

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO ESPECIES  
BIOINDICADORAS EN RÍOS: CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CANE, COLOMBIA

AUTORAS:

GERALDINE PAOLA GARCÍA MARTÍNEZ

SARAI NATHALIA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2022

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO ESPECIES  
BIOINDICADORAS EN RÍOS: CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CANE, COLOMBIA

AUTORAS:

GERALDINE PAOLA GARCÍA MARTÍNEZ

SARAI NATHALIA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

TRABAJO DE GRADO

DIRECTORA DEL TRABAJO DE GRADO: PhD. LINA PATRICIA VEGA GARZÓN

CODIRECTORA DEL TRABAJO DE GRADO: Ing. MC. KELLYS NALLITH SALCEDO

HURTADO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2022

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a la Universidad Santo Tomas, a la Facultad de Ingeniería Ambiental y su cuerpo docente por apoyarnos en nuestra formación profesional y proporcionarnos las herramientas necesarias para el desarrollo de la investigación. Igualmente, a nuestra directora Ing. Lina Vega y codirectora Ing. Kellys Salcedo por guiarnos y brindarnos su conocimiento para que fuera posible la culminación de este proyecto.

De igual manera, queremos agradecer especialmente a nuestros padres y hermanas por ser nuestros pilares en este camino, por su apoyo incondicional a cumplir cada una de nuestras metas y retos en nuestras vidas, por guiarnos con su paciencia, por su comprensión, por motivarnos y siempre brindarnos su cariño y amor.

Por último, pero no menos importante a nuestros amigos que nos acompañaron y apoyaron durante esta etapa tan importante de nuestras vidas.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>CONTEXTUAL.....</b>	<b>16</b>
<b>CONCEPTUAL.....</b>	<b>19</b>
<b>LEGAL.....</b>	<b>26</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
• <b>PRIMERA ETAPA: CARACTERIZACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>28</b>
<i>Área de estudio.....</i>	<i>28</i>
• <b>SEGUNDA ETAPA: MONITOREO.....</b>	<b>30</b>
<i>Colecta de los macroinvertebrados.....</i>	<i>30</i>
<i>Recolección de muestras de agua y muestreo de análisis fisicoquímicos.....</i>	<i>31</i>
<i>Aforo de caudales.....</i>	<i>32</i>
• <b>TERCERA ETAPA: CÁLCULO DE LOS ÍNDICES.....</b>	<b>32</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
• <b>PRIMERA ETAPA.....</b>	<b>38</b>
<i>Datos meteorológicos.....</i>	<i>38</i>
<i>Ubicación de la zona de estudio.....</i>	<i>40</i>
<i>Cobertura uso del suelo y NDVI.....</i>	<i>41</i>
• <b>SEGUNDA ETAPA.....</b>	<b>47</b>
<i>Macroinvertebrados.....</i>	<i>47</i>
<i>Aforo de caudales.....</i>	<i>48</i>
<i>Parámetros fisicoquímicos.....</i>	<i>50</i>
• <b>TERCERA ETAPA.....</b>	<b>54</b>
<i>Índices de calidad de agua con parámetros fisicoquímicos.....</i>	<i>54</i>
<i>Relación entre índices fisicoquímicos, biológicos y la cobertura vegetal.....</i>	<i>58</i>
<b>IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO.....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1.</b> DIAGRAMA METODOLÓGICO.....	27
<b>ILUSTRACIÓN 2.</b> MAPA UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA PUENTE CHACON.....	39
<b>ILUSTRACIÓN 3.</b> UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. I. CUENCA DEL RÍO SUAREZ, II. SUBCUENCA DEL RÍO CANE-IGUAQUE, III. TRAMO DE ESTUDIO Y PUNTOS DE MONITOREO.....	41
<b>ILUSTRACIÓN 4.</b> COMPARACIÓN DEL NDVI EN LA ZONA DE ESTUDIO PARA EL PERIODO DE TIEMPO ENTRE 2015 - 2022. ....	42
<b>ILUSTRACIÓN 5.</b> COBERTURA POR METODOLOGÍA CORINE LAND COVER PARA EL AÑO 2012 .....	45
<b>ILUSTRACIÓN 6.</b> COBERTURA POR METODOLOGÍA CORINE LAND COVER PARA EL AÑO 2018 .....	45
<b>ILUSTRACIÓN 7.</b> ZONA DE MUESTREO Y REGISTRO DE COORDENADAS.....	47
<b>ILUSTRACIÓN 8.</b> REGISTRO FOTOGRAFICO RECOLECCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS EN CAMPO.....	48
<b>ILUSTRACIÓN 9.</b> REGISTRO FOTOGRAFICO IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS EN LABORATORIO. ....	48
<b>ILUSTRACIÓN 10.</b> AFORO DE CAUDALES. ....	49
<b>ILUSTRACIÓN 11.</b> MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN CAMPO. ....	52
<b>ILUSTRACIÓN 12.</b> MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN LABORATORIO. ....	52
<b>ILUSTRACIÓN 13.</b> ICA-IDEAM DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CANE .....	55
<b>ILUSTRACIÓN 14.</b> ICA BASADO EN ESTÁNDARES EUROPEOS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CANE .....	56
<b>ILUSTRACIÓN 15.</b> NSF DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CANE .....	56
<b>ILUSTRACIÓN 16.</b> BMWP/COL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CANE .....	57
<b>ILUSTRACIÓN 17.</b> ETP DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CANE .....	58
<b>ILUSTRACIÓN 18.</b> CARTILLA INFORMATIVA CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CANE .....	66

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>GRÁFICA 1.</b> CAUDALES MEDIOS MENSUALES 2010-2019.....	40
<b>GRÁFICA 2.</b> COMPARACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL NDVI PARA EL PERIODO DE TIEMPO ENTRE 2015 – 2022 .....	43
<b>GRÁFICA 12.</b> COMPARACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE LAND COVER PARA LOS PERIODOS DE TIEMPO 2012 – 2018 .....	46
<b>GRÁFICA 3.</b> DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO .....	53
<b>GRÁFICA 4.</b> POTENCIAL DE OXIDO REDUCCIÓN.....	53
<b>GRÁFICA 5.</b> OXÍGENO DISUELTO .....	54
<b>GRÁFICA 6.</b> BMWP - ICA-IDEAM vs COBERTURAS VEGETALES.....	60
<b>GRÁFICA 7.</b> BMWP - ICA-SANCHEZ vs COBERTURAS VEGETALES .....	61
<b>GRÁFICA 8.</b> BMWP - NSF-WQI vs COBERTURAS VEGETALES .....	62
<b>GRÁFICA 9.</b> ETP – ICA-IDEAM COBERTURAS VEGETALES .....	64

<b>GRÁFICA 10.</b> ETP - ICA-SANCHEZ vs COBERTURAS VEGETALES .....	64
<b>GRÁFICA 11.</b> ETP - NSF-WQI vs COBERTURAS VEGETALES .....	65

### LISTA DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN 1.</b> FÓRMULA DEL ICA .....	19
<b>ECUACIÓN 2.</b> FÓRMULA NSF-WQI.....	20
<b>ECUACIÓN 3.</b> FORMULA EMPÍRICA ICA- SÁNCHEZ.....	21
<b>ECUACIÓN 4.</b> FÓRMULA DEL BMWP/Col .....	22
<b>ECUACIÓN 5.</b> FÓRMULA ÍNDICE ETP .....	22
<b>ECUACIÓN 6.</b> PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO .....	33
<b>ECUACIÓN 7.</b> SUBÍNDICE DEL OXÍGENO DISUELTO $I_{OD}$ .....	33
<b>ECUACIÓN 8.</b> PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO MAYOR A 100% .....	33
<b>ECUACIÓN 9.</b> SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES .....	33
<b>ECUACIÓN 10.</b> CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	34

### LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1 .</b> CLASIFICACIÓN DEL NDVI .....	29
<b>TABLA 2.</b> VARIABLES DEL ICA-IDEAM Y SUS PONDERACIONES .....	32
<b>TABLA 3.</b> RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL ICA-IDEAM.....	35
<b>TABLA 4.</b> PUNTUACIÓN PARA CADA PARÁMETRO DEL NSF-WQI.....	35
<b>TABLA 5.</b> CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN NSF-WQI .....	35
<b>TABLA 6.</b> VALORES ASIGNADOS DE $C_i$ Y $P_i$ SEGÚN EL PARÁMETRO DEL AGUA.....	36
<b>TABLA 7.</b> CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN ICA SÁNCHEZ.....	36
<b>TABLA 8.</b> PUNTAJES DEL BMWP POR FAMILIA .....	37
<b>TABLA 9.</b> RANGOS DE CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ÍNDICE BMWP/Col .....	38
<b>TABLA 10.</b> RANGOS DE CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ÍNDICE ETP .....	38
<b>TABLA 11.</b> CÁLCULO DE CAUDALES.....	49
<b>TABLA 12.</b> CLASIFICACIÓN POR CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA. .....	50

## RESUMEN

La determinación de la calidad del agua por medio de parámetros fisicoquímicos y su relación con la presencia de organismos bioindicadores en ríos, es una metodología que permite evaluar el estado de los ecosistemas de una forma integral, además de generar alternativas sostenibles y apropiadas para la evaluación de la calidad de los ecosistemas por las comunidades. El presente estudio se llevó a cabo en una sección de 4,0381 km pertenecientes a la subcuenca del río Cane-Iguaque, considerando que el Parque Natural Nacional Santuario de Flora y Fauna de Iguaque ocupa un 17,77% dentro de la subcuenca, y está localizada entre los municipios de Arcabuco, Chíquiza, Gachantivá y Villa de Leyva.

En este estudio, inicialmente se realizó la caracterización de la zona de estudio teniendo en cuenta los cambios de cobertura vegetal, los usos del suelo y las condiciones del agua para lograr la integración de distintos factores ambientales que afectan la calidad de la misma. Durante el año 2021 se llevaron a cabo tres monitoreos durante los meses de junio, septiembre y diciembre; en cada uno de los meses se evaluaron tres puntos diferentes del río según la selección del área de muestreo. En ellos se realizó aforo de caudales, recolección de macroinvertebrados, análisis de parámetros fisicoquímicos in situ y se tomaron muestras de agua para el análisis en laboratorio. Con esta información se calcularon varios índices de calidad de agua superficial; unos basados en los parámetros fisicoquímicos: Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA IDEAM); National Sanitation Foundation (NSF) y el Índice de Calidad del Agua (ICA) basado en estándares europeos; y otros en los macroinvertebrados recolectados: índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) y el índice ETP (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera). Estos índices se compararon para establecer la relación entre los organismos bioindicadores y su grado de tolerancia a la contaminación, obteniendo una buena correlación entre los índices ICA IDEAM y BMWP/Col; demostrando que este índice biológico es una buena herramienta para el diagnóstico de esta

cuenca que tienen como particularidad estar en una zona de preservación y amortiguación. De esta manera se implementó por primera vez en esta cuenca este tipo de indicadores, lo cual contribuye al conocimiento de técnicas de bajo costo y alternativas para la evaluación de la calidad del agua.

### **PALABRAS CLAVE**

Bioindicador, calidad del agua, índices, macroinvertebrados, NDVI

### **ABSTRACT**

The determination of water quality by means of physicochemical parameters and their relationship with the presence of bioindicator organisms in rivers is a methodology that allows evaluating the state of ecosystems in an integral manner, in addition to generating sustainable and appropriate alternatives for the evaluation of ecosystem quality by the communities. The present study was carried out in a section of 4.0381 km belonging to the Cane-Iguaque River sub-basin, considering that the Iguaque Flora and Fauna Sanctuary National Natural Park occupies 17.77% of the sub-basin, and is located between the municipalities of Arcabuco, Chíquiza, Gachantivá and Villa de Leyva.

In this study, initially the characterization of the study area was carried out considering changes in vegetation cover, land use and water conditions to achieve the integration of different environmental factors that affect water quality. During the year 2021, three monitoring activities were carried out during the months of June, September and December; in each of the months three different points of the river were evaluated according to the selection of the sampling area. Flow gauging, macroinvertebrate collection, in situ analysis of physicochemical parameters and water samples were taken for laboratory analysis.

With this information, several surface water quality indices were calculated; some based on physicochemical parameters: Water Quality Index in Surface Streams (ICA IDEAM); National

Sanitation Foundation (NSF) and the Water Quality Index (ICA) based on European standards; and others on the macroinvertebrates collected: Biological Monitoring Working Party (BMWP) index and the ETP index (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera). These indexes were compared to establish the relationship between the bioindicator organisms and their degree of tolerance to contamination, obtaining a good correlation between the ICA IDEAM and BMWP/Col indexes; demonstrating that this biological index is a good tool for the diagnosis of this basin, which is located in a preservation and buffer zone. Thus, this type of indicators was implemented for the first time in this basin, which contributes to the knowledge of low-cost and alternative techniques for the evaluation of water quality.

#### **KEYWORDS**

Bioindicator, water quality, indexes, macroinvertebrates, NDVI.

## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una gran oferta hídrica, la cual es seis veces superior al promedio mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica según el Estudio Nacional del Agua 2018 (IDEAM, 2018); además, el país es el tercero a nivel mundial con la mayor cantidad de agua dulce del mundo, siendo superado por Brasil el cual ocupa el primer puesto, según la Global Water Partnership (Casma, 2015).

Las fuentes hídricas se han visto afectadas por la contaminación debido a las actividades antrópicas que se desarrollan en torno a la prestación de los servicios ambientales del ecosistema, causando el manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas e industriales, la presencia de escorrentías de actividades agrícolas y ganaderas, lo cual genera daños en los ecosistemas acuáticos (Orta Arrazcaeta, 2002). La alteración de las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua hace que las especies se adapten a los cambios del hábitat o se extingan (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2014).

Por lo tanto, se han desarrollado estrategias para evaluar la calidad de agua, como la comparación de sus parámetros de calidad con la normatividad vigente, el uso de indicadores y la modelación de la calidad del agua (Valdes-Basto et al., 2011). La mayoría de los estudios que evalúan y valoran la calidad del agua utilizan ensayos fisicoquímicos y bacteriológicos, pero estos presentan algunas limitaciones debido a que no permiten observar la variabilidad en el tiempo o la integración de distintos factores ambientales (Suarez Castillo et al., 2019). Por esto se está utilizando además de los métodos convencionales, el monitoreo basado en el uso de organismos vivos como macroinvertebrados y peces que indiquen la calidad del agua (García et al., 2017).

