego	1. Trabajo en conjunto con ordenes sanitarias del Ministerio de Salud (procesos de vigilancia de calidad de AR deficientes) 2. Declaración de restricción de vertidos con la Dirección de Aguas – Plan Catastro y Plan Regulador	COMCURE TEC MEP ASADAS ADIs Dirección de Aguas MAG SUAs	Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento legal efectivo
Legislación que no responde a la capacidad de depuración del río	1. Gobernanza del proceso de atención a la microcuenca 2. Rehabilitación de áreas de protección (recuperación de ecosistemas con Piloto del CCCI)		Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación • Mejoramiento de condiciones

IX. ANEXOS

Anexo legislativo

- [L1] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, *Ley N° 7575. Ley Forestal*. La Gaceta, 1996.
- [L2] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, *Ley N° 276. Ley General de Aguas*. Costa Rica: La Gaceta, 1942.
- [L3] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, *Ley N° 2825. Ley de Tierras y Colonización*. . La Gaceta, 1961.
- [L4] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, *Ley N° 68. Ley de Protección de las Cuencas Hidrográficas*, jun. 1923.
- [L5] Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, *Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones*. Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica , 2020.
- [L6] MINAE, *Reglamento para la Clasificación y Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. San José, Costa Rica, 2007.
- [L7] Ministerio de Ambiente y Energía, Ministerio de Salud, y Presidencia de la República, *Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos*. Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2008.
- [L8] E. y T. Ministerio de Ambiente, “Política Hídrica Nacional”, San José, 2009.
- [L9] Ministerio de Ambiente y Energía, “Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040. ”, San José, Costa Rica, 2020.
- [L10] MINAE y Dirección de Agua, “Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica”, ago. 2021. Consultado: el 11 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://da.go.cr/wp-content/uploads/2017/01/Plan-Nacional-Monitoreo-Calidad-Cuerpos-Agua-Superficiales_2021-2024_VF.pdf
- [L11] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y Viceministerio de Agua y Mares del Ministerio de Ambiente y Energía, “Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030”, San José, Costa Rica, mar. 2020.
- [L12] Ministerio de Ambiente y Energía y Presidencia de la República, *Canon por Concepto de Aprovechamiento de Aguas* . Costa Rica: Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2006