



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO BERMUDEZ, HEREDIA, COSTA RICA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN Y LA ESCUELA DE POSGRADO COMO  
REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE**

**MASTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

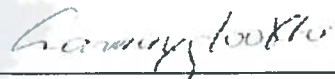
**DEIVIS ANCHIA LEITÓN**

**TURRIALBA, COSTA RICA  
2021**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador de la estudiante, como requisito para optar por el grado de

## MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

### FIRMANTES:



---

José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.  
Asesor del Trabajo de Graduación



---

Isabel Cristina Bolaños Portilla, Ph.D.  
Miembro Comité Asesor del Trabajo de Graduación



---

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.  
Decano de la Escuela de Posgrado



---

Deivis Anchia Leitón  
Candidato



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Antecedentes .....	3
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivo general.....	4
1.5. Objetivos específicos .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Cuenca hidrográfica.....	5
2.2 Calidad de agua.....	5
2.3 Índice Holandés .....	6
2.4 Índice BMWP-CR.....	10
3. METODOLOGÍA .....	10
3.1 Ubicación del área de estudio .....	10
3.2 Fases del proyecto.....	12
3.2.1 Fase I. Identificación y caracterización de los principales usuarios del agua ....	13
3.2.2 Fase II.A Análisis y selección de puntos de muestreo y validación de campo ..	13
3.2.3 Fase II.B Recolección en campo de bioindicadores y muestras de agua .....	14
3.2.3.1 Bioindicadores .....	14
3.2.3.2 Muestras de agua .....	15
3.1.1 Fase III. Clasificación de la microcuenca mediante el índice holandés e índice BMWP-CR.....	16
3.1.1.1 Aforos .....	16
3.1.1.2 Índice Holandés .....	17
3.1.1.1 Índice BMWP-CR .....	18
3.1.1 Fase IV. Formular acciones de Gestión Integral del Recurso Hídrico con Enfoque de Cuencas.....	20
4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	21
4.1 Principales usuarios del agua en la microcuenca.....	21
4.2 Sitios de muestreo .....	23
4.3 Recolección de bioindicadores y muestras de agua.....	25
4.4 Clasificación de la microcuenca .....	26
4.4.1 Caudales calculados según sitio de muestreo.....	26

4.1.1	Clasificación según el Índice Holandés .....	28
4.1.2	Clasificación según el Índice BMWP-CR.....	31
4.1	Índice Holandés e índice BMWP-CR .....	33
4.2	Acciones para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.....	35
5.	CONCLUSIONES .....	37
6.	LITERATURA CITADA.....	39

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Parámetros de calidad de aguas superficiales.....</b>	<b>8</b>
<b>Cuadro 2. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico Química del agua para cuerpos receptores.....</b>	<b>17</b>
<b>Cuadro 3. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal. ....</b>	<b>17</b>
<b>Cuadro 4. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.....</b>	<b>18</b>
<b>Cuadro 5. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total.....</b>	<b>19</b>
<b>Cuadro 6. Caracterización según punto de muestreo .....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 7. Caudales según sitio de muestreo sitio 1.....</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 8. Caudales según sitio de muestreo sitio 2.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 9. Caudales según sitio de muestreo sitio 3.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 10. Caudales según sitio de muestreo sitio 4.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 11. Caudales según sitio de muestreo sitio 5.....</b>	<b>28</b>
<b>Cuadro 12. Resultados de análisis fisicoquímicos.....</b>	<b>28</b>
<b>Cuadro 13. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de agua. ....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 14. Asignación de puntajes por sitio de muestreo.....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 15. Clasificación según índice BMWP-CR.....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 16. Comparación de resultados según índice holandés e índice BMWP-CR ..</b>	<b>33</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.</b> .....	11
<b>Figura 2. Diagrama metodológico</b> .....	12
<b>Figura 3. Distribución de los usos del suelo, microcuenca alta del río Bermúdez, 2017.</b> .....	21
<b>Figura 4. Distribución de los puntos de muestreo en la microcuenca.</b> .....	24
<b>Figura 5. Muestreo de macroinvertebrados</b> .....	25
<b>Figura 6. Muestreo de agua</b> .....	26
<b>Figura 7. Sitio de muestreo B01.</b> .....	31
<b>Figura 8. Distribución puntos de muestreo y su clasificación según índice Holandés.</b> 34	
<b>Figura 9. Distribución puntos de muestreo y su clasificación según índice BMWP-CR.</b> .....	34

## **GLOSARIO**

COVIRENA: Comité de Vigilancia de los Recursos Naturales  
CUS: Cobertura y Uso del Suelo  
MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía  
AYA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
BMWP-CR: Biological Monitoring Working Party-Costa Rica  
CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación Enseñanza  
N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Nitrógeno Amoniacal  
OD: Oxígeno Disuelto  
PSO: % saturación de oxígeno  
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno  
DQO: Demanda Química de Oxígeno  
SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno  
GyA: Grasas y Aceites  
SST: Sólidos Suspendidos Totales



## **RESUMEN**

Las actividades productivas que se llevan a cabo en las cuencas hidrográficas de Costa Rica son altamente variadas y obedece principalmente a las características y particularidades de las zonas, que a su vez están influenciadas por la variedad de microclimas y relieves que generan un paisaje sumamente variado entre áreas de una misma cuenca. A pesar de la variedad existente y la gran cantidad de actividades socioeconómicas, existe un elemento en común, el agua, por lo que es de vital importancia conocer su estado actual.

Mediante este proyecto se llevó a cabo una caracterización y diagnóstico de la calidad del agua superficial en la cuenca alta del río Bermúdez utilizando el índice holandés e índice BMWP-CR. La aplicación de dichos índices, permitió identificar contaminación incipiente en algunos puntos de la microcuenca, lo que posee relación con el caudal existente y la época del año en la cual se realizaron los muestreos de campo, pero además posee relación con los usos del suelo destinados a la ganadería de leche en grandes áreas y al mismo tiempo áreas urbanas importantes con 35% y 44% respectivamente del área total de la cuenca.

## **ABSTRACT**

The productive activities carried out in the basins of Costa Rica are highly varied and are mainly due to the characteristics and particularities of the areas, which in turn are influenced by the variety of microclimates and reliefs that generate a highly varied landscape between areas of the same basin. Despite the existing variety and the large number of socioeconomic activities, there is a common element, water, so it is vitally important to know its current state.

In this project, a characterization and diagnosis of the quality of surface water in the upper basin of the Bermúdez River was carried out using the index Holandés and BMWP-CR index. The application of these indices, allowed to identify incipient contamination in some points of the micro-basin, this is related to the existing flow and the time of year in which the field samplings were carried out, but also has a relationship with the land uses destined for dairy farming in large areas and at the same time important urban areas with 35 % and 44% respectively of the total area of the basin.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En las cuencas hidrográficas se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos. Los distintos componentes de una cuenca interactúan entre sí, formando un gran sistema natural. Actualmente se les considera un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas (Rodríguez, 2006). Sin embargo, el acelerado crecimiento urbano e industrial sucedido en las últimas décadas, ha desencadenado una serie de alteraciones al ambiente y los ecosistemas acuáticos han sido afectados significativamente debido al vertimiento de residuos líquidos y sólidos, que alteran las características fisicoquímicas, organolépticas, microbiológicas del agua superando, en la mayoría de los casos, la capacidad de autodepuración de los sistemas (Herrera & Guevara, 2014).

El desarrollo de las actividades productivas que se desarrollan en cada una de las cuencas y microcuencas de Costa Rica es altamente variada y obedece principalmente a las características y particularidades de las zonas, los territorios y su clima. A pesar de los tan variados paisajes y actividades económicas en su interior, existe un elemento que todas ellas tienen en común, el agua y su conservación y calidad están estrechamente vinculadas prácticamente con todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como con la salud de la población (Mora & Calvo, 2011).

Los cuerpos de agua, lagos, ríos y océanos sufren diferentes tipos de contaminación, causados, en su mayoría, por las actividades del ser humano. Los ríos se contaminan por la amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos procedentes de fuentes puntuales urbanas, industriales y áreas de ganadería; nutrientes de origen difuso, en áreas agrícolas y urbanas; contaminantes derivados de problemas de eutrofización; acidificación y filtraciones de botaderos de basura a cielo abierto sin control.

La carga de contaminantes disueltos y presencia de material orgánico natural y de principio antropogénico (efluentes de aguas residuales caseras, escorrentías del sector agrícola, descargas de procesos industriales, entre otros, son algunas de las variadas fuentes de contaminación natural a las que se encuentran expuestos los cuerpos de agua superficiales. La contaminación se define como una modificación causada por actividades humanas en componentes químicos, biológicos y físicos del agua. Los niveles de variación en los componentes implican el deterioro en temas de calidad del agua percibe el aporte de sustancias químicas y otros contaminantes como: nutrientes, microorganismos, grasas, sedimentos, pesticidas y aceites (Bravo, Saldaña, Izurieta, & Mijangos, 2013).

Mediante la presente investigación, se llevó a cabo una caracterización y diagnóstico de la calidad del agua superficial en la cuenca alta del río Bermúdez, específicamente la porción que se encuentra dentro del distrito Ángeles del cantón de San Rafael de la provincia de Heredia. En este sentido se procedió a realizar una identificación de los principales usuarios del agua mediante el levantamiento del uso de la tierra utilizando los Sistemas de Información

Geográfica, posteriormente a través del análisis físico-químicos, biológicos y la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se procedió a clasificar la cuenca según lo define el reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Agua Superficiales de Costa Rica (La Gaceta, 2007).

Lo anterior permitió obtener como principal resultado que esta microcuenca presenta concentraciones elevadas principalmente de coliformes fecales, lo que se encuentra estrechamente relacionado con un 35% de uso del suelo destinado a potrero y ganadería de leche.

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Samboni Ruiz, Carvajal, & Escobar, 2007).

Los resultados del presente estudio permitirán generar acciones en temas de manejo y protección del recurso hídrico superficial, su conservación y uso adecuado, a través de distintas estrategias, que convoquen el esfuerzo de las instituciones públicas, escuelas, colegios, empresa privada, actores claves y la sociedad civil.

### **1.1. Planteamiento del problema**

El deterioro de las cuencas hidrográficas, sus ríos y quebradas ha caracterizado los paisajes que cientos de costarricenses perciben a diario. Lo anterior como producto principalmente de actividades antropogénicas inadecuadas que generan el vertimiento de contaminantes sólidos y líquidos a los cuerpos de agua.

En la cuenca alta del río Bermúdez se localizan usos de la tierra destinados a la actividad agropecuaria, al mismo tiempo que se evidencian centros urbanos importantes del distrito de Los Ángeles. Cabe destacar que el área de estudio representa la parte alta, es decir, la cabecera de uno de los principales ríos que abastecen la gran cuenca del río Tárcoles. En este sentido se debe contemplar que las buenas o malas acciones que se realicen en la microcuenca alta del río Bermúdez, van a impactar la cuenca media y baja.

La municipalidad de San Rafael de Heredia es una de los 36 municipios sobre los cuales existe un recurso de amparo por la contaminación que las actividades socioeconómicas ejercen sobre los cuerpos de agua superficial que llegan hasta el cantón de Garabito en la costa Pacífica (Zumbado Vega, 2020).

El deterioro de la parte alta de la cuenca del río Bermúdez relacionado con las inadecuadas prácticas agropecuarias y urbanas que se realizan en esta zona. Lo cual limita la acción de las instituciones como COVIRENA y el municipio de San Rafael que además no cuentan con

estudios o línea base que permita determinar el estado actual de la corriente hídrica y la magnitud del impacto que esto está causando en los ecosistemas asociados.

### **1.2. Antecedentes**

En el año 2007, un ciudadano, vecino de Garabito (Jacó), estableció un recurso de amparo contra el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), el Ministerio de Salud, el AyA, la Caja Costarricense del Seguro Social y las 36 municipalidades ubicadas en el territorio del Tárcoles. El recurso generó el mencionado “Voto Garabito”, en el cual la Sala Constitucional señaló a las instituciones como responsables del daño. Las entidades anteriores fueron sentenciadas a tomar medidas drásticas para corregir la situación. Se creó entonces una comisión con tal fin, pero hasta la fecha ha generado pocos resultados tangibles (Zumbado Vega, 2020).