Para escoger el organismo indicador, se deben utilizar especies relacionadas a unas condiciones ambientales específicas de los ecosistemas y a su vez realizar la comparación con parámetros

fisicoquímicos para una mayor fiabilidad, validez y precisión de los índices. Los índices de calidad de agua (ICA) incluyen varios parámetros, en su mayor parte fisicoquímicos, pero en algunos casos microbiológicos, lo que permite una mejor clasificación de la calidad, destacándose por su rápida aplicación y su mayor conocimiento. Los índices más usados en los estudios para cuencas colombianas es el IDEAM-ICA, ICA de Sanchez y NSF-WQI (Effendi et al., 2015a; IDEAM, 2011; Sanchez et al., 2007a).

Los índices biológicos permiten establecer de manera sencilla el estado ambiental en el que se encuentra el río, debido a que reúnen las características de los organismos como su tolerancia, presencia, abundancia, riqueza, entre otros datos biológicos. Esto genera una clasificación de la fuente hídrica. Entre los índices más utilizados están el Biological Monitoring Working Party (BMWP) y el índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) (Cox et al., 2019; López Mendoza et al., 2020).

El presente estudio se llevó a cabo en la subcuenca del río Cane-Iguaque, la cual hace parte del Parque Natural Nacional Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, una zona de conservación y de suma importancia para la generación de diferentes actividades económicas y sociales de la región. Localizada entre los municipios de Arcabuco, Chíquiza, Gachantivá y Villa de Leyva, cuenta con una extensión de 20.480 hectáreas y presenta altitudes entre 2.050 y 3.750 m.s.n.m. Caracterizada por ser una cuenca de alta montaña con diferentes zonas climáticas, lo que permite la presencia de diferentes tipos de cobertura vegetal y especies de fauna (CORPOBOYACA, 2015a).

En este río se realiza la captación del agua que abastece algunas comunidades aledañas, además de encontrarse cerca de una zona considerada uno de los mayores atractivos turísticos del país por su relevancia histórica, impulsando el crecimiento económico de la región. A lo largo del cauce se presentan diferentes actividades económicas como la agricultura, ganadería,

recreación, actividad hotelera, entre otras, las cuales causan impactos negativos en la calidad del recurso hídrico y en los procesos biológicos del río (CORPOBOYACA, 2015b). Esto ha generado la reducción de especies endémicas por ser una fuente receptora de desechos, por la captación de agua para consumo, y por la introducción de especies invasoras. Por lo anterior, la relevancia del proyecto radica en el reconocimiento de las diferentes especies que están asociadas a las características fisicoquímicas del agua en la búsqueda de la comprensión de sus dinámicas (CORPOBOYACA, 2015c). Lo anterior, con el fin de que la comunidad ejerza un papel fundamental en la protección de la biodiversidad en su región.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar la calidad del agua del río Cane sector Villa de Leyva, Boyacá, por medio de índices fisicoquímicos y biológicos

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar la subcuenca del río Cane a través de imágenes satelitales enfocadas en el cambio de cobertura de suelo.
2. Identificar las especies bioindicadoras presentes en los puntos de muestreo.
3. Relacionar las características fisicoquímicas del agua con la presencia y características de los bioindicadores.

## ANTECEDENTES

En los últimos años se han presentado con más frecuencia estudios e investigaciones que involucran organismos vivos para monitorear las condiciones de los ecosistemas, debido a su sensibilidad a las alteraciones ambientales. La duración de vida y el tiempo de las especies en las diferentes zonas de estudio, permite observar la alteración o cambios de sus características que son evidenciadas en monitoreos simultáneos entre la biota y la calidad del agua (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), 2014).

La implementación de estas relaciones se ha realizado con diferentes especies, parámetros, índices de calidad de agua, entre otros. La metodología de Gualdrón Durán, permite analizar cada uno de los parámetros que se pueden ver afectados por las condiciones de contaminación en las que se encuentra los cuerpos de agua. Del mismo modo se encuentra una relación con los resultados de los índices que determina las condiciones óptimas para el desarrollo de las especies acuáticas presentes (Gualdrón Durán, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, diferentes estudios buscan correlaciones en diversas zonas. Por ejemplo, (Caetano et al., 2016). realizaron la correlación entre la ictiofauna presente, por medio de índices de biodiversidad, analizando abundancia y frecuencia relativa de especies de peces; y las características fisicoquímicas de las corrientes para poder estimar la calidad ambiental de la cuenca del río Paraná en Brasil. Por otro lado, en Ecuador, (Viteri Garcés et al., 2017). identificaron las especies que se pueden usar como indicadores biológicos como el fitoplancton, zooplancton, ictioplancton, macroinvertebrados y peces en el embalse de la Hidroeléctrica Baba. Resaltaron la facilidad de identificar, muestrear y cuantificar estas especies, además, que tienen una distribución amplia, son abundantes y reflejan los niveles de contaminación. Por último, en la quebrada La Colorada del municipio de Villa de Leyva, Colombia, (Rocha G & Cuéllar R, 2019) evaluaron la diversidad por medio de índices bióticos, por macroinvertebrados acuáticos debido a que presentan diferentes adaptaciones a las

condiciones ecológicas. Los índices calculados fueron Shannon- Weaver, Simpsons y Pielou; las taxa con mayor número de individuos fueron Tricladida, Basommatophora y Hemiptera. La diversidad biológica se relacionó directamente con las estaciones escogidas y con la presencia de restauración ecológica en las mismas.

Por otra parte, varios estudios hacen una relación entre índices fisicoquímicos y biológicos, y tienden a ser más completos debido a que incluyen las dimensiones de calidad fisicoquímica y ecológica, y los indicadores biológicos muestran el efecto de la contaminación y la salud del ecosistema en un periodo más prolongado de tiempo. En el río Opia ubicado en Tolima-Colombia, (Forero-céspedes et al., 2013) aplicaron los índices bióticos Biological Monitoring Working Party Colombia (BMWP/Col), Hilsenhoff (IBF), Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) y los índices de calidad de agua (ICA), el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el índice de contaminación por mineralización (ICOMI). Y en el estudio de (Forero Duarte, 2017), se analizó el índice WQI de calidad de agua y para el caso de los macroinvertebrados una vez identificadas taxonómicamente hasta familia y género, se utilizó el método de Biological Monitoring Working Party (BMWP) donde se evaluó la calidad de agua basándose en las familias de macroinvertebrados acuático por medio de un sistema de puntaje dependiendo el grado de tolerancia de las especies.

La implementación de las correlaciones ha generado métodos para el tratamiento estadístico de los datos. Tal es el caso del estudio realizado por (Londoño Londoño et al., 2017). Donde se halló la abundancia relativa, riqueza, diversidad y el índice AusRivAS con el fin de evaluar las condiciones en tres quebradas de alta montaña Las Cruces (Santa Rosa, La Brizuela y La Peña) en Antioquia empleando macroinvertebrados. Para hallar la correlación se usó ANOVAS, relacionando las quebradas, sus tramos y los períodos de tiempo, y usando como variables dependientes los parámetros fisicoquímicos e índices bióticos como abundancia y riqueza

Complementando las anteriores investigaciones, algunas de ellas realizan la identificación de las coberturas vegetales y sus cambios con el paso de los años por medio de diferentes metodologías, y su relación con la calidad del agua. En una corriente de Nueva Zelanda se relacionaron los cambios de vegetación y la calidad del agua por 17 años después de ser declarada como zona protegida. En la investigación se identificó que con el paso de los años se presentaron cambios en la vegetación que provocaron bloqueos en el movimiento de los peces, pero a su vez actuaron como filtro de nutrientes, lo que mejoró la calidad del agua y el hábitat de la vida silvestre (Howard-Williams & Pickmere, 1994). Por otra parte, en un estudio realizado en Morelos-México, se evaluaron las tendencias espacio-temporales de la degradación ambiental por acción antropogénica, por medio del uso de datos satelitales multiespectrales LANDSAT. Por medio de ellas se realizó un análisis de la variación en las coberturas vegetales y uso del suelo, con el objetivo de identificar y dimensionar las áreas con mayor impacto en el transcurso de los años 2000 a 2009 (Ordóñez Díaz et al., 2018).

## **MARCO TEÓRICO**

### **CONTEXTUAL**

- Calidad del agua: Esta característica de cualquier cuerpo de agua está relacionada con las funciones naturales y actividades humanas. Si dejamos las actividades humanas a un lado, la calidad del agua estaría determinada por la erosión de los minerales, lixiviación de la materia orgánica y los nutrientes del suelo, procesos biológicos acuáticos que afectan la composición del agua y procesos hidrológicos como la precipitación, evapotranspiración, escorrentía, entre otros (United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System/Water Programme, 2006). La evaluación de la calidad de agua se realiza por medio de diferentes metodologías que difieren en los cálculos y los parámetros a evaluar, y están

diseñadas para evaluar características específicas de acuerdo con los criterios de ponderación de los parámetros utilizados (Caho-Rodríguez & López-Barrera, 2017).

- Villa de Leyva: Este municipio se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia y fundado el 12 de junio de 1572 lo que lo incluye dentro de espacios en el tiempo de gran importancia histórica, cuenta actualmente con una extensión de 128 km<sup>2</sup>. Ubicado en la Cordillera Oriental Colombiana, a una altitud sobre el nivel del mar de 2149 m.s.n.m, y una temperatura media de 18.1°C. Limita al Norte con los municipios de Arcabuco y Gachantivá, al Sur con el municipio de Sáchica, al Oriente con el municipio de Chíquiza y al Occidente con el municipio de Santa Sofía y Sutamarchán. Villa de Leyva cuenta con una fuente hídrica generada por tres ríos principales con aguas provenientes de los páramos de Guacheneque, Merchán - El Águila, Morro Negro e Iguaque. Sus tres ejes fluviales son el Río Sutamarchán, Río Sáchica y Río Cane, contando así con una amplia red de afluentes menores, que se unen formando el Río Moniquirá, a través del cual tributan sus aguas al Río Suárez (Alcaldía de Villa de Leyva, 2022).
- Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN): Es la entidad encargada del manejo y administración el Sistema de Parques Nacionales Naturales (PNN) y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) en todo el territorio colombiano, Cumple diversidad de funciones sobre 59 áreas naturales de PNN con una extensión aproximada de 142,682 km<sup>2</sup>, de las cuales en 26 áreas se encuentran comunidades indígenas y afrodescendientes. Los Parques Nacionales se encuentran agrupados en 6 regiones las cuales son Región Amazonía, Región Andes Nororientales, Región Andes Occidentales, Región Caribe, Región Orinoquía y Región Pacífico. (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022b, 2022c, 2022a)
- Río Cane: Se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá, cercano a los municipios de Chíquiza, Arcabuco, Gachantivá y Villa de Leyva con una extensión de 20.480 ha con altitudes entre 2.050 a 3.750 metros. Dentro de esta cuenca hídrica se encuentra localizado el Parque

Natural Nacional Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, el cual posee una extensión de 6.750 hectáreas, de las cuales 3.644 (53,9%) se ubican dentro de la cuenca. Se evidencia gran diversidad biológica, debido a ecosistemas naturales de bosques andinos, bosques sub-andinos; páramos húmedos y páramos secos (CORPOBOYACA, 2015d).

- **Contaminación hídrica:** La contaminación del agua se denomina a cualquier alteración de sus características organolépticas físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales generando efectos adversos sobre el ambiente o los seres vivos. Esta contaminación se puede ver generada por el vertimiento de líquidos o aguas residuales asociadas directamente con la actividad antropogénica las cuales se pueden clasificar como de origen doméstico, industrial o agrícola; asociando agua lluvia que genera escorrentía (Segura Triana, 2007).
- **Bioindicador:** Son los organismos o comunidades que por su presencia expresan el nivel o estado de un hábitat actual. Para tener en cuenta este indicador se considera un “bioindicador ideal” el cual posee tolerancias ambientales estrictas, es decir, son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del medio en el que viven o viven bajo condiciones ambientales relativamente particulares. Estos manifiestan las afectaciones por contaminación en el ambiente presentando los riesgos para otros organismos, el ecosistema y el ser humano debido a que estos presentan características como sensibilidad a contaminantes, dispersión, éxito reproductivo y distribución. El uso de estos bioindicadores permite llevar a cabo determinaciones de condiciones ambientales que resulten complicadas y costosas de medir, mediante la información taxonómica lo cual facilita la interpretación de un gran número de datos que resultan de los llamados monitoreos biológicos (Morales Salinas, 2011).

## CONCEPTUAL

- Índice de Calidad del Agua (ICA): El Índice de calidad del agua es una herramienta matemática que representa la calidad del recurso hídrico, por medio de la integración de varios parámetros fisicoquímicos y varía dependiendo las metodologías de los autores (Castro et al., 2014), Comúnmente asigna valores numéricos entre 0 y 1 ó 0 y 100, valor que determina el grado de contaminación de un cuerpo de agua (Juan Esteban Piedrahita Vera, 2018).
- Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA-IDEAM): La implementación de este índice permite identificar las condiciones fisicoquímicas de la calidad del agua y las problemáticas que se presentan en dicha corriente, además, contribuye a identificar el posible uso del agua para determinadas actividades (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020). Para la determinación de este índice se consideran principalmente 5 variables los cuales son el oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno, adicionalmente nitrógeno total y fósforo total en la siguiente fórmula.

### **Ecuación 1. Fórmula del ICA**

$$ICA_{njt} = \left( \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

Fuente: (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020).

Donde:

$ICA_{njt}$ : La estación de monitoreo de la calidad del agua  $j$  en el tiempo  $t$ , evaluado con base en  $n$  variables.

$W_i$ : peso relativo de cada variable de calidad  $i$ .

$I_{ikjt}$ : valor calculado de la variable  $i$  (resultado de aplicar la curva funcional), en la estación de monitoreo  $j$ , registrado durante la medición realizada  $k$ , del período de tiempo  $t$ .

$n$ : número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador.

En el momento de obtener el resultado del cálculo del índice ICA se procede a evaluar las condiciones de la corriente según los rangos de la calificación de la calidad del agua establecidos por el IDEAM.