El río Bermúdez se sitúa en la cuenca del río Virilla el cual se convierte aguas abajo en el río Tárcoles, región de una gran importancia desde el punto de vista socioeconómico, ya que en ella se concentra más de la mitad de la población del país. Sus aguas son de buena calidad en la parte superior, pero sufren un deterioro gradual aguas abajo, conforme cruzan áreas cultivadas de café y zonas urbanas. Es importante destacar que la situación no es nueva, desde el año 1996 investigadores señalan que el manejo inadecuado de las aguas negras y la contaminación con residuos de origen agrícola e industrial han sido señalados como los principales factores causantes de degradación de las aguas de este río Castro et al., 1996 citado en (Gaetan, Marine, Raynolds, & Torres, 2006).

En el año 2020 se creó COVIRENA, el cual está compuesto por vecinos de la zona de Los Ángeles de San Rafael de Heredia, su principal interés es desarrollar los datos, la información, el conocimiento que les permita comprender de una mejor manera la dinámica dentro de las cuencas hidrográficas y de esta forma desarrollar estrategias conjuntas para la conservación y preservación de los recursos naturales en la cuenca alta del río Bermúdez, específicamente la porción que se encuentra dentro de los límites del distrito de Los Ángeles.

### **1.3. Justificación**

A nivel de cuencas, el agua es considerada el recurso integrador, por ende, la delimitación de su hidrografía es considerada como un sistema ecológico a gran escala, capaz de interactuar desde lo ecológico hasta lo social, demostrando que es un sistema complejo, sujeto a la dinámica de los “hidrosistemas” relacionados con el clima, la biología, hidrobiología, geología, incluyendo procesos sociales y biológicos que tienen lugar en su territorio UNESCO 2010, citado en (Hughes, 2020).

Cabe destacar que es posible encontrar subcuencas dentro de cuencas más grandes que se distribuyen en su parte baja, media y alta, así como es posible el trasvase de agua entre ellas. En este sentido, la buena o mala gestión del recurso hídrico que se realice en las subcuencas de la parte más alta va a impactar las poblaciones que habitan otras subcuencas aguas abajo, por lo que es un recurso integrador en el sentido amplio de la palabra. Por esta razón, es

importante analizar y monitorear la calidad del agua que se desfoga o entrega a las cuencas aguas abajo y los municipios, ya que los usos del agua son muy variados y de su calidad depende en muchas ocasiones el desarrollo de poblaciones que se abastecen de ella.

Los ríos se contaminan por una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos procedentes de fuentes puntuales urbanas, industriales y áreas de ganadería; nutrientes de origen difuso, en áreas agrícolas y urbanas; contaminantes derivados de problemas de eutrofización; acidificación; filtraciones de vertederos de escombros (basureros); filtraciones de embalses (Fernández Cirelli, 2012) así mismo, la contaminación aumenta debido a la concentración de agroquímicos, aguas negras y otros vertidos dentro de los caudales (Calvo, Jiménez, González, Pizarro, & Jiménez, 2008).

Según lo antes expuesto es de suma importancia identificar las principales fuentes de contaminación de los ríos y quebradas en la cuenca alta del río Bermúdez, con el fin de propiciar espacios de encuentro y mesas de trabajo que permitan identificar estrategias de gestión participativa del agua.

La presente investigación, representa una caracterización y un diagnóstico que permitirá a COVIRENA contar con una línea base y representará el primer proyecto de este tipo en el cual esta Comisión se involucrará.

Los resultados de este proyecto representan la línea base para el desarrollo de un futuro programa de monitoreo participativo de la calidad del agua y educación ambiental que desarrollará COVIRENA. El mismo consiste en establecer un programa local de la mano con vecinos de la zona, asociaciones de desarrollo, comisiones y estudiantes para realizar monitoreos participativos de la calidad del agua y a su vez llevar a cabo diferentes charlas y talleres de educación ambiental hacia la población de comunidades vecinas, de forma que dentro de la microcuenca se integren prácticas para el manejo y gestión adecuada de los recursos hídricos.

#### **1.4. Objetivo general**

Formulación de acciones para la gestión integrada del recurso hídrico en la cuenca alta del río Bermúdez, mediante el análisis de la calidad del agua y los índices asociados.

#### **1.5. Objetivos específicos**

- Caracterizar los principales usuarios del agua, mediante el levantamiento del uso de la tierra, con el fin de analizar la relación entre la calidad del agua y fuentes de contaminación.
- Clasificar la microcuenca según el índice holandés mediante el muestreo de parámetros fisicoquímicos de agua superficial en diferentes puntos de monitoreo.
- Implementar el índice BMWP-CR mediante la colecta de macroinvertebrados en diferentes puntos de muestreo en la microcuenca.
- Formular acciones para la gestión integrada del recurso hídrico con base a los resultados obtenidos del monitoreo fisicoquímico y biológico de la calidad del agua.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Cuenca hidrográfica**

Las cuencas hidrográficas y principalmente los cuerpos de agua están sometidos a fuertes modificaciones como resultado de los cambios en el uso y cobertura de la tierra. Antes de la interferencia humana y el desarrollo de actividades antrópicas, los ecosistemas naturales en estos sistemas hidrográficos estaban generalmente en una condición que se aproxima a un estado de equilibrio. A partir de esta preocupación relacionada con la protección del medio ambiente, la cuenca hidrográfica se constituye, entonces, en la unidad básica para la ejecución de acciones, orientadas al manejo y conservación de los recursos naturales. (Moreira, Mirandola, Luiz, Salinas, & de Oliveira, 2020).

Las cuencas hidrográficas son un área naturalmente definida donde existe un elemento integrador y fundamental entre los ecosistemas y las poblaciones, ese elemento es el agua. Dentro de estas cuencas existen diversas relaciones entre ecosistemas naturales y otras menos deseadas entre poblaciones humanas. Esto la convierte en un sistema con condiciones muy específicas y propias, como son: independencia relativa, límites naturales bien definidos y una dinámica funcional determinada por el intercambio de energía y materia (Moreira, Mirandola, Luiz, Salinas, & de Oliveira, 2020).

Monselve define la cuenca como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua tal, que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple (Monselve, 2014).

Para efectos de esta investigación, el concepto de cuenca que se utilizará, será el que define el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), quien indica que la cuenca es un territorio geográficamente bien definido, cuyas aguas van todas hacia un mismo lago, río o mar. En su interior existe un sistema compuesto por tres componentes: el biofísico formado por el agua, el suelo y el aire; el biológico formado por toda la vegetación (flora) y los animales (fauna), y la población humana con sus actividades económicas, su cultura y sus organizaciones, donde además debe haber un equilibrio entre los tres componentes; si uno de ellos es afectado, se produce un desbalance que pone en peligro a todo el sistema (Orozco, Jiménez, Faustino, & Prins, 2008).

### **2.2 Calidad de agua**

Hace referencia a las características físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico, dependiendo generalmente del uso al que se destina. Se basa en la utilización conjunta de parámetros de tipo físico-químicos y biológicos, con base en los cuales se evalúan los diferentes fenómenos o alteraciones que puede presentar un cuerpo de agua, de origen natural como las condiciones climáticas, geológicas y geoquímicas predominantes en la cuenca o factores antrópicos como los asentamientos poblaciones y las actividades industriales, agrícolas y pecuarias (Mesa, 2014).

El crecimiento de la población ha generado un paisaje mayormente urbanizado en el interior de las cuencas hidrográficas lo que ha significado reemplazar usos agrícolas y cubiertas de vegetación de los suelos, por superficies impermeables, tales como parqueos, vías en concreto o pavimento, las cuales han modificado las tasas de impermeabilización, aumentando la escorrentía superficial y subterránea (Vidal & Romero , 2010).

Los cuerpos de agua, lagos, ríos y océanos sufren de diferentes tipos de contaminación, causados, en su mayoría, por las actividades del ser humano. Los ríos se contaminan por amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos procedentes de fuentes puntuales urbanas, industriales y áreas de ganadería; nutrientes de origen difuso, en áreas agrícolas y urbanas; contaminantes derivados de problemas de eutrofización; acidificación; filtraciones de vertederos de escombros (basureros); filtraciones de embalses (Gernández Cirelli, 2012).

El crecimiento urbano ha provocado una fuerte presión sobre los recursos hídricos en Costa Rica. Los residuos sólidos y las aguas residuales son las principales fuentes de contaminación que desencadena serios problemas ambientales (Global Water Partnership, 2016).

En los ríos, las causas más importantes del deterioro de la calidad del agua son generalmente la sedimentación, la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo), las bacterias coliformes fecales y los bajos niveles de oxígeno disuelto causados por el alto contenido orgánico (por ejemplo, aguas residuales, recortes de pasto, pasto y escurrimiento de forraje). La escorrentía agrícola, que incluye pesticidas, fertilizantes y sedimentos, es la principal fuente de contaminación de los ríos, seguida de la descarga de aguas residuales municipales (Bortman & Odle, 2013), citado en (Soto, 2019).

### **2.3 Índice Holandés**

El índice se calcula evaluando tres importantes variables de la contaminación del agua: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y el Oxígeno Disuelto (OD) convertido en Porcentaje de Saturación de Oxígeno (PSO), cada valor de las variables es trasladado a un código de colores asignado por clases. La clasificación de la calidad del agua se obtiene sumando los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo al cuadro 1.

Luego la suma obtenida de puntos de cada indicador se traduce nuevamente a un código de colores, para clasificar la calidad del agua de la quebrada de acuerdo con el grado de contaminación (cuadro 2). Los niveles de contaminación y su respectiva coloración, corresponden a las distintas clases de calidad del agua, de acuerdo a la normativa nacional (Calvo Brenes & Araya Ulloa, 2018).

Finalmente, según la clase obtenida, se identifican los usos a los cuales se puede someter el cuerpo de agua, dentro de los cuales es posible mencionar abastecimiento humano para uso y consumo humano, abastecimiento de agua para actividades industriales, abastecimiento de agua para actividades pecuarias, generación hidroeléctrica, entre otros (La Gaceta, 2007).

A continuación, en el cuadro 1 se presentan los parámetros físico-químicos asociados a la calidad de agua y su descripción:



**Cuadro 1. Parámetros de calidad de aguas superficiales**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Importancia o impacto en cuerpos hídricos</b>
% saturación de oxígeno (PSO)	Es el porcentaje máximo de oxígeno que puede disolverse en el agua a una presión y temperatura determinadas.	La contaminación orgánica de las aguas se manifiesta como disminución en la concentración de Oxígeno Disuelto. Las aguas residuales vertidas, consumen el oxígeno en su degradación que al llegar a altos contenidos vuelven el ambiente anóxico, generando la proliferación de bacterias anaeróbicas, turbidez y malos olores, impidiendo el desarrollo de la vida de las especies superiores.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Es sinónimo de materia orgánica biodegradable. Este parámetro es utilizado en la determinación de tratamientos eficaces en aguas residuales.	Es muy utilizado para detectar la reducción de oxígeno disuelto producto de aguas residuales de actividad antropogénicas y de minerales como nitratos, sulfuros y cloruros en los cuerpos de agua.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Se encarga de medir las cargas de contaminantes en términos de oxidación química utilizando agentes oxidantes. No específicamente mide el contenido orgánico e inorgánico en la muestra, sino la cuantía de oxígeno emplazado para la oxidación.	Los niveles de DQO siempre serán mayores a los de DBO y su diferencia aumenta con la presencia de sustancias tóxicas que hacen la muestra resistente a los procesos degradativos.
Coliformes fecales	Son bacilos Gram-negativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos no esporulados que, capaces de ser filtrados por una membrana, producen colonias dentro de un periodo de 22 a 26 horas cuando se incuban en un medio de cultivo específico para coliformes fecales a $44.5 \pm 0.2$ °C dentro de $24 \pm 2$ horas.	Indican la presencia de excremento de animales en los cuerpos de agua, producto de desechos directos de mamíferos y aves. Las bacterias coliformes, son causantes de enfermedades.
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) un colorante catiónico, transfieren el azul de metileno desde una solución acuosa a un líquido inmisible en equilibrio. Esto ocurre durante la formación de un par iónico entre el anión (SAAM) y el catión azul de metileno. La intensidad del color resultante es una medida de las sustancias activas al azul de metileno.	Permite conocer la cantidad de jabones y detergentes presentes en el agua, esto por medio de una reacción fotométrica, que ocurre en un colorante catiónico llamado azul de metileno al mezclarse con los aniones orgánicos, que comúnmente contienen los jabones y detergentes.
Oxígeno disuelto (OD)	Cantidad de moléculas de oxígeno que se encuentran disueltas en el agua.	Las variaciones en este parámetro, pueden influir en la abundancia y los tipos de especies que viven en estos. Las bacterias y otros organismos descomponen los compuestos orgánicos biodegradables, lo que consume OD, del cual dependen muchas especies deseables de peces, otros organismos acuáticos, y la vida silvestre.
Nitrógeno amoniacal	Es uno de los componentes transitorios en el agua, al ser parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Se puede presentar en condiciones normales al proveniente de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza.	Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal, provocan la disminución del nivel de oxígeno disuelto, el cual es consumido en los procesos de degradación bacteriana de nitrógeno amoniacal. Provocando un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan

Parámetro	Definición	Importancia o impacto en cuerpos hídricos
		como resultado la disminución de la calidad del agua, muerte de especies que habitan en el sitio, entre otras consecuencias.
Grasas y Aceites (GyA)	Se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas con características especiales que se refieren a su baja solubilidad en agua y su tendencia a formar películas muy finas en la superficie del agua. Se consideran compuestos como hidrocarburos, esteres, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular y cualquier otro material que sea extraído por el solvente de una muestra acidificada y que no se volatilice durante las manipulaciones de la determinación.	Las grasas llegan al agua por actividades antrópicas, su presencia y medición están relacionadas con el manejo de aguas residuales. La presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua, además, de que se adhieren a las branquias de los peces. En procesos aeróbicos, las GyA reducen la eficiencia de la transferencia de oxígeno y causan flotación de espuma en la superficie del agua, esto puede afectar las pérdidas de biomasa en el efluente, disminuye la eficiencia en los tratamientos. A temperaturas bajas las grasas pueden solidificarse y crear problemas en los sistemas como obstrucción y producción de olores.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Se definen como todos los sólidos suspendidos en agua que no pasarán por un filtro de fibra de vidrio de 2,0µm, el filtro se seca en un horno entre 103 y 105 °C, y es pesado. El aumento en peso del filtro representa la cantidad de SST.	Niveles excedentes de SST puede provenir de cualquiera de los puntos (aguas residuales municipales) o fuentes no puntuales (agricultura y construcción), sus niveles crecientes dan como resultado un cuerpo de agua incapaz de soportar una diversidad de vida acuática. Estos absorben el calor y pueden aumentar la temperatura de un cuerpo de agua, pueden disminuir la cantidad de oxígeno disuelto, debido al consumo de materia orgánica al respirar las bacterias y un posible efecto indirecto al unirse los contaminantes al sedimento suspendido.
Turbiedad	La turbiedad es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.	La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el 80 coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En los ríos, es debido a dispersiones normales de partículas.

Fuente: (Hughes, 2020), (Soto, 2019), (Solano, 2011) y (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

## **2.4 Índice BMWP-CR**

El Biological Monitoring Working Party (BMWP-CR, por sus siglas en inglés), fue establecido en Inglaterra en el año 1970 como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. Este índice ha sido ampliamente utilizado en Europa y ha sido adaptado para diferentes países centroamericanos. El método requiere alcanzar el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia), por lo que no es necesario cuantificar la abundancia de los grupos. (Avilés, 2017).

Dicho Índice fue oficializado en Costa Rica como metodología para analizar la calidad del agua mediante el Decreto N° 33903-MINAE-S (La Gaceta, 2007).

Debido a la problemática en torno a la cantidad y la calidad del recurso hídrico, el empleo de macroinvertebrados es un método efectivo y económico para medir los impactos causados por la contaminación doméstica e industrial en los ríos y las quebradas de una cuenca o microcuenca. Un monitoreo biológico consiste en obtener muestras de las plantas y animales que viven en el río y en los alrededores, para de esta forma conocer el estado real de contaminación de un río determinado (Abarca, 2007).

Estos macroinvertebrados son usados como bioindicadores de la calidad de agua en el curso fluvial ya que la presencia de algunas familias y géneros es indicadora de aguas claras y limpias, mientras que otras soportan aguas muy contaminadas.

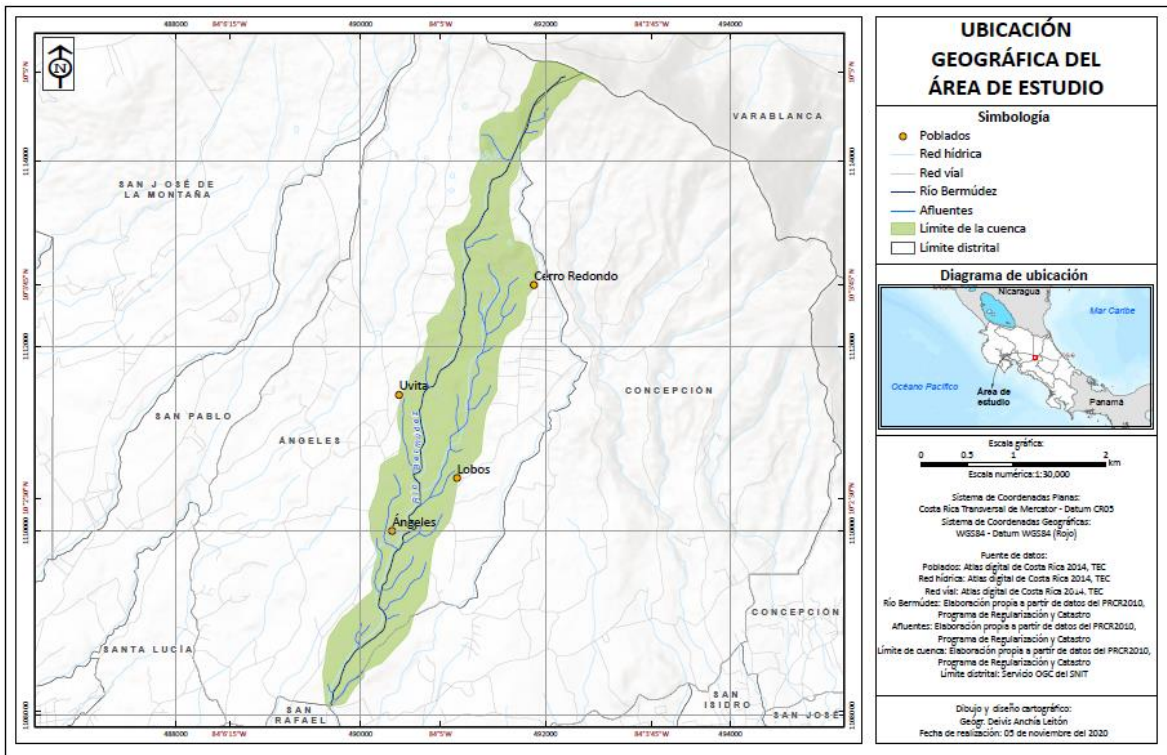
## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Ubicación del área de estudio**

La ubicación político-administrativa de la cuenca, corresponde al distrito de Ángeles y este a su vez limita al oeste con el distrito de Concepción, al sur con el distrito de San Rafael, al este con el distrito de San Pablo y al norte limita con Vara Blanca todos ellos pertenecientes a la provincia de Heredia. Dentro de los principales poblados en la cuenca se encuentran Cerro Redondo, Uvita, Lobos y Ángeles.

El río Bermúdez mide aproximadamente 26 kilómetros desde su nacimiento en el Monte de la Cruz, al norte de la ciudad de Heredia, hasta su desembocadura en el río Virilla, en San Rafael de Alajuela. Sirve de drenaje a una subcuenca de 74 km<sup>2</sup>, que tiene una topografía muy irregular, especialmente en sus partes media y superior (Gaetan, Marine, Raynolds, & Torres, 2006).

El área de estudio se ubica específicamente en la cuenca alta del río Bermúdez, es decir, desde su nacimiento y la porción de la cuenca que se ubica dentro del distrito Ángeles del cantón de San Rafael de la provincia de Heredia (ver figura 1).

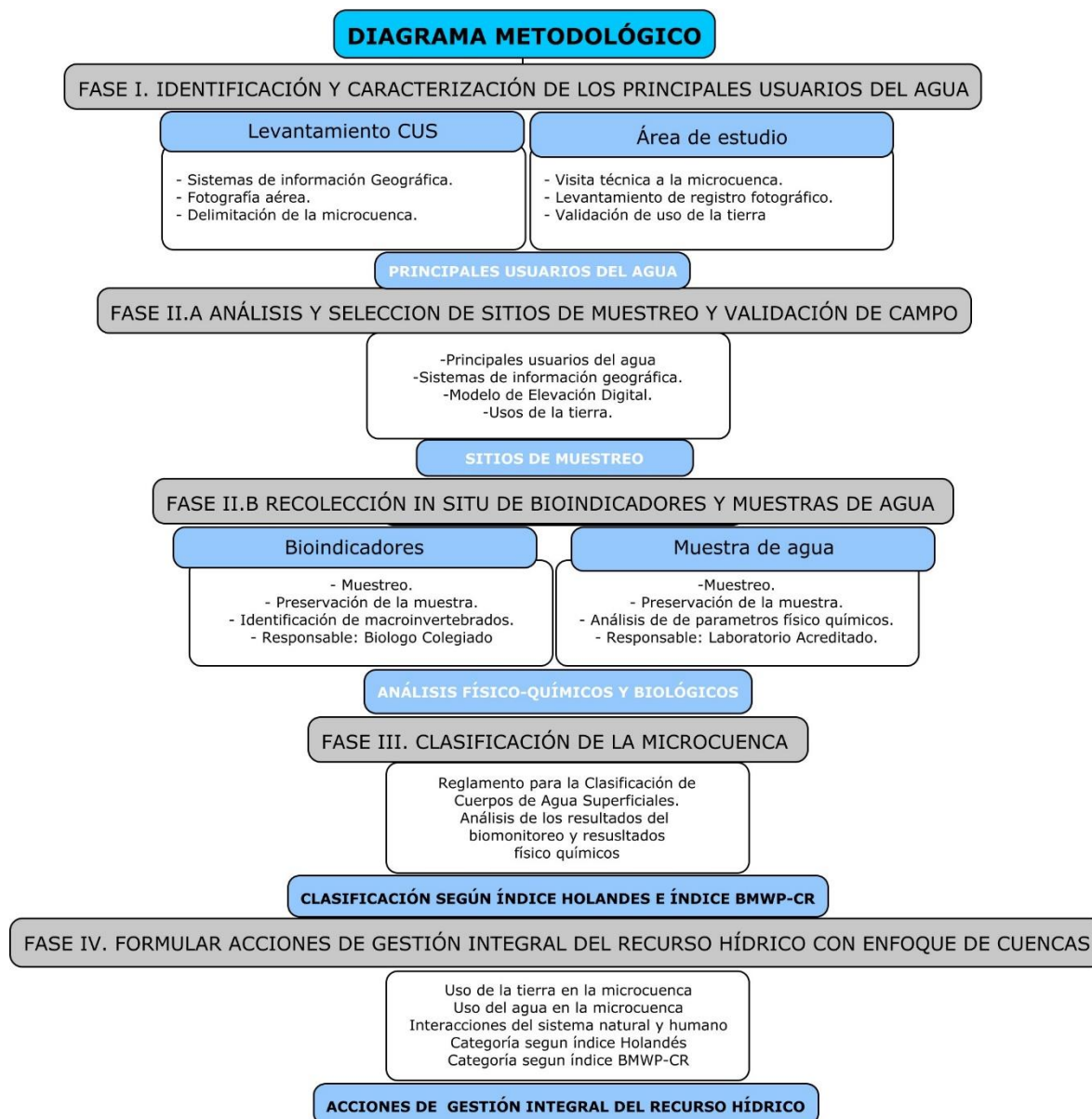


**Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2 Fases del proyecto

A continuación, se describen las fases necesarias para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación. Primeramente, se exponen cada una de las etapas que componen la investigación, las cuales se resumen mediante un diagrama metodológico en la figura 2. Posteriormente, se procede a describir de forma detallada y con base a dicho diagrama el proceso que se llevó a cabo para cumplir con cada una de dichas etapas.