- National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI): A partir de los años setenta surge este índice utilizado para supervisar la calidad de los ríos en Estados Unidos (Eugenia et al., 2007). El índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento es implementado con el fin de establecer la calidad del agua, es uno de los índices más empleados en la evaluación de la calidad de aguas superficiales para consumo humano a nivel mundial (Viky González Meléndez et al., 2013), para la determinación de este índice se consideran 9 parámetros dentro de los cuales se encuentran: DBO, OD, nitrato, fosfato total, temperatura, turbidez, sólidos totales, pH y coliformes fecales (Effendi et al., 2015b). A continuación, se expresa la fórmula correspondiente:

**Ecuación 2. Fórmula NSF-WQI**

$$NSF - WQI = \sum_{i=0}^n W_i \cdot L_i$$

Fuente: (Effendi et al., 2015b).

Donde:

*NSF-WQI*: Puntaje del índice de calidad del agua

*W<sub>i</sub>*: La puntuación de peso

*L<sub>i</sub>*: El valor del subíndice

Al momento de obtener el resultado del cálculo del índice se procede a evaluar las condiciones de la corriente según los rangos de la calificación de la calidad del agua establecidos en la Tabla 5.

- Índice de calidad del Agua de Sánchez (ICA- SÁNCHEZ): este índice es una herramienta matemática que permite evaluar el nivel de contaminación de cuerpos de agua, mediante la recopilación de gran cantidad de datos implementados en el Índice de Calidad del Agua y tiene en cuenta el déficit de oxígeno disuelto (D), el valor resultante del proceso matemático permite la clasificación de la calidad del agua según el rango de valor en el que se encuentre (Sanchez et al., 2007b). Se aplica la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.** *Formula empírica ICA- SÁNCHEZ.*

$$WQI = k \frac{\sum_i C_i P_i}{\sum_i P_i}$$

Fuente: (Sanchez et al., 2007b).

Donde:

$k$ : constante subjetiva clasificada con un valor máximo de 1 para aguas aparentemente de buena calidad y 0,25 para aguas aparentemente muy contaminada. La constante  $k$  no se ha considerado para no introducir una evaluación subjetiva.

$C_i$ : es el valor normalizado del parámetro

$P_i$ : es el peso relativo asignado a cada parámetro.

- Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col): Fue creado en Inglaterra en 1970 para evaluar la calidad del agua por medio de macroinvertebrados y su nivel de tolerancia a la contaminación (G. A. Roldan, 2003a). Este método se basa en datos cualitativos como presencia o ausencia y solo requiere la clasificación hasta familia, estableciendo valores de 1 a 10 según la sensibilidad de estas, siendo 1 el más tolerante y 10 el más sensible de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (López et al., 2005). En seguida se realiza la suma de los puntajes por familia encontrados en las zonas o puntos de muestreo y se compara con unos rangos diferenciados por colores establecidos en donde por medio del valor obtenido se califica la calidad y su significado sobre la calidad del agua.

**Ecuación 4. Fórmula del BMWP/Col**

$$BMWP = NT_1 + NT_2 + NT_3 + \dots + NT_n$$

Fuente: (G. A. Roldan, 2003b).

Donde:

$NT_n$  : Nivel de tolerancia de cada familia encontrada, y la suma de estos señala el estado de la calidad del agua

- Índice ETP (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera): Este método está dado por la riqueza según el número total de especies en tres órdenes de macroinvertebrados: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. El índice se establece en 4 rangos para determinar la calidad del agua donde se tienen en cuenta diferentes niveles de tolerancia a la contaminación (North Carolina Department of Environment, 1997).

**Ecuación 5. Fórmula Índice ETP**

$$ETP = \left( \frac{\sum_{i=1}^n Ti}{A} \right) * 100$$

Fuente: (Ayala Ramírez et al., 2019).

Donde:

Ti: Total de los individuos presentes de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera

A: Abundancia que se calcula sumando todos los individuos recogidos.

- Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA): Estos planes son instancias consultivas de los actores que se encargan de desarrollar actividades dentro de la cuenca hidrográfica, es creado con el fin de aportar información disponible para generar consensos sobre el aprovechamiento, manejo y conservación de la cuenca (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021b)
- Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH): Este instrumento de planificación influye en la administración del recurso hídrico superficial continental, donde se establece su uso, se

prioriza la conservar los ciclos biológicos y el desarrollo de las especies. Se compone de cuatro fases: Declaratoria, diagnóstico, identificación de los usos potenciales y la formulación del plan (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021a).

- Plan de Manejo Ambiental (PMA): Este plan es un conjunto de actividades para prevenir, mitigar, corregir o compensar los efectos e impactos ambientales que los cause alguna actividad o proyecto productivo, que se identificaron en la previa evaluación ambiental. Dentro del plan se incluye el monitoreo, seguimiento, contingencia y abandono dependiendo el proyecto o actividad (Minvivienda, 2021).
- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Expuesto por (Rouse et al., 1974), varía entre -1 y 1 que depende directamente de la ecuación infrarrojo-rojo/infrarrojo+rojo. Los valores de este índice son estimados del verdor de la cobertura que se obtienen mediante satélites, representando la salud vegetal de la zona (Manrique, 1999).
- Conductividad Eléctrica (CE): Es una medida de la propiedad que posee las soluciones acuosas con el fin de transmitir la corriente eléctrica. Este parámetro depende de la presencia de iones, concentración, movilidad, valencia y temperatura de la medición, para su respectiva medición en laboratorio, es la resistencia en ohmios y en el sistema internacional de unidades es equivalente a microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )(Sanabria Suarez, 2006).
- Potencial Hidrógeno (pH): El pH es un parámetro químico del agua, donde se expresa la concentración de ion hidrógeno, el cual posee dos rangos según los valores que se obtenga, como la condición ácida o alcalina de una solución, en el caso del agua para consumo humano es un factor de gran importancia ya que este debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos (Afanador B, 2007).
- Turbidez: Es un parámetro físico causado por materia suspendida y coloidal tal como la arcilla, materia orgánica e inorgánica, así como por los microorganismos. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Este parámetro es de gran importancia en la

caracterización de aguas para consumo humano y en industrias que se ocupan en el proceso de alimentos y bebidas(Carpio Galvan, 2007).

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** Hace referencia a la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica de forma aerobia. El cálculo se realiza por medio de la determinación del oxígeno inicial de la muestra y el resultante después de cinco días en una muestra similar preservada a 20 °C en un frasco cerrado. Su diferencia corresponde a la DBO<sub>5</sub> (Barrenechea Martel, 2004).
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos (Barrenechea Martel, 2004). Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (Hernández H, 2007).
- **Temperatura:** La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos. Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor (Aznar Jiménez, 2000).
- **Oxígeno Disuelto (OD):** El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es ligeramente soluble en el agua; la cantidad real de oxígeno que puede estar presente en la

solución está determinada por la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos). Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas (Gaitán, 2004).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente (Rodríguez M, 2007).
- **Alcalinidad:** La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes (Bojaca, 2005).
- **Amoniaco, Nitritos, Nitratos:** Uno de los nutrientes importantes para el desarrollo de la vida acuática es el nitrógeno. A nivel general, los cuerpos de agua poseen amoníaco, nitratos y nitritos. Si en un cuerpo de agua se presentan vertimientos de aguas residuales domésticas, se presentará el nitrógeno orgánico amoniacal y al momento de hacer contacto con el OD se oxida y transforma en nitritos y nitratos dependiendo de otros factores como la temperatura, el pH y la cantidad de oxígeno disuelto. Los **nitratos** ( $\text{NO}_3^-$ ) tienden a ser muy solubles en el agua por la polaridad del ion. Los nitratos por lo general se transforman por oxidación bacteriana del nitrógeno y así formando los **nitritos** ( $\text{NO}_2^-$ ) (Barrenechea Martel, 2004).

- Fosfatos: La presencia de estos nutrientes se relaciona con la eutrofización de las aguas, limitando el crecimiento de la flora acuática, causando problemas en los ecosistemas como la acumulación de sedimentos. Una de las fuentes principales de este contaminante en los cuerpos de agua son los vertimientos que presentan detergentes (Barrenechea Martel, 2004).

## LEGAL

De acuerdo con la normatividad vigente para la conservación del ambiente desde la Constitución Política de 1991 y las regulaciones establecidas por diferentes entidades gubernamentales y corporaciones se establecen las siguientes normas sobre la salud y calidad del recurso hídrico:

- **Decreto 1575 de 2007:** “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”(Decreto 1575 de 2007, 2007).
- **Decreto 3930 de 2010:** “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”(Decreto 3930 de 2010, 2010a).
- **Decreto 1594 de 1984:** “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos” (Decreto 1594 de 1984, 1984). Derogado por el **Decreto 3930 de 2010:** “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”(Decreto 3930 de 2010, 2010b).

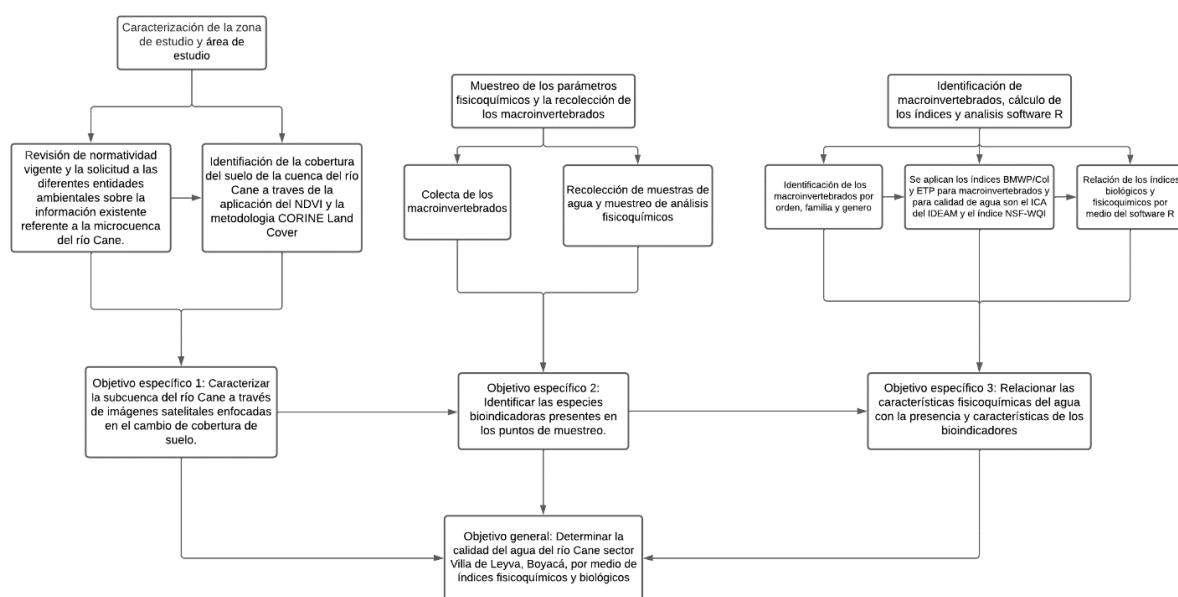
- **Resolución 2115 de 2007:** “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”(Resolución 2115 de 2007, 2007).
- **Resolución 0631 de 2015:** “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”(Resolución 0631 de 2015, 2015).

## METODOLOGÍA

### Diagrama metodológico

Para llevar a cabo el proyecto y teniendo en cuenta los objetivos planteados, se presenta de forma detallada el contenido de cada una de las tres etapas desarrolladas y el resultado a obtener de las mismas, como se observa a continuación:

**Ilustración 1.** *Diagrama metodológico.*



Fuente: Autoras

- **Primera etapa: Caracterización y área de estudio.**

En la etapa inicial se realizó una revisión de normatividad vigente y se solicitó a las diferentes entidades ambientales como Corpoboyacá, Parques Nacionales Naturales de Colombia y el IDEAM sobre la información existente referente a la microcuenca del río Cane. Esta información incluyó la consulta de los POMCAS, PORH, PMA, permisos, datos meteorológicos, entre otros; con la finalidad de identificar los usos de suelo e información disponible de esta área. Una vez recolectada la información se llevó a cabo una visita a la zona de estudio con el fin de establecer los puntos de muestreo, donde el criterio de escogencia fue la sección del cauce (parte baja, media y alta), los usos del suelo reportados, los usos del agua y la densidad poblacional de la cuenca.

#### *Área de estudio*

Los muestreos se realizaron en el año 2021 en el río Cane, municipio de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia, en tres puntos con las siguientes coordenadas:

Punto 1: N 05°40'49,3", W 73°29'0,25";

Punto 2: N 05°41'22,4", W 73°29'55,4";





Punto 3: N 05°41'50,8", W 73°30'48,6".

Además, se realizó la caracterización de la cuenca del río Cane a través de imágenes satelitales enfocadas en el cambio de cobertura de suelo, con el fin de identificar si los cambios de cobertura vegetal afectan la calidad del cauce. Se implementó un método de detección de cambios con base en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) analizando las imágenes satelitales captadas en diferentes años (Gandhi et al., 2015).

Para el proceso de caracterización de la cuenca se hizo en primer lugar la descarga de imágenes Landsat 8 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor (OLI/TIRS) Collection 2 Level-2 Science Products (L2SP) del Servicio Geológico de EE. UU. (USGS), a través de

EarthExplorer (Servicio Geológico de EE-UU, 2022b). El criterio de escogencia de estas imágenes se basó en el L2SP, porque son imágenes con escenas de reflectancia superficial y temperatura superficial con una resolución espacial de 30 m. Se obtuvieron 8 imágenes correspondientes al mes de enero entre los años 2015 y 2022, se le ejecutaron procesos de proyección de coordenadas, y corrección de errores geométricos, topográficos y atmosféricos mediante el software QGIS 3.16. Se trasladaron los datos al software ArcGIS 10.3.1 donde se realizaron los respectivos recortes de las bandas espectrales al contorno de la subcuenca Cane-Iguaque, se calculó el NDVI y se reclasificó en las categorías de la Tabla 1. Finalmente, se procedió a generar los mapas de las diferentes imágenes resultantes (Ordóñez Díaz et al., 2018).