**Figura 2. Diagrama metodológico**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.2.1 Fase I. Identificación y caracterización de los principales usuarios del agua**

Los principales usuarios del agua, para efectos de la presente investigación fueron los principales sectores que requieren de recurso, es decir las diferentes CUS. Para el levantamiento de CUS, mediante los Sistemas de Información Geográfica se elaboró un archivo en formato shapefile de CUS a partir de una imagen satelital tomada el 18 de enero del año 2019 correspondiente a la época seca por el satélite SPOT 7, esta posee una resolución espacial de 1,5 x 1,5 metros.

Posteriormente se procedió mediante el SIG a realizar el levantamiento de CUS según la clasificación del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2015).

Esta fase permitió identificar los principales usos del suelo en la microcuenca y así conocer los principales usuarios del agua y a su vez arrojó información base para la selección y análisis de los sitios de muestreo y los parámetros complementarios para determinar la calidad del agua.

Cabe destacar que, además se complementó esta fase utilizando información disponible en la página web de la Municipalidad de San Rafael, donde se encuentra un visor cartográfico con información relacionada con el uso del suelo.

Se realizaron en total tres giras a la zona de estudio, durante las cuales el señor Melvin Leitón de la comunidad de Los Ángeles brindó su compañía y colaboró siendo un enlace con otras personas habitantes de la microcuenca con el fin de validar.

### **3.2.2 Fase II.A Análisis y selección de puntos de muestreo y validación de campo**

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica se procedió a crear y realizar un análisis de datos espaciales. Inicialmente se generó un Modelo de Elevación Digital (MED) utilizando las curvas de nivel cada 10 metros del Instituto Geográfico Nacional, seguidamente se incorporó la CUS generada en la etapa anterior y finalmente se incorporó la capa de ríos, estos tres datos en formato Shapefile.

Las tres variables anteriormente indicadas permitieron analizar cuáles eran los sitios idóneos y la cantidad necesaria para analizar la calidad del agua según los principales usuarios identificados. Es importante mencionar que los puntos de vertimiento de residuos sólidos y líquidos serán considerados para la definición de los sitios de muestreo.

La visita de campo, permitió conocer de forma general la topografía de los sitios y prever el acceso a los mismos durante la fase de muestreos. Cabe destacar que posterior a contar con la cantidad y ubicación de los sitios de muestreo, se realizó una visita de campo para validar que sean sitios accesibles.

Los criterios para la selección de los puntos de muestreo fueron principalmente:

- Obtener representación de los usos del suelo presentes.
- Contar con una distancia de 1.5 kilómetros entre los diferentes puntos.
- Que el sitio fuera accesible.
- Que existiera presencia de rápidos o sitios de mayor agitación del agua.
- Sitios posteriores a caídas o cambios bruscos de altitudes en el cauce del río.

### **3.2.3 Fase II.B Recolección en campo de bioindicadores y muestras de agua**

#### **3.2.3.1 Bioindicadores**

A través del análisis de macroinvertebrados, en la investigación se analizó la calidad del agua mediante los bioindicadores. La metodología que se utilizó contempló la estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, permitiendo evaluar la calidad de las aguas en la microcuenca, empleando el índice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party-Costa Rica). (La Gaceta, 2007).

#### **➤ Responsabilidad**

La responsabilidad del muestreo y posterior identificación de especies fue de un profesional en biología, debidamente inscrito en el Colegio de Biólogos de Costa Rica y con experiencia en clasificación de macroinvertebrados. Lo anterior debido a que la presente investigación aparte de ser un requisito académico será un insumo que se compartirá con entidades competentes de la zona e interesadas en el mismo. Esto con el fin de colaborar en el manejo y gestión de los recursos naturales del distrito de Los Ángeles

#### **➤ Recolecta**

Los puntos de muestreo se localizan en ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros. Por lo tanto, se utilizó una red de mano con malla de 500  $\mu\text{m}$ . y apertura de 20 a 25 cm y se obtuvo una muestra compuesta de tres submuestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos, según lo estipulado en el Decreto N° 33903-MINAE-S. El muestreo se realizó con el desplazamiento por los microhábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.

#### **➤ Preservación de la muestra**

Para la preservación de la muestra hasta el sitio donde se procedió con la identificación de los macroinvertebrados, se utilizó etanol de 96°; preservación de los organismos: en etanol de 70°.

#### **➤ Identificación de macroinvertebrados**

La identificación de las especies fue realizada por un profesional en biología. Dicho profesional transportó la muestra hasta un sitio donde cuente con las condiciones necesarias para proceder con la identificación.

Todos los organismos bentónicos recolectados se identificaron hasta el máximo nivel taxonómico posible. Debido a que el mínimo nivel que se aceptará es el de familia, tal y como indica el Decreto No. 33903-MINAE-S. Sin embargo, para los efectos del presente proyecto, la clasificación se realizó a nivel de género.

Para el análisis de las muestras de organismos macro invertebrados bentónicos se siguió la metodología establecida en la última edición de los “Rapid Assessment Biological Protocols” de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.

### **3.2.3.2 Muestras de agua**

Para analizar la calidad de agua en la microcuenca, se utilizó el Sistema Holandés de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales. Dicho sistema está oficializado en Costa Rica mediante el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales No. 33903-MINAE-S.

#### **➤ Parámetros**

Para cumplir con el sistema holandés de clasificación se procedió a analizar los siguientes parámetros ordinarios para los diferentes puntos de muestreo: Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto será determinado mediante una sonda con equipo in situ, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Nitrógeno amoniacal fueron determinados mediante procedimientos de laboratorio.

Cabe destacar que con base en los resultados de la fase uno, se seleccionaron DQO, pH, Temperatura, y coliformes fecales como parámetros complementarios que permitan analizar la calidad del agua.

#### **➤ Responsabilidad**

Las muestras de agua fueron tomadas en cada punto de muestreo por personal de un laboratorio debidamente acreditado por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Mismo que debido a su acreditación deba utilizar la metodología de Standard Método for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1,998-. APHA-AWWWA-WEF, de los Estados Unidos de América.

#### **➤ Muestreo**

El muestreo fue realizado por un profesional del laboratorio, quien estrictamente aportó los recipientes esterilizados y los equipos necesarios y calibrados para proceder con la recolección de la muestra y medición de los parámetros de campo.

De las tres muestras recolectadas, la primera se obtuvo en la cuenca alta, la segunda en la media y la tercera en el punto de desfogue. Cabe destacar que el muestreo se realizó puntual y en un solo día de muestreo, en el cual la condición climática era soleada por lo que no hubo afectación por dilución.



➤ **Preservación de la muestra**

La muestra fue preservada según los procedimientos establecidos por el laboratorio. Sin embargo, el encargado del muestreo aportó hieleras y el hielo necesario para que una vez recolectada la muestra esta ingrese a un ambiente de temperatura controlada aproximada a los 6 grados centígrados. Esto con el fin de neutralizar los microorganismos que se puedan encontrar y la muestra sufra cambios entre el tiempo de la recolección y el tiempo que es procesada en el laboratorio.

➤ **Análisis de laboratorio**

El laboratorio está acreditado por el Ente Costarricense de Acreditación. Por lo que, para el análisis y procesamiento de las muestras, el laboratorio se guio por la metodología de Standard Métoed for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1,998-. APHA-AWWWA-WEF, de los Estados Unidos de América.

**3.1.1 Fase III. Clasificación de la microcuenca mediante el índice holandés e índice BMWP-CR**

Durante esta fase se procedió a analizar los resultados del monitoreo bentónico y muestreo de agua con el fin de proceder a calcular el índice holandés y el índice BMWP-CR y de esta forma clasificar la microcuenca alta del río Bermúdez.

Posteriormente, con base en los resultados de la clasificación y contemplando información recolectada durante las visitas de campo, se procedió a formular estrategias de gestión integral del recurso hídrico desde una perspectiva de cuenca hidrográfica. Cabe destacar que la formulación de estas acciones se realizó en conjunto con COVIRENA, contemplando el alcance y los recursos disponibles de este Comité.

**3.1.1.1 Aforos**

En cada uno de los 5 sitios de muestreo se procedió a aforar con el fin de conocer el caudal del cause durante el tiempo del muestreo, para ello se utilizó el método Sección-Velocidad. Consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal de una 9 corriente. Así mismo, en determinar la sección a través de la medición de profundidades en la sección transversal del río, para después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad.

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Caudal del agua, en m<sup>3</sup> /s

A = Área de la sección transversal, en m<sup>2</sup>

V = Velocidad media del agua, en m/s

### 3.1.1.2 Índice Holandés

El desarrollo de la presente investigación permitió clasificar la microcuenca según el Índice Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para Cuerpos Receptores.

El Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua permite trasladar información de concentraciones de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno disuelto convertido en Porcentaje de saturación de Oxígeno por medio del Oxígeno Real In Situ y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio, a un código de colores asignado a cada clase (La Gaceta, 2007).

Para lograr clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo con el cuadro 2.

**Cuadro 2. Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico Química del agua para cuerpos receptores.**

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

\* Nitrógeno amoniacal

Fuente: (La Gaceta, 2007).

**PSO:** Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, O.D. Se obtiene de la relación entre el O.D. real obtenido en el sitio de medición y el O.D. teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición.

**DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, obtenida en condiciones estándar de 20°C e incubación durante 5 días.

La suma obtenida de puntos se trasladó seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de contaminación propio según el cuadro 3. Finalmente, para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado.

**Cuadro 3. Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.**

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

Fuente: (La Gaceta, 2007).

### 3.1.1.1 Índice BMWP-CR

El BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados y que se citan en el listado del cuadro 3. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación.

#### Cuadro 4. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.

9	O Polythoridae D Blephariceridae; Athericidae E Heptageniidae P Perlidae T Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E Leptophlebiidae O Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae B Blaberidae
7	C Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae; Platystictidae T Philopotamidae Cr Talitridae; Gammaridae
6	O Libellulidae M Corydalidae T Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
5	E Euthyplociidae; Isonychidae L Pyralidae T Hydropsychidae; Helicopsychidae C Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarciidae; Baetidae Cr Crustacea

	Tr Turbellaria
4	C Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; D Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; H Muscidae; O Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae E Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Hi Notonectidae Calopterygidae; Coenagrionidae Caenidae Hidracarina
3	C Hydrophilidae D Psychodidae M Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; O Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae A Hirudinea: Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr Asellidae
2	D Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D Syrphidae A Oligochatea (todas las clases)

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco.

Fuente: (La Gaceta, 2007)

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica no suele superar 200. En función de este puntaje, en el cuadro 4 se establecen 6 niveles de Calidad para el Agua (los dos primeros pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

#### Cuadro 5. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total

NIVEL DE CALIDAD	BMW P'	Color representativo
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101- 120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

Fuente: (La Gaceta, 2007)

### **3.1.1 Fase IV. Formular acciones de Gestión Integral del Recurso Hídrico con Enfoque de Cuencas**

Con el fin de alcanzar satisfactoriamente el objetivo específico número cuatro de la presente investigación, fue necesario considerar los resultados de los objetivos anteriores. En este sentido fueron analizados los siguientes resultados:

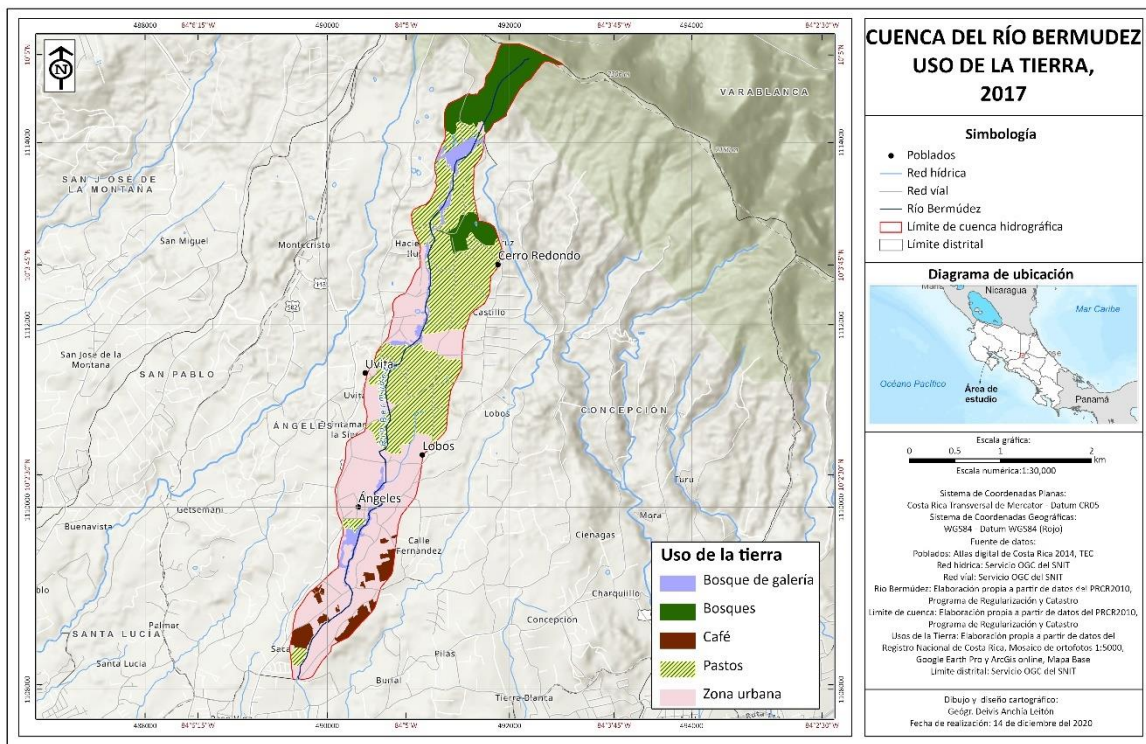
- Usos del suelo
- Usos del agua
- Interacción entre el sistema natural y humano
- Categoría resultante del índice holandés
- Categoría resultante según el índice BMWP-CR

Los resultados permitieron conocer la situación actual en cuanto a la calidad del agua en la parte alta del río Bermúdez y así, formular acciones atinentes dirigidas a contribuir con el mejoramiento de los recursos natural.

## 4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Principales usuarios del agua en la microcuenca

La extensión territorial de la microcuenca alta del río Bermúdez es de aproximadamente 5.54 km<sup>2</sup>. Para los efectos representa el área de estudio de la presente investigación, específicamente la porción que se encuentra dentro del distrito Los Ángeles. En la figura N° 3, se muestra la distribución de los usos del suelo presentes en la microcuenca.

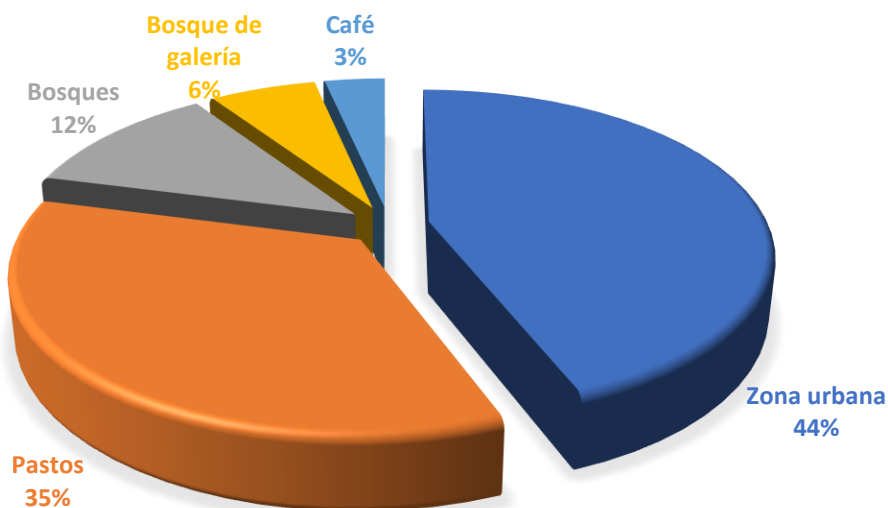


**Figura 3. Distribución de los usos del suelo, microcuenca alta del río Bermúdez, 2017.**

Según se mencionó en el apartado de metodología, el uso de la tierra se trabajó con base en la Metodología establecida por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Sin embargo, cabe mencionar que, dentro del área de estudio los diferentes usos relacionados con bosque se unificaron en la categoría Bosques, así mismo, áreas verdes urbanas y áreas urbanas discontinuas se unificaron en la categoría Zona Urbana, según muestra la figura N° 3.

A continuación, el gráfico N°1 muestra el porcentaje de cobertura de cada una de las categorías presentadas en la figura N°3.

**Gráfico 1. Porcentaje de cobertura según uso de la tierra en la microcuenca, 2017**



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico N°1, los tres principales usos de la tierra presentes en la microcuenca alta del río Bermúdez son Urbano, pastos y bosque con 44%, 35% y 12% del área total respectivamente. En cuanto al área urbana corresponde a zonas urbanas discontinuas, es decir, no se encuentran núcleos urbanos consolidados, pero si construcciones dispersas.

Este distrito aún conserva un paisaje rural, principalmente en la parte norte, el cual está representado por grandes fincas ganaderas principalmente dedicadas a la producción de leche. En cuanto a los bosques, es posible encontrar bosques de ribera, bosques secundarios y en el límite norte del distrito junto a Vara Blanca se encuentra un parche de bosque que actualmente es uno de los principales sitios de infiltración de agua proveniente de las precipitaciones anuales.

Cabe destacar que aproximadamente un 3% del territorio de la microcuenca se encuentra destinado al cultivo de café. Se debe indicar que el presente estudio no contempló el análisis de plaguicidas en los diferentes puntos muestreados, por lo que se desconoce si existe algún impacto proveniente de dicho cultivo.

Según lo anteriormente expuesto, los principales usuarios del agua en la microcuenca son las actividades antrópicas, las cuales se pueden dividir entre la producción de leche en grandes fincas y actividades propias del urbanismo como son vivienda, comercio e industria.

#### **4.2 Sitios de muestreo**

Se identificaron cinco sitios de muestreo que cumplieron con los criterios de selección mencionados en los apartados anteriores. Inicialmente se procedió a calcular la longitud total del cauce principal y posteriormente se colocó un punto cada 1,5 kilómetros aproximadamente mediante el uso de SIG. Es decir, el cauce principal posee una longitud aproximada de 7,5 kilómetros, por lo que la cantidad de puntos resultantes fueron cinco.

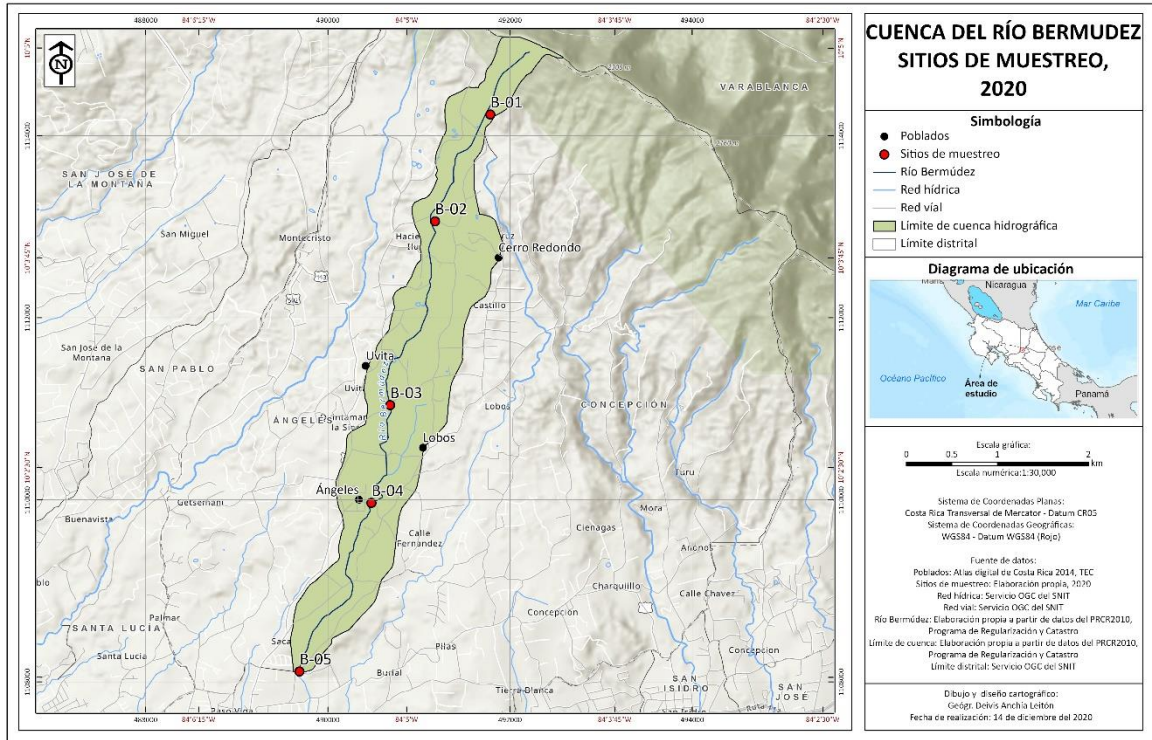
Seguidamente se procedió a analizar si la ubicación cada 1.5 kilómetros de los puntos coincidía con sitios donde se podría analizar los impactos que diferentes actividades locales podría ocasionar. Así mismo, se validó que dichos puntos se ubicaran aguas debajo de donde se encontraban usuarios importantes y con potencial contaminación como la actividad ganadera y uso urbano del suelo.

Lo anterior hizo que la ubicación inicial de algunos puntos de muestreo variara en un rango entre 100 y 200 metros debido a que se incorporaron las variables mencionadas para determinar la ubicación final de los puntos.

Para conocer el acceso a los puntos se realizó un análisis mediante SIG, elaborando un Modelo de Elevación Digital para determinar si los sitios previamente establecidos poseían fácil acceso, lo cual fue positivo debido a que se encontraban con fácil acceso y fuera de propiedades privadas. Posteriormente se realizó una gira de campo para validar la información y efectivamente los puntos pudieron ser visitados fácilmente. En la figura N° 4 se muestra la distribución de los puntos de muestreo.

En la figura N° 4 se muestran en rojo los puntos donde se llevó a cabo el muestreo, los mismos se identifican con la letra “B” que significa Bermúdez y luego su respectivo consecutivo. En el cuadro N° 6 se muestra la información de cada uno de los puntos de muestreo.





**Figura 4. Distribución de los puntos de muestreo en la microcuenca.**

**Cuadro 6. Caracterización según punto de muestreo**

ID	MUESTREO	USOS	ZONAS	DESCRIPCIÓN
<b>B-01</b>	Macroinvertebrados y Fisicoquímico	Bosque denso	Bosque pluvial Montano Bajo	Bosque sin intervenir, donde no se encuentran actividades antrópicas y ubicado en zona inalienable establecida por la Municipalidad de San Rafael
<b>B-02</b>	Macroinvertebrados	Pastos	Bosque muy húmedo montano bajo	Grandes haciendas y fincas que se dedican a la ganadería de leche
<b>B-03</b>	Macroinvertebrados y Fisicoquímico	Zona urbana y pastos	Bosque muy húmedo montano bajo	Zonas urbanas discontinuas con construcciones dispersas y paisaje rural.
<b>B-04</b>	Macroinvertebrados	Zona urbana	Bosque muy húmedo premontano	Zonas urbanas discontinuas con construcciones dispersas, pero con mayor densidad
<b>B-05</b>	Macroinvertebrados y Fisicoquímico	Zona urbana, pastos y café	Bosque muy húmedo premontano	Zona urbana ligeramente densa sin alcanzar el paisaje de ciudad, pero si con mayor número de infraestructura urbana.

**Fuente: Elaboración propia**

### **4.3 Recolección de bioindicadores y muestras de agua**

Según el Instituto Meteorológico Nacional “el régimen pacífico se caracteriza por poseer una época seca y una lluviosa bien definidas. La seca se extiende de diciembre hasta marzo. Abril es un mes de transición...La época lluviosa va de mayo hasta octubre, siendo noviembre un mes de transición” (Instituto Meteorológico Nacional, 2020). Según lo anterior, los muestreos se realizaron durante el inicio de la época seca, específicamente el día 02 de diciembre del año 2020. En las figuras N°5 y N°6 se presentan el muestreo de macroinvertebrados y muestreo del agua respectivamente.

Es importante mencionar que el presente proyecto contemplo un único muestreo, lo anterior se debe meramente a la disponibilidad de recursos para ejecutar más muestreos durante las otras épocas del año.