**Tabla 1 . Clasificación del NDVI**

Rango	Clasificación	Color
-1 – 0	Suelo con poca cobertura vegetal	
0 – 0,33	Suelo con vegetación mixta	
0,33 – 0,66	Suelo con vegetación poco densa	
0,66 - 1	Suelo con vegetación densa	

Fuente: (Rincón Osorio, 2020).

Posteriormente, se clasificaron las coberturas con el Mapa de Coberturas de la Tierra según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 Periodo (2010-2012) 2014 y Periodo 2018 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG), 2022). La metodología tiene como propósito identificar la cubierta biofísica de la tierra a partir de la interpretación visual asistida por computador, en este caso también se tendrá en cuenta lo observado en campo (Suárez-Parra et al., 2016).

- **Segunda etapa: Monitoreo**

Esta etapa correspondió al muestreo en campo, la colecta de macroinvertebrados en los tres puntos, en tres periodos de tiempo. Posteriormente se realizó su identificación, por medio de diferentes guías (G. A. Roldan, 2003b) . Igualmente se hizo el muestreo de aguas para medición de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en los puntos seleccionados.

### *Colecta de los macroinvertebrados*

Para llevar a cabo la colecta con la mayor diversidad posible de macroinvertebrados, fue fundamental reconocer a detalle cada uno de los sitios de muestreo, con el fin de monitorear la mayoría de hábitats, es decir, sustrato de fondo, plantas acuáticas, raíces de árboles, etc. El esfuerzo de muestreo cubrió un área de 5 a 10 m<sup>2</sup>, con el fin de obtener resultados comparables.

Para el muestreo de los macroinvertebrados acuáticos se usaron métodos cualitativos y cuantitativos, y se tomaron dos o más réplicas, tratando de cubrir diferentes puntos de la sección transversal del curso hídrico. En zonas con sustratos pedregosos el método cualitativo a utilizar fue el de red de pantalla sujeta a cada lado por dos postes. Para realizar la colecta de muestra se sostuvo la malla sobre el fondo del afluente, mientras que otra persona removía el fondo en contra de la corriente para que los organismos quedaran atrapados en la malla con el sustrato. En cuanto al método cualitativo se recolectaron organismos por medio del levantamiento manual de rocas, troncos y hojas donde se encontraban adheridos y mediante el uso de pinzas de punta fina o pinceles para su recolección. Esto con el fin de determinar la diversidad de especies, pero no su abundancia por unidad de área.

Para tomar las muestras cuantitativas en sustratos pedregosos, se empleó la red Surber. Para la colecta se ubicó una persona en el lecho de la microcuenca y sobre la zona bentónica se removió el sustrato en contra de la corriente. Los organismos removidos quedaban atrapados en la red,

junto con una parte del sustrato. Una vez recolectados los macroinvertebrados acuáticos se fijaron en recipientes de vidrio rotulados con alcohol al 70%, se transportaron al laboratorio y realizaron los análisis respectivos.

### ***Recolección de muestras de agua y muestreo de análisis fisicoquímicos***

Para esta fase se tomaron las muestras para el análisis en laboratorio y se tomaron parámetros in situ con un multiparámetro.

La recolección de muestras integradas se realizó en cada punto a partir de un método manual directo para analizar los parámetros fisicoquímicos, obteniendo muestras de 1 litro mezclado de diferentes cantidades relacionadas a la velocidad del agua. En este proceso se utilizaron recipientes esterilizados para la recolección, se refrigeraron y se transportaron al laboratorio. En cuanto a las mediciones realizadas en campo se utilizó el multiparámetro de Hanna Instruments (HI 9829), midiendo parámetros como pH, potencial de óxido-reducción (ORP), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (STD), temperatura del agua y presión atmosférica.

Teniendo en cuenta la recolección en campo, se procedió a medir los parámetros en laboratorio: Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSed), Demanda Química de Oxígeno (DQO), E.coli, nitritos, nitratos, fosfatos y amoníaco. (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020).

Para la DQO se realizó el método adaptado por la EPA 410.4, donde en tubos sellados se calienta la muestra de agua en un bloque digestor con dicromato a 150°C y luego de dos horas se realiza la lectura espectrofotométricamente (US EPA, 1993). La E Coli se midió por el método Colilert, una tecnología de sustrato definido. Además, se usó el fotómetro de análisis de nutrientes de Hanna Instruments – HI83325 y (Hanna instruments, n.d.), para la medición de amoníaco de gama media por el método de Nessler adaptado del Manual de Tecnología del Agua y Medio Ambiente de la ASTM, el cual genera en la muestra un color amarillo. Los

fosfatos se midieron por el método adaptado del ácido ascórbico causando un color azul en la muestra. Los nitratos por el método adaptado de reducción de cadmio causando en la muestra un color ámbar y los nitritos por el método adaptado del sulfato ferroso. Se midieron sólidos suspendidos por el método de filtración y secado a una temperatura de 104-105°C (Catalina Gómez-Castañeda et al., 2020) y, por último, se midió la turbidez con un equipo Macherey Nagel Nanocolor VIS II, usando el método 906.

### *Aforo de caudales*

El caudal del río Cane fue medido por vadeo, mediante el método de área-velocidad usando un correntómetro, este método que mide velocidades puntuales en las secciones transversales del cuerpo de agua. Inicialmente, se mide transversalmente el río, se dividen en diferentes secciones, se mide la profundidad en cada una de ellas y por último, se mide la velocidad con el correntómetro (Adolfo González et al., 2015).

- **Tercera etapa: cálculo de los índices**

Una vez medidos los parámetros fisicoquímicos y realizada la identificación de los macroinvertebrados se calcularon los índices correspondientes.

Para el caso del Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA-IDEAM), se tomaron en cuenta 5 o 6 variables que conforman el cálculo del indicador con una ponderación para cada una de ellas.

**Tabla 2.** Variables del ICA-IDEAM y sus ponderaciones

Variable	Unidades	Peso de importancia 1 (ICA 5 variables)	Peso de importancia 2 (ICA 6 variables)
Oxígeno Disuelto - OD	% Saturación	0,2	0,17
Sólidos Suspendidos Totales - SST	mg/L	0,2	0,17
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg/L	0,2	0,17

Conductividad Eléctrica - CE	uS/cm	0,2	0,17
N total/ P total – NT/PT	mg/L/mg/L	--	0,17
pH	Unidades de pH	0,2	0,15

Fuente: (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020)

Para cada parámetro se establece una curva funcional donde cada curva representa la variación de la calidad del agua (de 0 a 1) con respecto a la proporción de cada uno de los contaminantes

### Cálculo de cada variable

A nivel general se ingresó la concentración de la variable  $i$  y se estimó el valor de  $I_{ikjt}$  (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020).

#### a. Oxígeno disuelto (OD):

Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto  $PS_{OD}$

**Ecuación 6.** *Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto*

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

Donde:

$O_x$ : Oxígeno disuelto medido en campo (mg/l).

$C_p$ : Concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l).

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, se calcula el subíndice del oxígeno disuelto  $I_{OD}$ .

**Ecuación 7.** *Subíndice del oxígeno disuelto  $I_{OD}$*

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Si el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor a 100%:

**Ecuación 8.** *Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto mayor a 100%*

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1)$$

#### b. Sólidos suspendidos totales (SST):

**Ecuación 9.** *Sólidos Suspendidos Totales*

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$$

Si  $SST \leq 4,5$ , entonces  $I_{SST} = 1$

Si  $SST \leq 320$ , entonces  $I_{SST} = 0$

**c. Demanda química de oxígeno (DQO):**

Si  $DQO \leq 20$ , entonces  $I_{DQO} = 0,91$

Si  $20 < DQO \leq 25$ , entonces  $I_{DQO} = 0,71$

Si  $25 < DQO \leq 40$ , entonces  $I_{DQO} = 0,51$

Si  $40 < DQO \leq 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,26$

Si  $DQO > 80$ , entonces  $I_{DQO} = 0,125$

**d. Conductividad eléctrica (C.E.):**

**Ecuación 10. Conductividad eléctrica**

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{Log}10C.E.)}$$

Cuando  $I_{C.E.} < 0$ , entonces  $I_{C.E.} = 0$

**e. pH:**

Si  $pH < 4$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$

Si  $4 \leq pH \leq 7$ , entonces  $I_{pH} = 0,02628419 * e^{(pH*0,520025)}$

Si  $7 < pH \leq 8$ , entonces  $I_{pH} = 1$

Si  $8 < pH \leq 11$ , entonces  $I_{pH} = 1 * e^{[(pH-8)*-5187742]}$

Si  $pH < 11$ , entonces  $I_{pH} = 0,1$

**f. Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT):**

Si  $15 \leq NT/PT \leq 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,8$






Si  $10 < NT/PT < 15$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,6$

Si  $5 < NT/PT \leq 10$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,35$

Si  $NT/PT \leq 5$ , o  $NT/PT > 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,15$

Los valores de 0 a 1 de la calidad del agua fueron clasificados en diferentes categorías asociadas a un color de señal de alerta como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Rangos de calificación del ICA-IDEAM

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Color
0,91 – 1	Buena	
0,71 - 0,9	Aceptable	
0,51 - 0,7	Regular	
0,26 - 0,5	Mala	
0 - 0,25	Muy mala	

Fuente: (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020)

El NSF-WQI usa 9 parámetros: DBO, DO, nitrato, fosfato total, temperatura, turbidez, sólidos totales, pH y coliformes fecales. Para este caso se diseñó una ponderación con 8 parámetros sin contar con coliformes fecales como se muestra a continuación:

**Tabla 4.** Puntuación para cada parámetro del NSF-WQI.

Puntuación original			Puntuación modificada		
No	Parámetro	Puntuación	No	Parámetro	Puntuación
1	DO	0,17	1	DO	0,20
2	pH	0,11	2	pH	0,13
3	DOB	0,11	3	DOB	0,13
4	Temperatura	0,10	4	Temperatura	0,12
5	Fosfato total	0,10	5	Fosfato total	0,12
6	Nitratos	0,10	6	Nitratos	0,12
7	Turbidez	0,08	7	Turbidez	0,10
8	Sólidos totales	0,07	8	Sólidos totales	0,08
9	Coliformes fecales	0,16	9	Coliformes fecales	--
Total		1	Total		1

Fuente:(Effendi et al., 2015b).

Los valores de los subíndices de cada parámetro se hallaron mediante las curvas funcionales que se observan en el documento de (Effendi et al., 2015b). Una vez obtenidos los puntajes y los valores de los subíndices se aplican en la *Ecuación 2* y se clasifican en 5 criterios.

**Tabla 5.** Criterios de clasificación NSF-WQI

Puntuación	Criterios
0-25	Muy mala

26-50	Mala
51-70	Media
71-90	Buena
91-100	Excelente

Fuente:(Effendi et al., 2015b)

Para determinar este índice, se asignó para cada parámetro obtenido de la muestra de agua, un valor de  $C_i$  establecido en una escala de 0 a 100 y un valor de  $P_i$  con un rango de 1 a 4 (Tabla 6); donde el valor de 4 pertenece a parámetros de gran importancia para la vida acuática (OD y SST) y 1 a parámetros con menor importancia (pH y la temperatura). De esta forma se aplicó la fórmula empírica y se clasificó la calidad del agua según los rangos establecidos (Tabla 7).

**Tabla 6.** Valores asignados de  $C_i$  y  $P_i$  según el parámetro del agua.

Parámetros	$P_i$	$C_i$										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
pH	1	7	7-8	7-8.5	7-9	6.5-7	6-9.5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
$k^b$	2	<0.7 5	<1.0 0	<1.25	<1.5 0	<2.0 0	<2.5 0	<3.0 0	<5.0 0	<8.0 0	<12. 00	>12. 00
SST	4	<20	<40	<60	<80	<10 0	<12 0	<16 0	<24 0	<32 0	<40 0	>40 0
Amm	3	<0.0 1	<0.0 5	<0.10	<0.2 0	<0.3 0	<0.4 0	<0.5 0	<0.7 5	<1.0 0	<1.2 5	>1.2 5
$\text{NO}_2^-$	2	<0.0 05	<0.0 1	<0.03	<0.0 5	<0.1 0	<0.1 5	<0.2 0	<0.2 5	<0.5 0	<1.0 0	>1.0 0
$\text{NO}_3^-$	2	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10. 0	<15. 0	<20. 0	<50. 0	<10 0.0	>10 0.0
$P_T$	1	<0.2	<1.6	<3.2	<6.4	<9.6	<16. 0	<32. 0	<64. 0	<96. 0	<16 0.0	>16 0.0
COD	3	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<10 0	<15 0	>15 0
$\text{DBO}_5$	3	<0.5	<2.0	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	<15	>15
OD	4	$\geq 7.5$	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	>1.0	<1.0
T	1	21/1 6	22/1 5	24/14	26/1 2	28/1 0	30/5	32/0	36/- 2	40/- 4	45/- 6	>45/ < - 6

a Todos los valores, excepto pH, en mg/l.

b Conductividad en mS/cm

Fuente: (Sanchez et al., 2007b).

**Tabla 7.** Criterios de clasificación ICA SÁNCHEZ

Rango de valores	Clasificación
0-25	Muy mala
25-50	Mala
51-70	Media

71-90	Buena
91-100	Excelente

Fuente: (Sanchez et al., 2007b)

El método BMWP/Col requiere la clasificación taxonómica hasta familia y datos cualitativos de presencia o ausencia, su puntaje varía de 1 a 10 dependiendo la tolerancia de las especies. Las familias Perlidae y Oligoneuriidae tienen un puntaje de 10 siendo las más sensibles y la familia Tubificidae la más tolerable a la contaminación con un puntaje de 1 (Tabla 8). La suma de los puntajes de las familias encontradas da como resultado el valor del índice BMWP y se clasifican en 5 rangos, asignado les un color a cada una como se observa en la Tabla 9 (G. A. Roldan, 2003b).

**Tabla 8.** Puntajes del BMWP por familia

<b>Familia</b>	<b>Puntaje</b>
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae</i>	4
<i>Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae</i>	3
<i>Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae.</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: (G. A. Roldan, 2003b).

**Tabla 9.** Rangos de calificación de la calidad del agua del índice BMWP/Col

Clase	Valor	Significado	Color
I	>120	Aguas limpias	Blue
	102-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	Green
III	36-60	Aguas contaminadas	Yellow
IV	16-35	Aguas muy contaminadas	Orange
V	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Red

Fuente: (G. A. Roldan, 2003b).

El método ETP se realizó tomando en cuenta los tres órdenes de macroinvertebrados (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera), debido a que son indicadores de buena calidad por su sensibilidad, el valor que se obtiene al aplicar la Ecuación 5, se compara con la siguiente tabla de clasificación (Álvarez Carrión & Pérez Rivera, 2007).

**Tabla 10.** Rangos de calificación de la calidad del agua del Índice ETP

Tipo	Rango (%)	Significado	Interpretación	Color
I	75-100	Muy buena	Sin impactos	Blue
II	50-74	Buena	Levemente impactada	Green
III	25-49	Regular	Moderadamente impactada	Yellow
IV	0-24	Mala	Severamente impactada	Red

Fuente: (Ayala Ramírez et al., 2019).

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

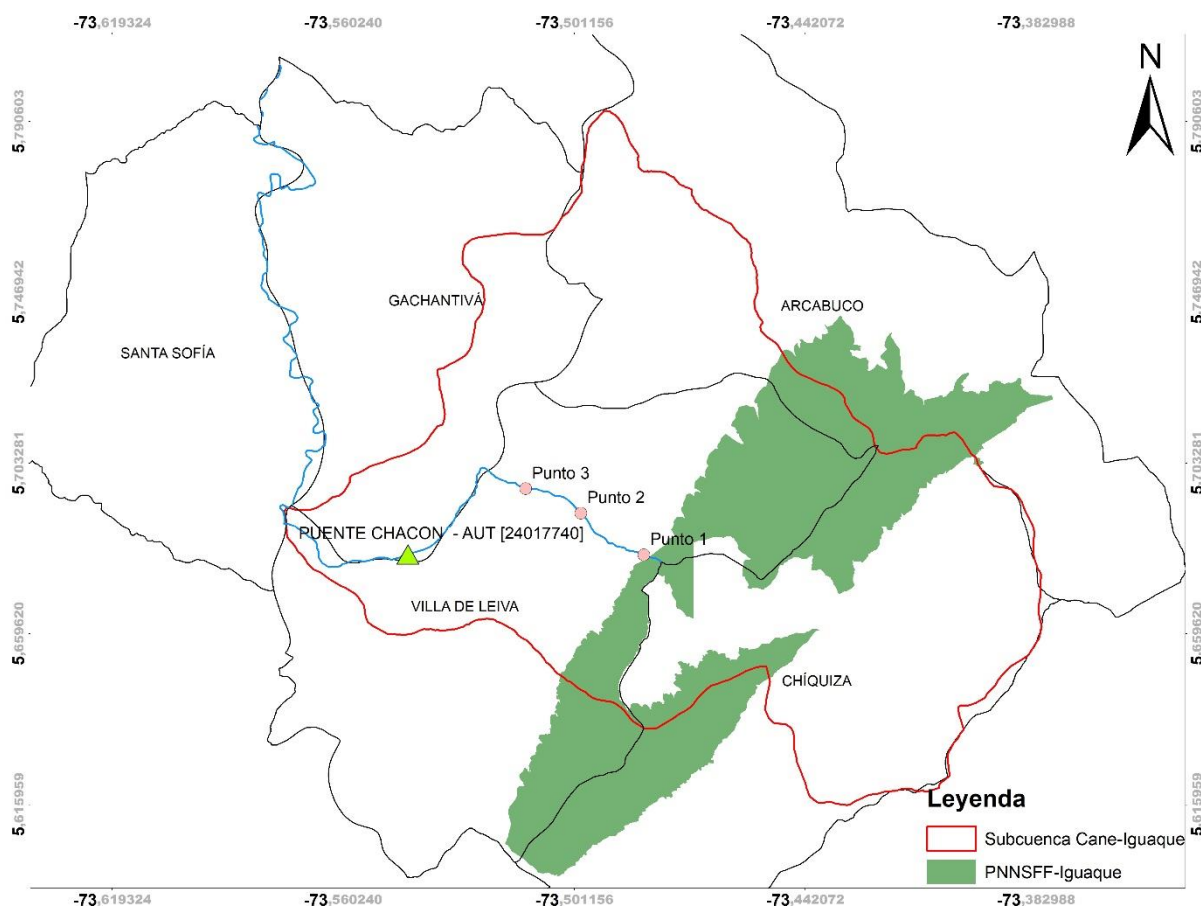
- **Primera etapa**

### *Datos meteorológicos*

Para el desarrollo de la primera etapa correspondiente a la caracterización y área de estudio, se procedió a analizar información obtenida de los caudales medios mensuales obtenidos de la base de datos “Consultas y Descarga de Datos Hidrometeorológicos” del IDEAM para la

estación hidrológica PUENTE CHACON - AUT [24017740] (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2022) entre los años de 2010 a 2015 y 2017 a 2019 durante los 12 meses del año, esto debido a la ausencia de datos en la estación para el año 2016 (*Ilustración 2*).

**Ilustración 2.** Mapa ubicación de la estación Limnigráfica Puente Chacon

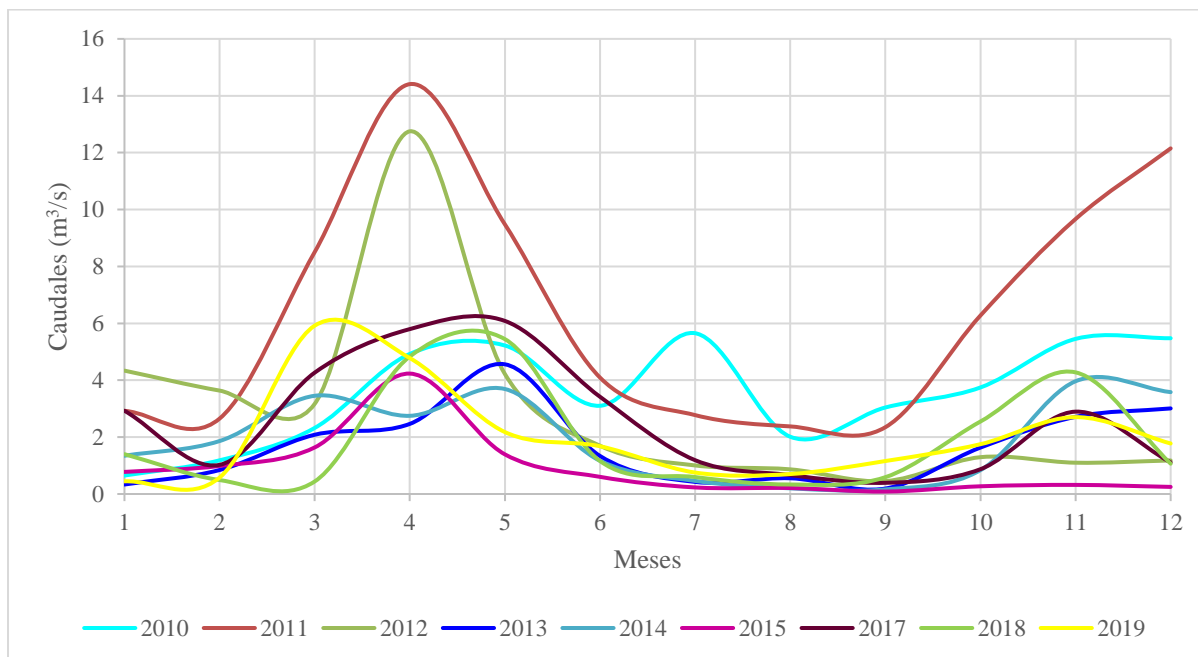


Fuente: Autoras, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, 2022), (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020).

Mediante los resultados de la curva de caudales medios mensuales y teniendo en cuenta que esta información representa el volumen promedio de agua que transita por una corriente durante un determinado tiempo, se identificaron y establecieron los meses para los tres monitoreos llevados a cabo en el año 2021, seleccionando en primer lugar el mes de junio como parte de la terminación de una temporada de lluvias, seguido por inicios del mes de septiembre

considerado como parte de épocas de sequía y finalmente el mes de diciembre identificado como épocas de lluvia (Gráfica 1).

**Gráfica 1.** Caudales medios mensuales 2010-2019.



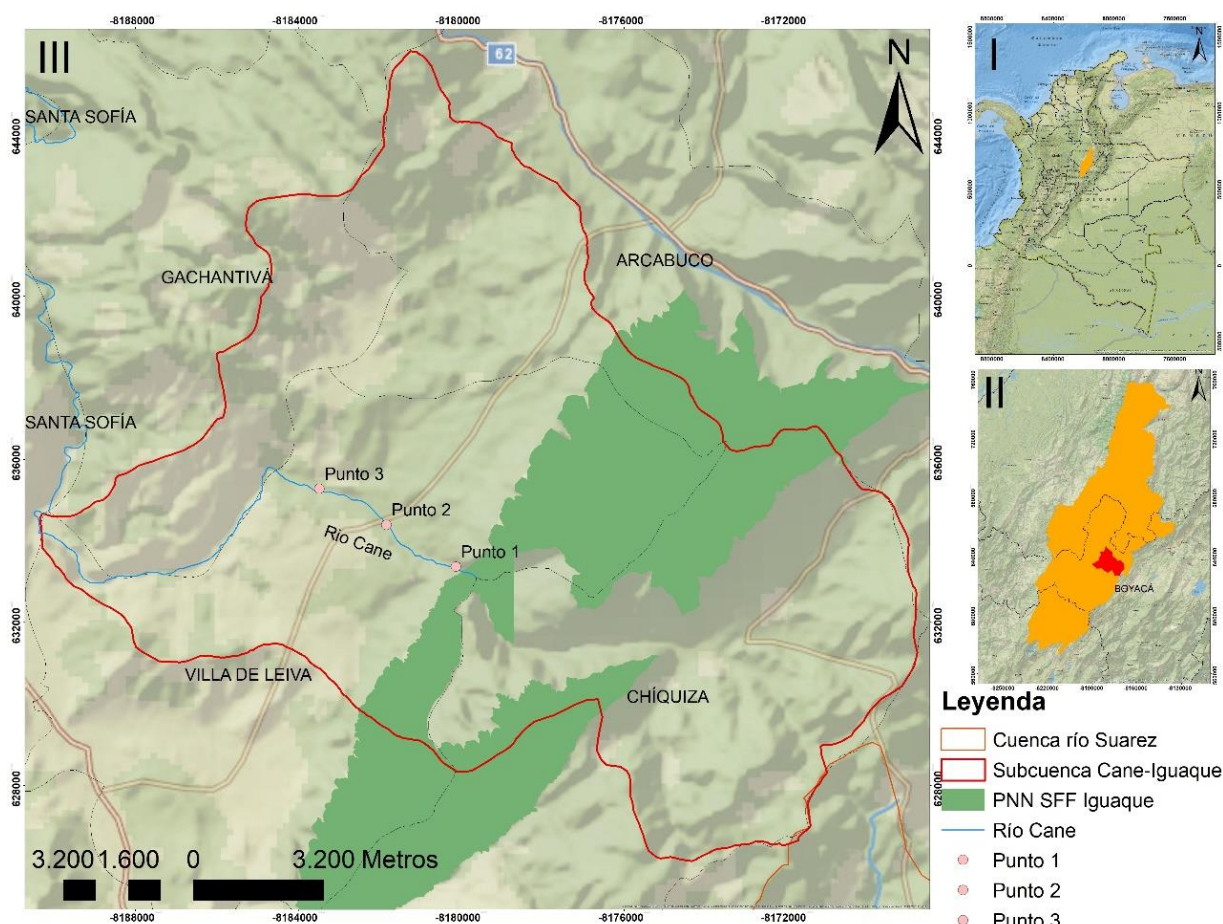
Fuente: Autoras, (Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2020).

### *Ubicación de la zona de estudio*

Una vez realizada la visita de campo a la zona de estudio se implementó como criterio de selección la verificación de las condiciones de los alrededores del río que permitieran el fácil acceso para realizar los monitoreos, y que cumpliera las condiciones para realizar el aforo de caudales de forma adecuada. De esta forma se seleccionaron tres puntos de muestreo, en los que se presumían diferentes condiciones de calidad del agua por las distintas características de su entorno. El primero con coordenadas N 05°40'49,3", W 73°29'0,25", ubicado en la parte alta con límites con el PNN Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, el cual presenta poca intervención antropogénica, sin embargo, en sus cercanías existe una captación de agua que abastece a una parte del municipio de Villa de Leyva. El segundo punto en la parte media de

la subcuenca a una distancia de 2118,2 m del punto 1 y con coordenadas N 05°41'22,4", W 73°29'55,4", se observa un crecimiento poblacional, actividades económicas como agricultura, ganadería y actividad hotelera y pequeños vertimientos sobre el río; y en las coordenadas N 05°41'50,8", W 73°30'48,6" esta el tercer punto ubicado en la parte baja antes de desembocar el río Moniquirá, a 1946,8 m del punto 2, se distingue por presentar viviendas contiguas al río y actividades agropecuarias.