**Figura 5. Muestreo de macroinvertebrados**



**Figura 6. Muestreo de agua**



#### 4.4 Clasificación de la microcuenca

A continuación, se procede a exponer los resultados obtenidos en cuanto al caudal existente a la hora de los muestreos en cada uno de los sitios, así como también, los resultados de los análisis fisicoquímicos y biológicos que permitieron clasificar la microcuenca con los índices correspondientes.

##### 4.4.1 Caudales calculados según sitio de muestreo

Para calcular los caudales en cada sitio de muestreo se utilizó el método de sección-velocidad. En los cuadros N°7, N°8, N°9, N°10 y N°11 se presentan los caudales obtenidos.

**Cuadro 7. Caudales según sitio de muestreo sitio 1.**

Sección	Distancia desde la Orilla	SITIO BO1		Diferencia m	Área m <sup>2</sup>	Caudal m <sup>3</sup>	
		Profundidad m	Velocidad m/s				
1	0,37	0,12	0,28	0,37	0,0444	0,012432	
2	0,66	0,07	0,07	0,29	0,0203	0,001421	
3	0,99	0,05	0	0,33	0,0165	0	
4	1,32	0,09	0,02	0,33	0,0297	0,000594	
5	1,65	0,06	0,02	0,33	0,0198	0,000396	
<b>Total</b>						<b>0,014843</b>	
							<b>14,843 L/s</b>

**Cuadro 8. Caudales según sitio de muestreo sitio 2.**

Sección	Distancia desde la Orilla	SITIO BO2			Área m2	Caudal m3
		Profundidad m	Velocidad m/s	Diferencia m		
1	0,46	0,08	0,14	0,46	0,0368	0,005152
2	0,925	0,12	0,13	0,465	0,0558	0,007254
3	1,385	0,13	0,15	0,46	0,0598	0,00897
4	1,85	0,14	0,15	0,465	0,0651	0,009765
					Total	0,031141
						31,141 L/s

**Cuadro 9. Caudales según sitio de muestreo sitio 3.**

Sección	Distancia desde la Orilla	SITIO BO3			Área m2	Caudal m3
		Profundidad m	Velocidad m/s	Diferencia m		
1	0,366	0,12	0,4	0,36	0,0432	0,01728
2	0,732	0,2	0,2	0,366	0,0732	0,01464
3	1,1	0,19	0,38	0,368	0,06992	0,0265696
					Total	0,0584896
						58,4896 L/s

**Cuadro 10. Caudales según sitio de muestreo sitio 4.**

Sección	Distancia desde la Orilla	SITIO BO4			Área m2	Caudal m3
		Profundidad m	Velocidad m/s	Diferencia m		
1	0,66	0,05	0	0,66	0,033	0
2	1,32	0,1	0,1	0,66	0,066	0,0066
3	1,92	0,11	0,16	0,6	0,066	0,01056
4	2,64	0,08	0,24	0,72	0,0576	
5	3,3	0,1	0,11	0,66	0,066	
					0	0,01716
						17,16 L/s

**Cuadro 11. Caudales según sitio de muestreo sitio 5.**

Sección	Distancia desde la Orilla	SITIO BO5		Diferencia	Área	Caudal
		Profundidad	Velocidad			
		m	m/s	m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
1	0,74	0,09	0	0,74	0,0666	0
2	1,48	0,23	0,11	0,74	0,1702	0,018722
3	2,22	0,28	0,1	0,74	0,2072	0,02072
4	2,96	0,27	0,19	0,74		
5	3,7	0,22	0,07	0,74		
					Total	0,039442
						39,442 L/s

#### 4.1.1 Clasificación según el Índice Holandés

A continuación, se presenta en el cuadro N°12 los resultados de los análisis fisicoquímicos en tres de los 5 puntos de muestreo, según se indicó anteriormente, estos análisis se realizaron únicamente en tres puntos debido al presupuesto con el que contaba el proyecto. Los puntos mencionados se ubican en la parte alta, media y baja de la microcuenca respectivamente.

Cabe destacar que como se indico anteriormente, debido a la disponibilidad de recursos económicos para el proyecto, de los 5 puntos seleccionados para analizar la calidad del agua, debieron seleccionarse únicamente 3 para el análisis fisicoquímico. Con el fin de obtener resultados representativos dentro de la microcuenca, se procedió a seleccionar un punto en la parte alta, uno en la media y finalmente uno en la parte baja de la microcuenca, siendo este ultimo el sitio de desfogue.

**Cuadro 12. Resultados de análisis fisicoquímicos**

Sitio	DBO mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	SAAM mg/l	GyA mg/l	Turb NTU	Amonio µg/l	% Satur	OD mg/l	CF NMP/100 ml
<b>B01</b>	4,5	d	nd	nd	nd	nd	107,2	95,9	7,560	14
<b>B03</b>	5,8	d	d	nd	nd	4,06	334,9	105	8,550	21
<b>B05</b>	6,4	d	6,19	nd	nd	9,68	307,4	105	8,570	17

**Notas:** d= detectable (valores entre límite de detección y límite de cuantificación)  
nd= no detectable (valores menores al límite de detección)

En el cuadro N°13 obtenido del Decreto N° 33903-MINAE-S se incorporan los parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el presente Reglamento.

### Cuadro 13. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de agua.

Parámetros Complementarios	Clase I
Turbiedad (UNT)	<25
Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	<20
Grasas y Aceites (mg/L)	nd
Sustancias activas al azul de metileno, SAAM (mg/L)	nd
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	<20
Sólidos Suspendidos Totales, SST (mg/L)	<10

Según el cuadro N°12 que correspondiente al resultado de los análisis fisicoquímicos y el cuadro N°13 sobre los parámetros complementarios, en los tres puntos de muestreo los resultados son altamente satisfactorios, debido a que la calidad del agua según los parámetros complementarios se ubica en la clase I del Índice Holandés. Sin embargo, lo anterior corresponde a los parámetros complementarios para la clasificación de cuerpos de agua superficial. Sin embargo, según los datos obtenidos de PSO, DBO y N-NH<sub>4</sub>, para la asignación de puntajes, los sitios muestreados en la microcuenca alta del río Bermúdez se clasifican según la tabla N°14.

### Cuadro 14. Asignación de puntajes por sitio de muestreo.

Sitio	Puntaje	Índice Holandés
B01	4	Contaminación incipiente
B03	5	Contaminación incipiente
B05	6	Contaminación incipiente

Según muestran los resultados de los análisis que se contemplan para calcular el índice holandés, en los tres sitios de muestreo la calidad del agua se clasifica como agua con contaminación incipiente. Nótese que en el sitio B01 se obtuvo un puntaje de 4 y fue aumentando conforme se analizaba río abajo, lo que es una situación normal debido a que conforme esto sucede, los sitios urbanos aparecen con mayor frecuencia, así como la actividad ganadera y se refleja directamente en la calidad del agua.

Cabe destacar que el sitio B01, ubicado en la parte más alta de la microcuenca, es clasificado como un sitio con contaminación incipiente debido a que la Demanda Bioquímica de Oxígeno se pasa por aproximadamente 1 mg/l con respecto al límite de la clase I que significa aguas sin contaminación. Como se observa en la Figura N°6, el entorno de este sitio estaba rodeado de bosque denso, por lo que podría indicarse con base en lo percibido durante el muestreo que el agua en dicho punto no posee elementos o actividad en su periferia que puedan ocasionar impactos negativos en la calidad del recurso. Sin embargo, La Demanda Bioquímica de Oxígeno es sinónimo de materia orgánica biodegradable, por lo que podría indicarse que al existir en este punto de muestreo un caudal de 14,8 L/s, es decir, bajo como

muestra la figura N°7, es posible que diferentes elementos biodegradables como raíces, ramas caídas de árboles u otros elementos naturales estén acumulados en dicho punto y por ende los resultados.

Es importante destacar que, pese a que los tres parámetros requeridos para clasificar la calidad del agua indicaron que en los sitios de muestreo se encontraba un agua con contaminación incipiente, los resultados de los parámetros complementarios ubican estos tres sitios, como sitios sin contaminación. Según lo anterior, podría indicarse que se requiere el monitoreo en las restantes épocas del año, ya que la calidad del agua y la concentración de sustancias contaminantes está ligada al caudal y por ende a los periodos climáticos.

En cuanto a los resultados sobre la concentración de Coliformes Fecales, cabe destacar que el sitio B01 y B05 presentan resultados que se encuentra permitidos dentro del reglamento, sin embargo, el sitio B03 presenta 21 NMP/100 ml, es decir, por encima del límite permitido. Lo anterior puede deberse a que el sitio B03 se encuentra justo en el límite inferior de la microcuenca entre el uso del suelo destinado a pastos y la zona urbana según la figura N°3 y N°4. Según lo anterior, debe considerarse que las grandes extensiones de terreno dedicadas a la actividad ganadera, son una fuente de contaminación principalmente relacionada con una concentración más elevada de coliformes fecales.

**Figura 7. Sitio de muestreo B01.**



#### **4.1.2 Clasificación según el Índice BMWP-CR**

Los diferentes sitios de muestreo presentan características particulares muy variadas entre ellos, los puntos de muestreo principalmente en la parte alta de la microcuenca poseen un déficit de macro y microhábitats lo que genera resultados de calidad de agua mala o contaminada pero no necesariamente por que la misma cuente con esta condición. En el cuadro N°15 se presenta la clasificación obtenida según el índice BMWP-CR en cada punto de muestreo.

**Cuadro 15. Clasificación según índice BMWP-CR**

<b>Sitio</b>	<b>Puntaje</b>	<b>BMWP-CR</b>
<b>B01</b>	56	Aguas de calidad biológica mala, contaminadas
<b>B02</b>	76	Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada
<b>B03</b>	58	Aguas de calidad biológica mala, contaminadas
<b>B04</b>	51	Aguas de calidad biológica mala, contaminadas
<b>B05</b>	58	Aguas de calidad biológica mala, contaminadas

Según muestra el cuadro anterior, ninguno de los cinco sitios muestreados del río Bermúdez, se clasificó como aguas de buena calidad biológica, sin contaminación. Por lo visualizado en campo, se esperaba que el sitio control o referencia (B01) obtuviera un puntaje mayor a los 100 puntos debido a que se encuentra en la cuenca alta y sin presencia de disturbios cercanos, que pudieran variar la calidad del agua de forma negativa. Sin embargo, el índice BMWP-CR puede verse afectado en su resultado dependiendo de la oferta de hábitat para los macroinvertebrados acuáticos y no solo por la condición fisicoquímica del agua (Quesada Alvarado, Umaña Villalobos, Springer, & Picado Barboza, 2010). En este contexto, en ríos



o quebradas con ausencia de hábitats tipo rápidos y turbulentos, suelen estar ausentes familias como Perlidae, Polythoridae, Blephariceridae, Corydalidae, Crambidae, entre otras, que son dependientes de este tipo de condiciones (Cover & Resh, 2021); (Tamovaya & Tedesco, 2007); (Ramirez, 2010). Así, en el sitio B01, al no haber rápidos turbulentos ni presencia de sustratos de gran tamaño, se esperaría la ausencia de estas familias, provocando que el índice no alcance puntajes altos.

Dentro de las potenciales razones para justificar el valor adquirido en el sitio B01, se encuentra que durante el muestreo el caudal fue bajo, lo cual no tiene relación con permisos de extracción de agua o extracciones ilegales, sino a condiciones naturales y la época en la cual se realizó el muestreo, ya que se constató durante las giras de campo que existe un parche boscoso significativo y que aguas arriba no se encontraron actividades antrópicas ni tomas de agua. Se entiende que el caudal es el principal elemento estructurador de hábitat físico en los ríos y que familias y géneros de macroinvertebrados acuáticos van a depender del mismo para su colonización y distribución a lo largo de los ríos (Bunn & Arthingtong, 2002); (Quesada Alvarado F. , Umaña Villalobos, Springer, & Picado Barboza, 2020).