**Ilustración 3.** *Ubicación de los puntos de muestreo. I. Cuenca del río Suarez, II. Subcuenca del río Cane-Iguaque, III. Tramo de estudio y puntos de monitoreo*



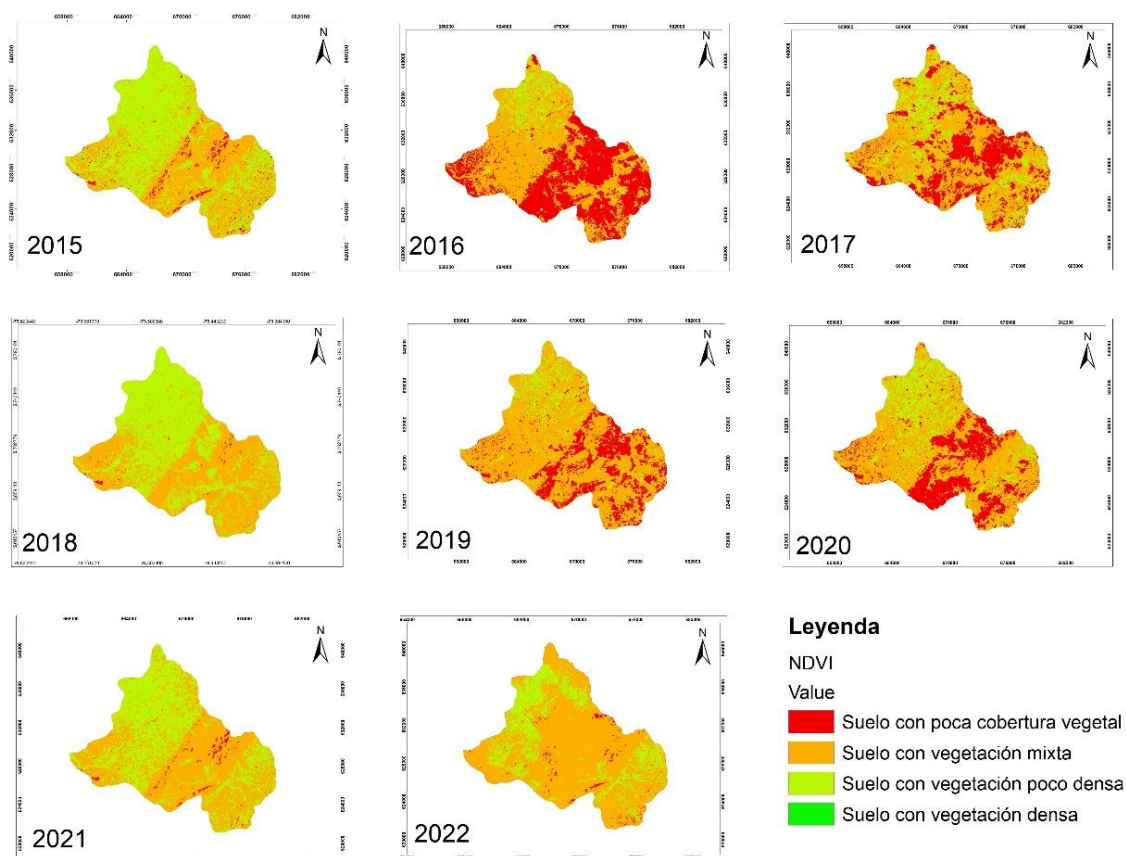
*Fuente: Autoras, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, 2022).*

### ***Cobertura uso del suelo y NDVI***

Una vez identificados los límites de la zona de muestreo se realizó la caracterización de la cuenca del río Cane mediante imágenes satelitales entre los años 2015 y 2022, Landsat 8

(OLI/TIRS) - L2SP del Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que permitieron identificar los cambios de cobertura vegetal como se evidencia en la Ilustración 4.

**Ilustración 4.** Comparación del NDVI en la zona de estudio para el periodo de tiempo entre 2015 - 2022.



Fuente: Autoras, (Servicio Geológico de EE-UU, 2022a).

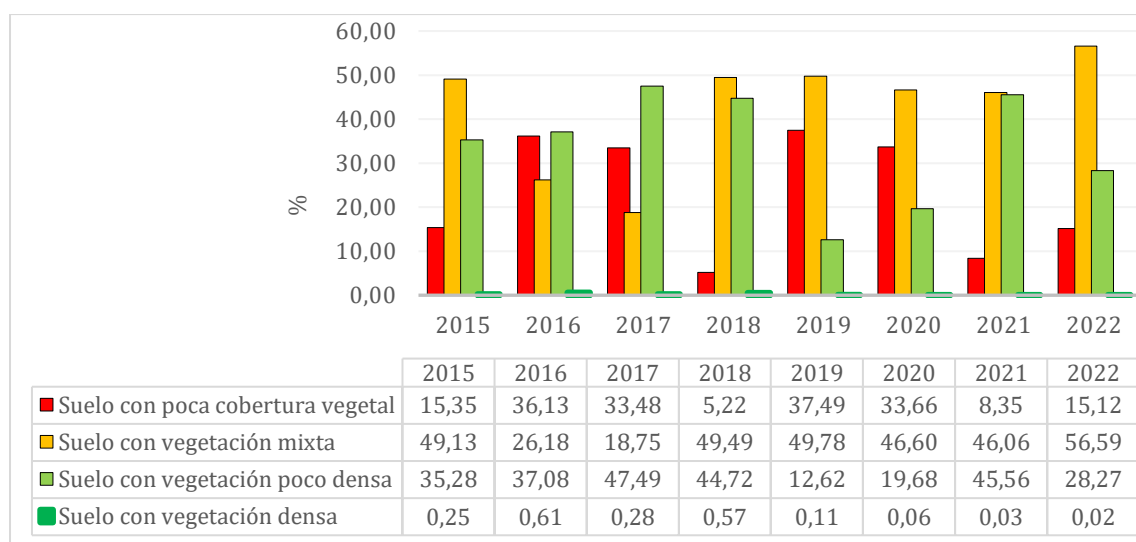
Para el año de 2015 la zona de estudio se encontraba mayormente dividida en suelos con vegetación poco densa con un 35,28% de la cobertura; suelos con vegetación mixta con un 49,13%, suelos con poca cobertura vegetal con un 15,35% y suelos con vegetación densa con un 0,25%. En este año en agosto se presentó un incendio forestal de gran magnitud el cual se ve reflejado en los registros de imágenes satelitales del año 2016 con un cambio en la cobertura a suelos con poca cobertura vegetal en un 36,13%, un 26,18% en suelos con vegetación mixta, suelos con vegetación poco densa con un 37,08% un 0,61% de suelos con vegetación densa.

A partir de este incidente se evidenció el inicio de un proceso de rehabilitación en el año 2017 que permitió mejorar las condiciones de la cobertura del suelo como es el incremento de suelos con vegetación poco densa a un 47,49% y la disminución en suelos con poca cobertura vegetal a un 33,48%; este proceso se reflejó en el año 2018 donde se presentaron suelos con vegetación mixta en un 49,49% y suelos con vegetación poco densa con un 44,72%.

Nuevamente para el año 2019 a mediados de año se presentó un incendio forestal reflejado en las imágenes satelitales de este año y del año 2020 con afectaciones a las coberturas, generando suelos con poca cobertura vegetal del 37,49% y 33,66%; suelos con vegetación poco densa del 12,62% y 19,68% respectivamente.

Luego, para el año 2021 se ve la mejora en las coberturas al presentar un aumento en los suelos con vegetación poco densa del 45,56%, manteniendo casi en igual porcentaje los suelos con vegetación mixta del 46,06% y reduciendo en gran valor los suelos con poca cobertura vegetal a un 8,35% después de la ocurrencia de los incendios forestales. Finalmente, en el año 2022 se tiene en proporciones pequeñas los suelos con poca cobertura vegetal con un 15,12%, se aumentan los suelos con vegetación mixta a un 56,59% y se redujeron los suelos con vegetación poco densa a un 28,27%.

**Gráfica 2.** Comparación de la clasificación del NDVI para el periodo de tiempo entre 2015 – 2022



Fuente: Autoras

Para el proceso de identificación y análisis de las coberturas del suelo presentes en la zona de estudio, se realizó el procesamiento por medio del software ArcGIS 10.3.1 de diferentes shapefiles obtenidos de la base de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del año de 2012 y 2018 en vista a que únicamente fue encontrada esta información debido a la falta de actualización de las bases de datos.

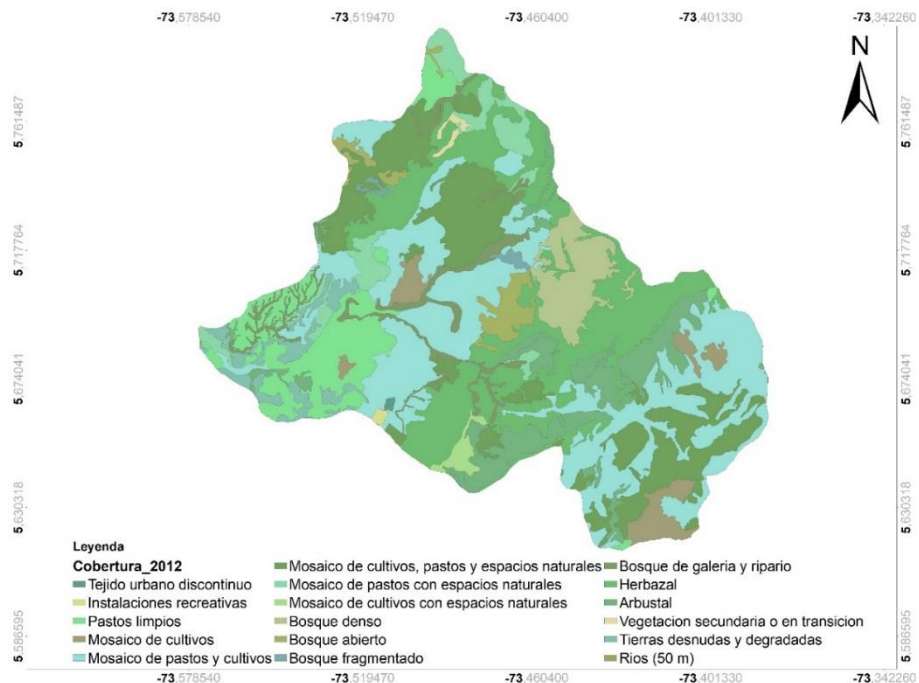
Además, se tuvo en cuenta la metodología CORINE Land Cover, proveniente de Francia y la cual fue adaptada por el IGAC y el IDEAM para Colombia. El procesamiento de las diferentes imágenes Landsat durante estos periodos de tiempo, permitió evidenciar mediante la construcción de mapas los cambios existentes demostrados por polígonos, líneas y puntos en las coberturas del suelo de la zona de estudio. Por medio de estas, se obtuvo información sobre los recursos naturales, la extensión que estos poseen, la dinámica de las coberturas terrestres, entre otros. Esta, dentro de una clasificación jerárquica comprendida por territorios artificializados, zonas agrícolas, áreas forestales y áreas seminaturales; las áreas húmedas y superficies de agua (Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC, 2015; Suárez-Parra et al., 2016).

De esta forma, se determinó que los tipos de cobertura con mayor frecuencia para el año 2012 fueron áreas herbazales con un 26,97%, seguido por mosaicos de pastos y cultivos con un 16,63%, áreas de bosques abiertos con un 14,10%, pastos limpios con un 11,60% y el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales con un 11,37%. Por otra parte, los tipos de cobertura con menor presencia fue la vegetación secundaria o en transición con un 0,13%, bosques fragmentados con un 0,18%, las zonas con instalaciones recreativas con un 0,06%, el tejido urbano discontinuo con un 0,04% y la presencia de ríos de 50m con un 0,08%

En cuanto al año 2018 las coberturas más frecuentes fueron los pastos limpios con un 24,43%, el mosaico de pastos y cultivos con un 22,17%, la presencia de ríos con un 13,58% y zona

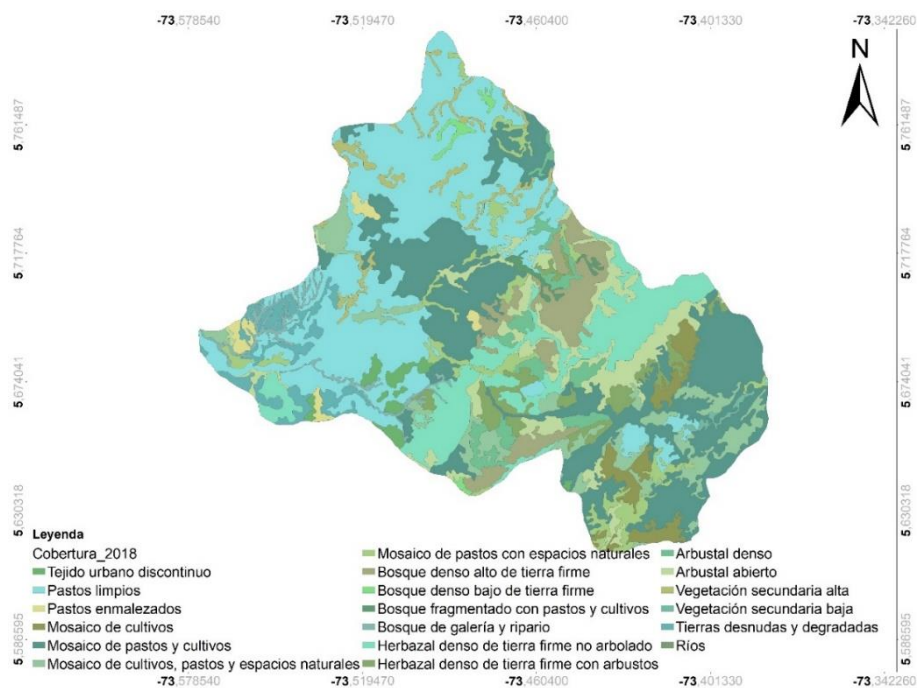
herbazal densa de tierra firme no arbolado con un 10,14%; a diferencia del porcentaje presentado por coberturas de bosques fragmentados con pastos y cultivos con un 0,25%, los pastos enmalezados con un 0,60% y por último los bosques de galería y ripario con un 0,75%.

**Ilustración 5.** Cobertura por metodología CORINE Land Cover para el año 2012



Fuente: Autoras, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG), 2022)

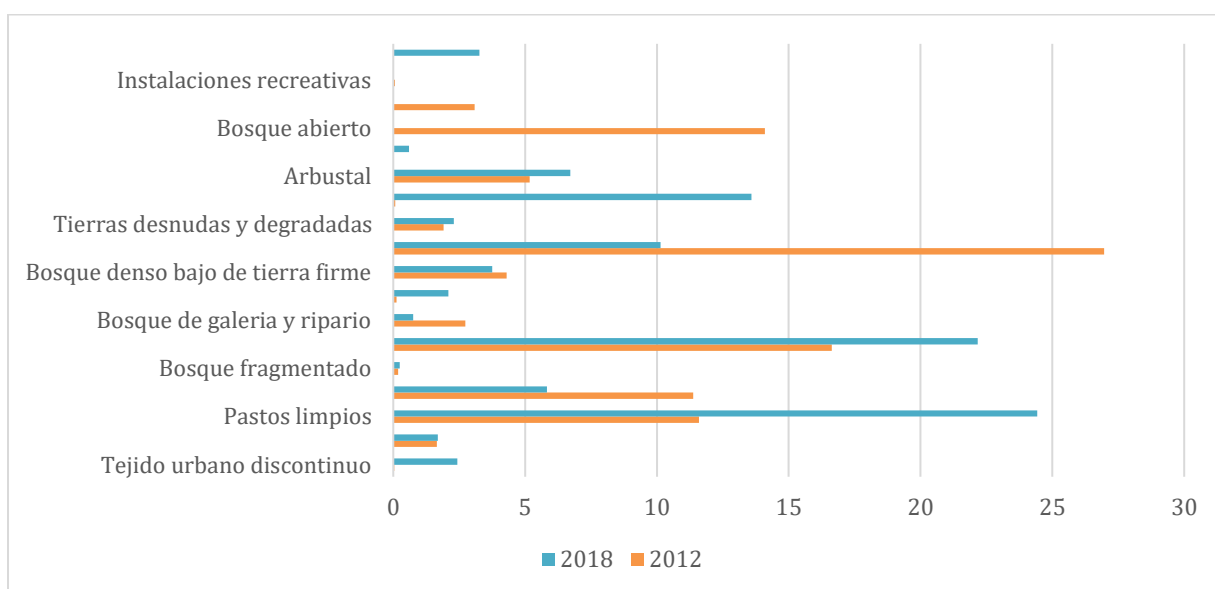
**Ilustración 6.** Cobertura por metodología CORINE Land Cover para el año 2018



Fuente: Autoras, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG), 2022).

De igual manera, se establecieron los cambios que ocurren en las coberturas entre los años 2012 y 2018, encontrando grandes variaciones en las coberturas, por ejemplo, el herbazal tubo un cambio de 26,97% a 10,14% en solo 6 años, de igual manera variaron los pastos limpios de 24,43% a 11,6%. Por el contrario, los bosques densos no cambiaron significativamente, pasando de 4,3% a 3,7%. Además, coincide con el POMCA del 2015 donde determinaron los suelos por aptitud y conflictos de uso, se presentan coberturas vegetales de bosques húmedos montano y bosques secos montano bajo, pastos y vegetación arbórea; coberturas similares a las que se aprecian en los mapas anteriores (*Ilustración 5* y *Ilustración 6*). También, con base en lo identificado en las visitas de campo, se contemplaron coberturas de pastos, herbazales, áreas arbóreas y arbustivas. De lo que se concluye que, la variación de las coberturas no fue mayor en todas las clasificaciones y por ende se mantuvieron algunos porcentajes. Sin embargo, las que tuvieron cambios extremos pueden estar relacionadas con el aumento en actividades productivas o incluso se vieron afectadas con los incendios forestales que se presentaron en los diferentes años como se identificaron con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

**Gráfica 3.** Comparación de la clasificación de la metodología CORINE Land Cover para los periodos de tiempo 2012 – 2018



Fuente: Autoras

- **Segunda etapa**

Para el desarrollo de la segunda etapa de la investigación correspondiente al monitoreo y visita de campo, se realizó en primer lugar un reconocimiento de la zona y se establecieron los puntos de muestreo con la toma de las coordenadas geográficas.

**Ilustración 7.** Zona de muestreo y registro de coordenadas.



Fuente: Autoras

### ***Macroinvertebrados***

La etapa correspondiente a los macroinvertebrados se dividió en 2 secciones, la primera enfocada en la colecta de los individuos en campo y la segunda el proceso de identificación y clasificación taxonómica en laboratorio. En la primera sección se realizó la recolección por medio de instrumentos como la red tipo D, red Surber y el esfuerzo de muestreo manual en sustratos de fondo, plantas acuáticas, raíces, rocas, etc. Mediante el uso de pinzas de punta fina o pinceles se procedió a fijar los macroinvertebrados en envases de vidrio con alcohol al 70%, estos envases previamente rotulados con el nombre del punto de muestreo para ser transportados a laboratorio y realizar el análisis correspondiente.

**Ilustración 8.** Registro fotográfico recolección de macroinvertebrados en campo.



Fuente: Autoras

Para conocer a detalle las características físicas de los individuos recolectados correspondiente a la segunda sección de identificación y clasificación taxonómica, se hizo uso del equipo estereoscopio, pinzas de punta fina y la “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia” de Gabriel Roldán Pérez. De esta forma se contabilizaron un total de 537 individuos clasificados en 8 órdenes, 16 familias y 18 géneros, además, se especificó en qué punto de muestreo fue recolectado el individuo para cada uno de los monitoreos Anexo 1.

**Ilustración 9.** Registro fotográfico identificación de macroinvertebrados en laboratorio.



Fuente: Autoras

**Aforo de caudales**

Por otra parte, en cuanto a las condiciones físicas del río se realizó el aforo de caudales con la ayuda de cintas métricas, jalones y caudalímetros como se muestra en la Ilustración 10. Luego se procedió a hacer una división en cada uno de los puntos de muestreo, del ancho del río de 3

a 5 secciones según sus condiciones; con el fin de obtener los valores de las áreas ( $m^2$ ) y velocidades ( $m/s$ ) que permitieron realizar el cálculo de caudales para cada punto como se evidencia en la

Tabla 11.

**Ilustración 10. Aforo de caudales.**



Fuente: Autoras

**Tabla 11. Cálculo de caudales.**

	JUNIO 2021			SEPTIEMBRE 2021				DICIEMBRE 2021			
<b>Punto 1</b>											
Sección	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	
Área ( $m^2$ )	0,48	0,82	0,50	0,42	0,40	0,38	0,35	0,16	0,17	0,17	
V ( $m/s$ )	0,15	0,25	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	1	0,8	0,4	
Q ( $m^3/s$ )	0,07	0,20	0,10	0,08	0,16	0,11	0,07	0,16	0,13	0,06	
Q ( $m^3/s$ )	<b>0,4</b>			<b>0,43</b>				<b>0,371</b>			
<b>Punto 2</b>											
Sección	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3
Área ( $m^2$ )	0,50	0,38	0,44	0,20	0,56	0,62	0,68	0,78	0,35	0,4	0,4
V ( $m/s$ )	0,8	0,7	0,5	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3
Q ( $m^3/s$ )	0,40	0,26	0,22	0,02	0,16	0,12	0,06	0,15	0,10	0,16	0,12
Q ( $m^3/s$ )	<b>0,9</b>			<b>0,54</b>				<b>0,39</b>			
<b>Punto 3</b>											
Sección	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
Área ( $m^2$ )	0,49	0,49	0,36	0,79	0,35	0,24	0,22	0,17	0,52	0,57	0,35

V (m/s)	0,35	1	0,7	0,3	0,4	0,6	0,3	0,1	1,2	0,1	0,1
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,17	0,49	0,25	0,23	0,14	0,14	0,06	0,01	0,62	0,05	0,03
Q (m <sup>3</sup> /s)	0,9			0,59				0,734			

Fuente: Autoras.

La medición de caudales es un factor importante en el estudio debido a que la velocidad, la profundidad y el ancho afectan la dispersión de los contaminantes. Se observó que en cada punto disminuyó el caudal a medida que se hicieron los monitoreos por los niveles de lluvia, siendo en junio mayores y menores en diciembre. Teniendo en cuenta la información de caudales medios de la estación limnigráfica Puente Chacon y que se ubica aguas abajo del tramo de estudio se presentan en promedio caudales para el mes de junio de 0,6 m<sup>3</sup>/s a 2,028 m<sup>3</sup>/s, siendo más altos de los tomados en campo con los métodos ya mencionados; para el mes de septiembre se obtuvieron caudales en campo entre 0,43 y 0,59 m<sup>3</sup>/s y al compararlos con la información del IDEAM no se observa gran diferencia en los datos debido a que existen datos de caudales de 0,085 a 0,936 m<sup>3</sup>/s entre los años 2010 y 2019; por último, para el mes de diciembre en la estación se presentaron caudales de 0,249 a 2,288 m<sup>3</sup>/s y en el estudio 0,371 a 0,734 m<sup>3</sup>/s, lo que demuestra que en promedio no hay mayor diferencia en los datos de caudales.

### ***Parámetros fisicoquímicos***

En cuanto a la etapa correspondiente a la recolección de muestras de agua y muestreo de análisis fisicoquímico se dividió en 2 secciones de las cuales la primera se llevó a cabo en campo Ilustración 11 y la segunda sección en laboratorio Ilustración 12. Obteniendo de esta forma los siguientes resultados clasificados según el resumen sobre las características físicas, químicas y biológicas del agua en el documento de “Calidad del agua – Evaluación y diagnósticos” (Sierra Ramírez, 2011). Los parámetros presentaron diferencias en el tiempo y en el espacio por las características que presenta cada punto, incluyendo los impactos como se observa en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Clasificación por características físicas, químicas y biológicas del agua.

Características		Junio 2021			Septiembre 2021			Diciembre 2021		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Bacteriológicos	Coliformes totales (NMP/100 ml)	>2419,8	>2419,9	>2419,1	2419,6	2419,6	>2419,6	1425,0	2560,0	2140,0
	E Coli (NMP/100 ml)	186,0	298,7	313,0	67,7	107,6	129,6	315	480	260
Organolépticos	Turbidez (NTU)	6,7	1,8	1,4	12,7	8,1	4,5	6,4	3,4	5,4
Físicos	pH	6,7	7,1	6,7	7,4	7,5	6,5	6,1	5,4	5,3
	T (°C)	15,2	14,2	15,5	13,9	15,3	18,9	15,9	15,8	15,5
	Cond (MicroS/cm)	67,0	68,0	64,3	72,0	66,0	79,0	58,0	52,0	52,0
	TDS (mg/L)	33,0	34,0	34,0	36,0	32,0	39,0	29,0	26,0	26,0
	SSED (mg/L)	0,1	0,3	0,3	36,0	32,0	39,0	0,2	0,4	0,1
	SST (mg/L)	50	10	50	10	170	140	253	231	194
	P (PSI)	11,1	11,3	11,3	11,1	11,2	10,7	11,1	11,4	11,4
Químicos básicos	DQO (mg/L)	10,0	70,0	76,0	20,0	66,0	81,0	21,0	41,0	62,0
	Fosfato (mg/L)	1,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
	Hierro (mg/L)	0,5	0,1	0,1	0,3	0,7	0,7	0,3	0,3	0,4
	Nitritos (mg/L)	8,0	7,0	5,0	3,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	Nitratos (mg/L)	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1
	OD (mg/L)	6,5	6,3	6,1	5,0	4,9	3,0	6,5	3,4	2,0
	OD (% sat)	81,0	80,0	79,3	66,9	62,6	45,2	86,6	40,8	25,4
	ORP (mV)	227,3	70,9	73,7	112,9	89,6	74,7	226,0	211,5	190,4
Metales pesados	Amoniaco (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1
	Cromo (µg/L)	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	0,0 o <0,1	7,0	8,0	6,0	3,0	0,0 o <0,1	4,0

Fuente: Autoras.

**Ilustración 11.** *Medición de parámetros fisicoquímicos en campo.*



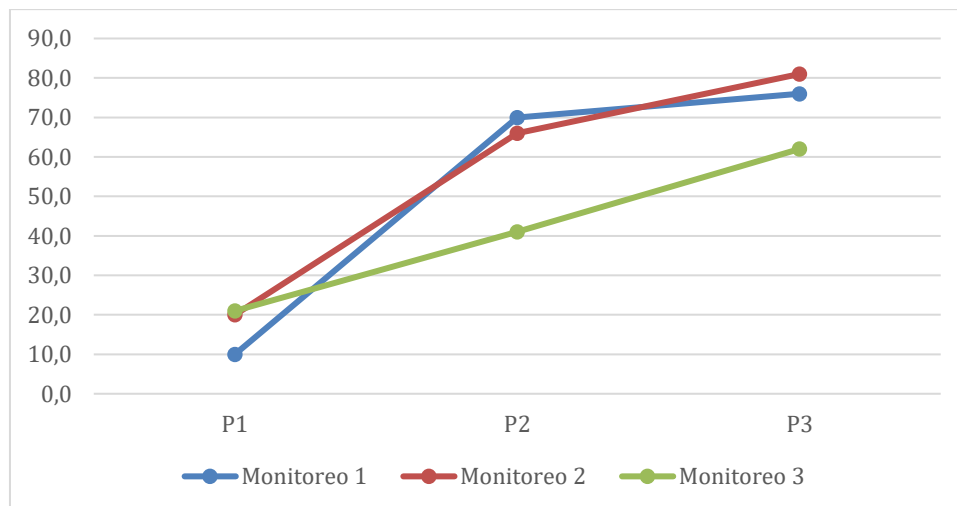
Fuente: Autoras

**Ilustración 12.** *Medición de parámetros fisicoquímicos en laboratorio.*



Fuente: Autoras

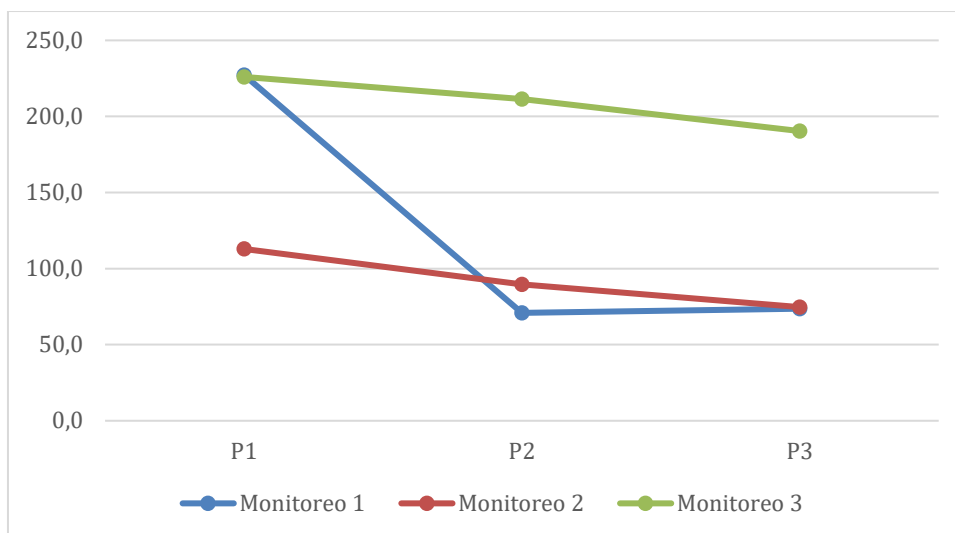
Algunos de los parámetros medidos de mayor importancia en los diferentes monitoreos fueron la DQO, el potencial de óxido reducción y el oxígeno disuelto. En cuanto a la DQO, se obtuvieron promedios de 17 mg/L, 59 mg/L y 73 mg/L en los puntos 1, 2 y 3 respectivamente, evidenciado que la materia orgánica contaminante aumenta a lo largo del cauce, impactando 4 veces más el tercer punto que el primero.