Al disminuir el caudal, disminuyen los hábitats tipo rápidos y turbulentos (Allan & Castillo, 2021) y predominan las pozas y aguas lentas. Y es por esta razón que únicamente en este sitio se haya registrado a los géneros *Cordulegaster* (Odonata: Cordulegastridae) y *Phylliocus* (Trichoptera: Calamoceratidae) y la familia Sphaeridae, ya que por su anatomía y comportamiento pueden sobrevivir en aguas de baja corriente (Quesada Alvarado F. , Umaña Villalobos, Springer, & Picado Barboza, 2020)

En el sitio B02, el río ya atraviesa potreros, cuenta con sectores sin cobertura boscosa y a la vez, con la presencia de árboles de ciprés. Todas estas condiciones pueden afectar la calidad del agua y la oferta de hábitat para los macroinvertebrados acuáticos (Ramírez, Giraldo, Zúñiga, Ramos, & Chará, 2018); (Reinhart & VandeVoort, 2006). Aun así, fue el único sitio que se clasificó en la categoría de aguas de calidad regular, con eutrofización y presentó el mayor valor del índice de diversidad Shannon-Weiner. Esta condición puede deberse a dos posibles razones, la primera la calidad del agua es aceptable y permitió la colonización de más familias, comparado con el resto de los sitios evaluados. La segunda, puede deberse a que este sitio fue el único donde se observó raíces y gramíneas dentro del cuerpo de agua, favoreciendo la presencia de las ninfas de las familias Calopterygidae y Coenagrionidae (Odonata), que suelen preferir este tipo de hábitats (Ramirez, 2010) como también la familia Belostomatidae (Hemiptera) (McPhaterson & Packauskas, 1986). Sin embargo, no se descarta la presencia de contaminación o alteración en este sitio, debido a la ausencia de la familia Perlidae (como ejemplo), la cual es intolerante a la contaminación y suele ser registrada en abundancia en ríos de zonas altas y con aguas muy oxigenadas (Gutiérrez Fonseca, 2010).

Para los siguientes tres sitios evaluados (B03, B04 y B05), su clasificación de aguas de calidad biológica mala, se puede deber a que en estos ya hay evidencia del vertido de aguas

servidas, la presencia de desechos sólidos y alteración del bosque de ribera (observación durante la toma de datos). Además, los tres sitios presentaron valores bajos en el índice de diversidad Shannon-Weiner, evidenciando el grado de afectación que sufren, ya que según (Omari, Okoth, & Achieng, 2014), los ríos con buena calidad y sin perturbaciones suelen albergar una alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos. No obstante, en ríos con alta contaminación por aguas servidas y negras, los valores del índice de Dominancia suelen ser altos y los valores del índice de Equitatividad bajos (cerca de cero o incluso cero), debido a que no todos los macroinvertebrados acuáticos logran sobrevivir a condiciones extremas de contaminación (Medianero & Samaniego, 2004).

#### 4.1 Índice Holandés e índice BMWP-CR

A continuación, en el cuadro N°16 se realiza una comparación de los resultados obtenidos mediante la aplicación de cada uno de los índices.

**Cuadro 16. Comparación de resultados según índice holandés e índice BMWP-CR**

Punto muestreo	Índice		Caudal (L/S)
	Holandés	BMWP-CR	
Punto 1	Contaminación incipiente	Calidad biológica mala, contaminadas	14,84
Punto 2	ND	Calidad regular, eutrófia, contaminación moderada	31,14
Punto 3	Contaminación incipiente	Calidad biológica mala, contaminadas	58,49
Punto 4	ND	Calidad biológica mala, contaminadas	17,16
Punto 5	Contaminación incipiente	Calidad biológica mala, contaminadas	39,44

ND: No hay datos

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de la presente investigación los resultados de ambos índices generan información valiosa sobre la calidad del agua en la microcuenca. Sin embargo, se considera que el caudal del río afecta los resultados en ambos. Sin embargo, en este caso se considera que el bajo caudal encontrado afecta principalmente la diversidad de bioindicadores y repercute directamente la inexistencia de macro y micro habitas. Según lo anterior, el índice holandés fue menos afectado por el caudal y por ende los resultados son mayormente representativos para la microcuenca.

La distribución de los puntos de muestreo en la microcuenca y su clasificación según cada índice se presenta en la figura N°8 y N°9, donde además se incorporan las Coberturas y Usos del Suelo existentes.

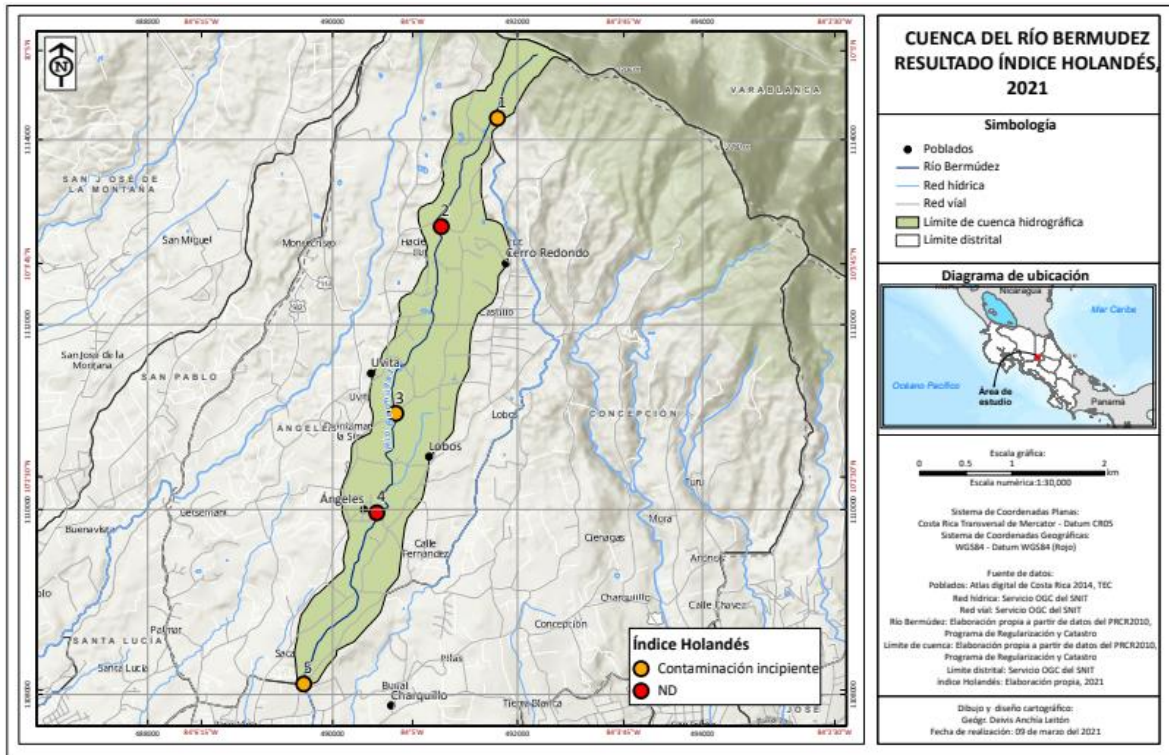


Figura 8. Distribución puntos de muestreo y su clasificación según índice Holandés.

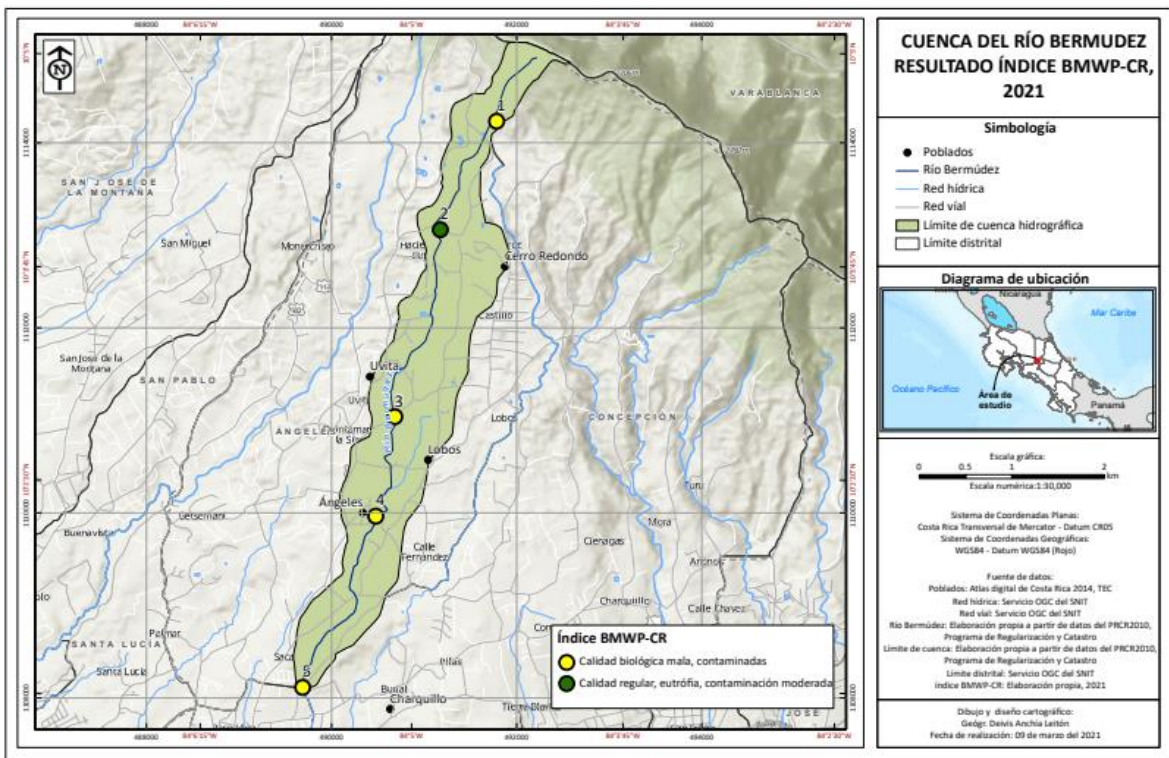


Figura 9. Distribución puntos de muestreo y su clasificación según índice BMWP-CR.

## **4.2 Acciones para la Gestión Integral del Recurso Hídrico**

Con base en los resultados obtenidos, en el siguiente apartado se incorporan una serie de acciones para la gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca alta del río Bermúdez. Cabe destacar que los resultados del Índice Holandés indican que la microcuenca en la parte alta, media y baja presenta aguas con contaminación incipiente, mientras que el Índice BMWP-CR indica que en cuatro de los cinco puntos el agua es de calidad biológica mala, contaminada.

Según los resultados, a escala de cuenca hidrográfica se deben planificar e incorporar estrategias que permitan monitorear la calidad del agua y mejorar sus condiciones, dentro de las cuales debe fundamentalmente incorporarse la población local.

A continuación, se exponen una serie de acciones en procura de la calidad de los cuerpos de agua y su entorno.

- 1) Con el fin de monitorear la calidad de los cuerpos de agua, se considera conveniente desarrollar un programa de muestreo que contemple al menos dos épocas (Época seca y época lluviosa). Para los efectos del presente proyecto, el recurso fue insuficiente, sin embargo, con el fin de obtener resultados más certeros es preponderante el levantamiento de una línea base contemplando las dos épocas del año y obtener el insumo necesario para dirigir acciones.
- 2) Es importante comunicar los resultados del presente estudio con instituciones de gobierno y entidades locales, pero con mayor importancia se deben socializar los resultados con la comunidad. Esto con el fin de informarles acerca de la situación del recurso hídrico en la microcuenca y de esta forma incorporar cada vez más personas para que como conocedores de la situación y así mismo como afectados se logre en conjunto con la comunidad construir acciones colectivas.
- 3) Con el fin de involucrar a la comunidad, deben realizarse talleres interactivos bajo la metodología aprende haciendo con grupos de interés como lo son niños en las escuelas, grupos como guías y scouts o otras figuras grupales presentes.
- 4) En la cuenca interactúan un gran número de asociaciones de desarrollo integral, comunidades, instituciones, propietarios privados, ONG's, entre otros. Por lo tanto, deben compartirse los resultados mediante diferentes convocatorias en las cuales es importante establecer acciones conjuntas y definir responsabilidades.
- 5) La comunidad de Los Ángeles de San Rafael de Heredia ya cuenta con un grupo organizado de personas con un alto nivel de compromiso y protección de los recursos naturales de la zona llamado COVIRENA, por lo que se recomienda analizar la posibilidad de inscribirse en el Programa Bandera Azul Ecológica específicamente

en la categoría de cuencas hidrográficas. Lo que les permitirá un mayor rango de aplicación y la posibilidad de participar por presupuestos a nivel nacional los cuales le permitan financiar nuevas acciones de protección del recurso hídrico.

- 6) Desarrollar un programa educativo anual de monitoreo de la calidad del agua que incorpora a la población local, centros educativos y otras organizaciones comunales, el cual permita a estudiantes y población en general concienciarse acerca de la importancia de protección del recurso hídrico y su correcta gestión. Dicho programa debe lograr obtener indicadores de calidad sin tener que contratar un laboratorio o un profesional externo, sino indicadores que puedan ser obtenidos por personas con poca o nula formación en el área.
  
- 7) En la cuenca media se identificó una concentración de coliformes fecales por encima de lo que estipula el reglamento, lo que coincide con la parte baja de un uso de la tierra que representa el 35% del área total de la cuenca, los pastos, según indica el gráfico 1. Los pastos en esta microcuenca están estrechamente relacionados con la ganadería principalmente de leche según se constató durante las diferentes giras de campo, razón por la cual se deben promover prácticas sostenibles y de manejo sostenible en fincas a través de un programa de educación ambiental y mesas de trabajo entre propietarios y administradores finqueros, el cual contemple:
  - a. Incentivar el respeto sobre la franja de 15 metros desde el cauce en zonas rurales y 10 metros en zona urbana como lo establece la Ley Forestal del año 1996.
  - b. Incentivar las zonas de protección de fuentes de agua en concordancia con lo establecido en la Ley Forestal.
  - c. Implementación de tecnologías como la biodigestión, lagunas de oxidación, biojardineras, entre otras tecnologías que permitan minimizar los caudales de aguas residuales que se vierten en los cauces de ríos y quebradas.
  - d. Implementación de sistemas de riego por aspersión el cual permita utilizar las aguas residuales para beneficio y fertilización de sus pastos.

## 5. CONCLUSIONES

El uso del suelo con mayor predominancia en la microcuenca es el uso urbano con un 44% del área total, le sigue el 35% destinado a pastos y un 12% lo representan los bosques. A pesar de aproximadamente un 45% de área urbana, los impactos usuales ocasionados por la actividad antrópica no se visualizaron en los resultados de los análisis físico químicos y biológicos. En el punto B05, no se presentaron concentraciones elevadas de parámetros asociados a una mala calidad del agua, se debe contemplar que en dicho punto el caudal fue en 39,4 L/s, lo que pudo facilitar la dilución, así como que las distancias entre un punto y otro fueron de aproximadamente 1.5 kilómetros, lo que se encuentra a favor de la capacidad de autodepuración del cauce.

La clasificación resultante del índice holandés es gratificante si se contempla que la clase dentro de la cual se ubican los diferentes puntos muestreados es la Clase II, es decir, contaminación incipiente. Como se indicó en el apartado resultados, la diferencia entre una clase y la otra fue determinada por el valor de la DBO, debido a que por aproximadamente 1 mg/L fue lo que estableció la clase, sin embargo, los resultados de los parámetros complementarios indicaron que la calidad del agua se encontraba dentro de los límites de la clase I.

Los resultados del índice BMWP-CR se vieron afectados en algunos puntos principalmente por la época del año y el caudal, debido a que en la parte alta la disponibilidad de agua en el cauce era mínima por lo que los macro y microsistemas eran inexistentes y con ellos la variedad de macroinvertebrados. Según los resultados, el índice clasifica la mayoría de puntos como agua de calidad mala, sin embargo, dicho resultado no se debe a la calidad exactamente, sino a que el poco caudal no es el idóneo para la existencia de una mayor variedad de organismos, razón por la cual el índice resultó en una calidad mala o regular.

Los resultados obtenidos como producto de la aplicación del Índice holandés e índice BMWP-CR arrojaron información distinta. Por lo tanto, es importante concluir que durante las giras de inspección y muestreo se observaron en algunos de los puntos cantidades pequeñas de agua en el cauce, no se evidencian tomas de agua o desvíos sin embargo tampoco se descartan a lo largo de la microcuenca.

En cuanto a los bioindicadores, durante la gira de muestreo y la visita a cada uno de ellos permitió identificar poca presencia de macroinvertebrados principalmente en las partes altas, lo anterior se considera esta estrechamente relacionado con la cantidad de agua. Cabe recalcar que los resultados del índice BMWP-CR varía con base en la presencia o no de macroinvertebrados. Sin embargo, es necesario indicar que visualmente el agua encontrada en los puntos B01, B02 y B03 no presentaba alteraciones, contaba con la temperatura adecuada y no se notó un agua mala o contaminada, pero si cauces con poca agua y esto genera un paisaje ribereño pobre sin macro y micro hábitats necesarios para una mayor presencia de bioindicadores. Por lo tanto, se considera que en dichos puntos los resultados obtenidos se deben principalmente a la cantidad de agua disponible en el cauce y no

necesariamente a una mala condición del agua. Sin embargo, en los puntos B04 y B05 si se observo un mayor caudal y los resultados representan la condición del agua.

El índice holandés fue afectado por el cauce existente, sin embargo, se considera que este índice representa mayormente la realidad en cuanto a la calidad del agua en la microcuenca. Se debe indicar que durante los muestreos en el sitio B01 se observó un agua con características adecuadas y los resultados de los análisis no coinciden con lo visto en campo. Sin embargo, en los puntos B03 y B05 es necesario indicar que se visualizo un agua con cierto grado de turbidez y con una mayor carga de solidos suspendidos, así mismo, es importante acotar que en dichos puntos ya el cauce ha pasado por usos destinados principalmente a la ganadería de leche y diferentes parches urbanos, lo que impacta negativamente la calidad del agua.

En conclusión, la calidad del agua en la microcuenca alta del río Bermúdez no presenta un impacto negativo preponderante. Los resultados de los índices están siendo principalmente influenciados por una disminución de caudal en el cauce que ocasiona poca variabilidad de ecosistemas y dilución de concentraciones, razón por la cual, entre las principales acciones propuestas, se establece el monitoreo anual de la calidad del agua.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abarca Morales , H. (2007). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. *Biocenosis*, 1-2.
- Allan, D., & Castillo , A. (15 de Febrero de 2021). *Springer.com*. Obtenido de <https://www.springer.com/gp/book/9781402055829>
- Avilés Vargas, L. (2017). Efecto de la intermitencia de flujo en el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos y en las características físico-químico en cinco cuerpos de agua estacionales. San José, San José, Costa Rica.
- Bravo Inclan, L., Saldaña Fabela, P., Izurieta Davila, J., & Mijangos Carro, M. (01 de Febrero de 2013). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. Obtenido de [http://www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5955:la-importancia-de-la-contaminacion-difusa-en-mexico-y-en-el-mundo&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5955:la-importancia-de-la-contaminacion-difusa-en-mexico-y-en-el-mundo&catid=171:proyectos-imta&Itemid=863)
- Bunn, S., & Arthington. (2002). Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management*, 492-507.
- Calvo Alvarado, J. C., Jimenez R, J., González, E., Pizarro , F., & Jiménez, A. (2008). Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque, Costa Rica: el enfoque hidrológico con limitación de datos. *Kurú*, 1-18.
- Calvo Brenes, G., & Araya Ulloa, A. (2018). Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Scielo*, 73-83.
- Cover, M., & Resh, V. (2021). Global diversity of dobsonflies, and alderflies (Megaloptera; Insecta) and spongillafly, nevrothids, and osmylids ( Neuroptera; Insecta) in freshwater. *DEvelopments in Hydrobiology*, 409-417.
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *QuímicaViva*, 147-170.
- Gaetan, B., Marine, D., Raynolds Vargas, J., & Torres Corral, L. (2006). Capacidad potencial de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión. Heredia, Heredia, Costa Rica.
- Gernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *QuímicaViva*, 147-170.
- Global Water Partnership. (Agosto de 2016). Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica. Tegucigalpa, Tegucigalpa, Honduras.
- Gutiérrez Fonseca, P. (2010). Capítulo 6: Plecoptera. *Revista de Biología Tropical*, 139-148.
- Herrera Murillo, J., & Guevara, D. (2014). *Informe de Caidad de Aguas Superficiales, SAN José*. San José.
- Hughes Arrocha, M. (2020). *ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL SANEAMIENTO AMBIENTAL Y LA CALIDAD DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AQUIARES, TURRIALBA, COSTA RICA*. Turrialba.
- Instituto Meteorológico Nacional. (19 de Diciembre de 2020). *IMN*. Obtenido de IMN: <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>
- La Gaceta. (Lunes de Setiembre de 2007). *La Gaceta*. Obtenido de La Gaceta: <https://www.imprentanacional.go.cr/gaceta/>



- McPhaterson, J., & Packauskas. (1986). Life History and Laboratory Rearing of *Belostoma lutarium* (Heteroptera: Belostomatidae) with Descriptions of Immature Stages. *Journal of the New York Entomological Society*, 154-162.
- Medianero, E., & Samaniego, M. (2004). Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el Río Curundú, Panamá. *Folia Entomol*, 279-294.
- Mesa, J. J. (2014). Calidad del agua del río Cauca y sus tributarios. Cali, Cali, Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2015). *MANUAL DE DEFINICIÓN DE CLASES DE LA LEYENDA CLC-CR PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA*. San José.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *TENSOACTIVOS ANIÓNICOS EN AGUA – MÉTODO SAAM*. Bogotá.
- Monselve Sáenz, G. (2014). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mora Molina, J., & Calvo Brenes, G. (2011). Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 15-29.
- Moreira Braz, A., Mirandola García, P. H., Luiz Pinto, A., Salinas Chávez, E., & de Oliveira, I. J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. Bogota, Bogota, Bogota.
- Omari, S., Okoth, P., & Achieng, A. (2014). The impact of water quality on species diversity and richness of macroinvertebrates in small water bodies in Lake Victoria Basin, Kenya. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 32-41.
- Orozco, P. P., Jiménez, F., Faustino, J., & Prins, C. (2008). La cogestión de cuencas abastecedoras de agua para consumo humano. Turrialba, Limón, Costa Rica. Obtenido de <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Cogestion%20Cuencas%20Abastecedoras%20de%20Agua.pdf>
- Quesada Alvarado, F., Umaña Villalobos, G., Springer, M., & Picado Barboza, J. (2010). Variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos, en un río tropical. *Revista de Biología Tropical*, 54-68.
- Quesada Alvarado, F., Umaña Villalobos, G., Springer, M., & Picado Barboza, J. (2020). Clasificación de acuatic macroinvertebrates in flow categories for the adjustment of the life index to Costa Rican rivers. *Ecohydrology and Hydrobiology*.
- Ramirez, A. (2010). Capítulo 5: Adonata. *Revista de Biología Tropical*, 97-136.
- Ramírez, Y., Giraldo, L., Zúñiga, M., Ramos, B., & Chará, J. (2018). Influencia de la ganadería en los macroinvertebrados acuáticos en microcuencas de los Andes centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 1244-1257.
- Reinhart, K., & VandeVoort, R. (2006). Effect of native and exotic leaf litter on macroinvertebrate communities and decomposition in a western Montana stream. *Diversity Distribution*, 776-781.
- Rodríguez Barrientos, F. (2006). CUENCAS HIDROGRÁFICAS, DESCENTRALIZACIÓN Y DESARROLLO REGIONAL PARTICIPATIVO. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, 114-125.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *SciELO*, 172-181.

- Solano Arce, M. D. (2011). *“Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo.* Heredia.
- Soto Castro, L. M. (2019). *Análisis del nivel de contaminación en la cuenca media alta del río Guápiles, Pococí.* Cartago.
- Tamovaya, S., & Tedesco, P. (2007). Tamaño corporal, tolerancia ecológica y potencial de bioindicación de la calidad del agua de *Anacroneuria* spp. (Plecoptera: Perlidae) en América del Sur. *Revista de Biología Tropical*, 67-81.
- Vidal, C., & Romero , H. (2010). EFECTOS AMBIENTALES DE LA URBANIZACIÓN DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS BÍOBÍO Y ANDALIÉN SOBRE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN Y ANEGAMIENTO DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN . Concepción, Concepción, Chile.
- Zumbado Vega, F. (02 de Noviembre de 2020). *ESPH*. Obtenido de ESPH: <https://www.esph-sa.com/no-entiendo-el-voto-garabito>