**Gráfica 4.** *Demanda Química de Oxígeno*

Fuente: Autoras.

Por otro lado, el ORP que es un parámetro que indica los tipos de compuestos químicos que están en el río, presentó un valor promedio para el punto uno de 188,7 mV siendo el máximo, se redujo a 124 mV para el punto 2 y 112,9 mV para el tercer punto; estos son valores bajos, lo que indican que se presentan condiciones de oxidación, por lo tanto compuestos como el nitrógeno están de la forma de nitritos y amoniacos, coincidiendo con sus valores. Las condiciones fueron levemente reductoras con bajos niveles de oxígeno; y en el caso del nitrógeno, ausencia de nitratos.

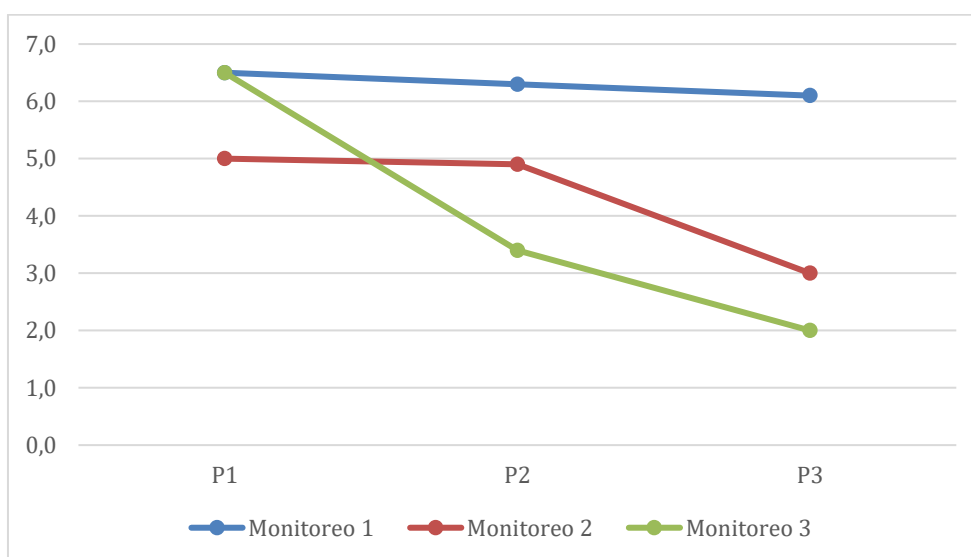
**Gráfica 5.** *Potencial de oxido reducción*



Fuente: Autoras.

Por último, los valores de oxígeno disuelto en promedio variaron de 6,0 mg/L, 4,9 mg/L y 3,7 mg/L para el punto 1, 2 y 3 respectivamente, considerando el decreto 3930 de 2010 establece un valor mínimo de 5,0 mg/L para preservar la flora y fauna de los ecosistemas de aguas frías dulces, donde los puntos 2 y 3 en los monitoreos de septiembre y diciembre no cumplen con este uso. Además, el porcentaje mínimo de oxígeno disuelto para uso recreativo primario y secundario es de 70% y teniendo en cuenta los resultados de la *Tabla 12* solo existe la posibilidad de este uso para el primer punto.

**Gráfica 6. Oxígeno Disuelto**



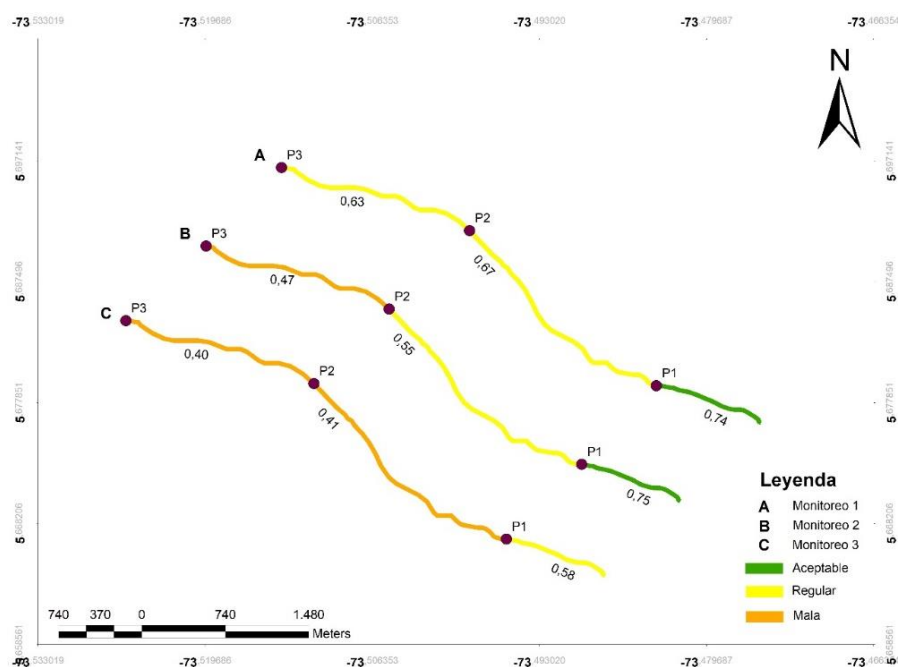
Fuente: Autoras.

- Tercera etapa

### *Índices de calidad de agua con parámetros fisicoquímicos*

Una vez analizados los parámetros individualmente se aplicaron los diferentes índices fisicoquímicos. Para el ICA-IDEAM como se evidencia en la **Ilustración 13**, el monitoreo 1 da una calidad aceptable con un valor de 0,74 y para los puntos 2 y 3 regular con valores de 0,67 y 0,63 respectivamente. Para el monitoreo número 2 se observan tres clasificaciones, el punto uno presenta una calidad aceptable con un valor de 0,75, el punto 2 con un valor de 0,55 clasificándose en regular y en el tercer punto una clasificación de mala equivalente a 0,47. Por último, para el tercer monitoreo calidad regular para el punto 1 y mala para punto 2 y 3.

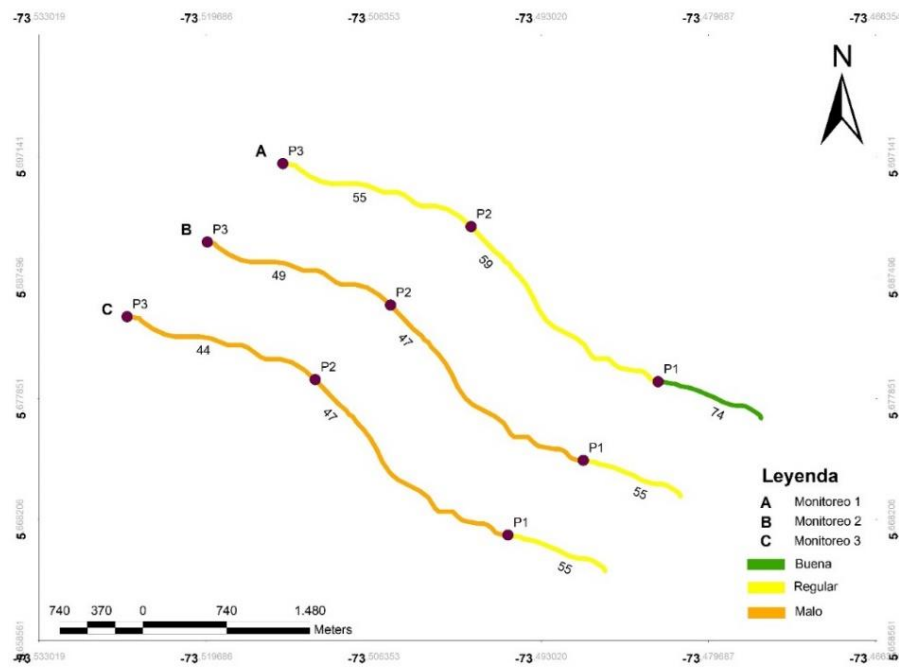
**Ilustración 13.** ICA-IDEAM de la subcuenca del río Cane



Fuente: Autoras

En el caso del índice basado en estándares europeos se observaron tres clasificaciones, similares a las del ICA-IDEAM. En el monitoreo uno se presentaron calidades buenas y regulares según la clasificación de la **Tabla 7** y para el monitoreo 2 y 3, calidad regular para el primer punto y mala para el punto 2 y 3.

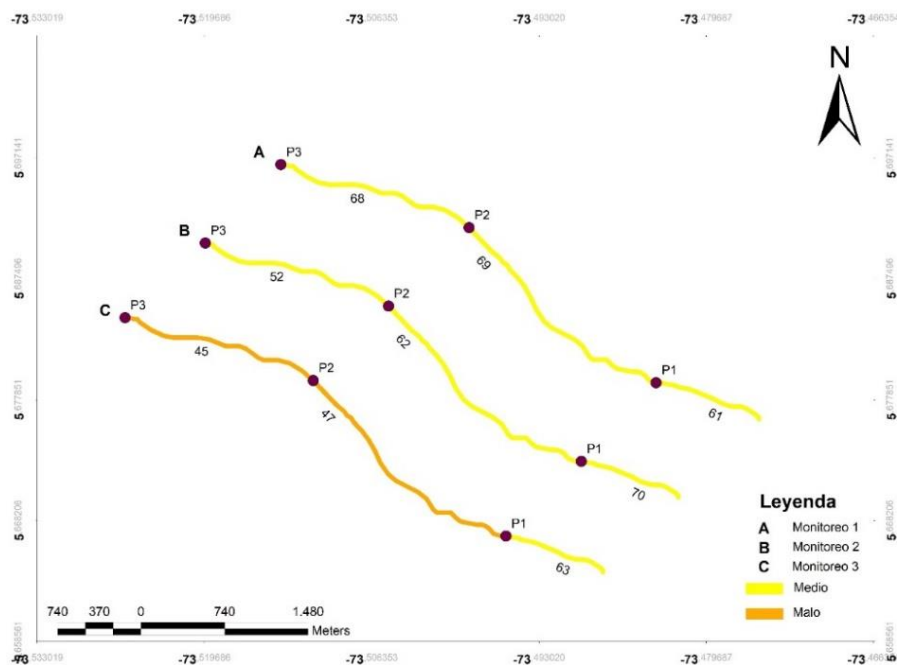
**Ilustración 14.** ICA basado en estándares europeos de la subcuenca del río Cane



Fuente: Autoras

Por último, para el índice NSF se presentó una calidad media para los tres puntos en los monitoreos 1 y 2, y el monitoreo 3 presentó calidad media en el punto 1 y mala para los puntos 2 y 3.

**Ilustración 15.** NSF de la subcuenca del río Cane



Fuente: Autoras

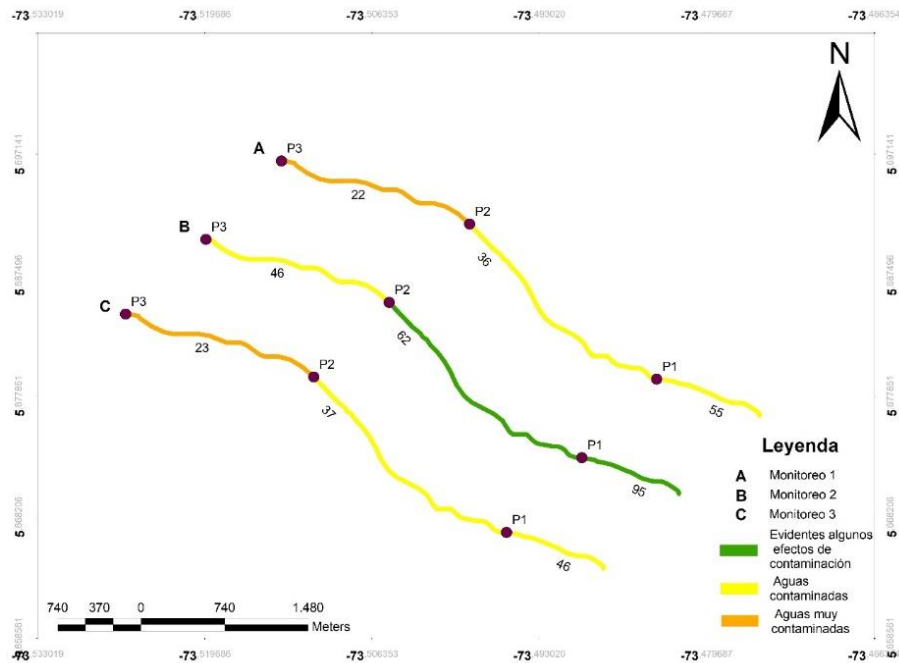
A nivel general se deduce que en el monitoreo 1 la calidad del agua fue la mejor en los tres puntos, teniendo en cuenta los caudales anteriores. Los índices del IDEAM y ICA basados en estándares europeos arrojaron valores con estrechas variaciones en la calidad del agua a diferencia del NSF. Además, se concluyó que el punto que presentó mejor calidad de agua es el 1 y la calidad de los puntos 2 y 3 tiende a ser muy similar en los tres índices.

### ***Índices de calidad de agua con macroinvertebrados***

Teniendo en cuenta la clasificación de los macroinvertebrados acuáticos del Anexo 1, se registró el máximo número de individuos en el monitoreo de septiembre debido al esfuerzo de monitoreo, las condiciones ambientales y se calcularon los índices biológicos.

En el índice BMWP/COL el monitoreo con mejor calidad del agua fue el segundo por lo anteriormente mencionado, donde se encontraron especies que solo se encontraron en ese monitoreo y donde se concluyó que es el de las características más concretas y relacionadas con los parámetros fisicoquímicos del agua. En cuanto al monitoreo 1 y 3 se presentan dos calidades, para los puntos 1 y 2 se presentaron aguas contaminadas y el tercer punto son aguas muy contaminadas.

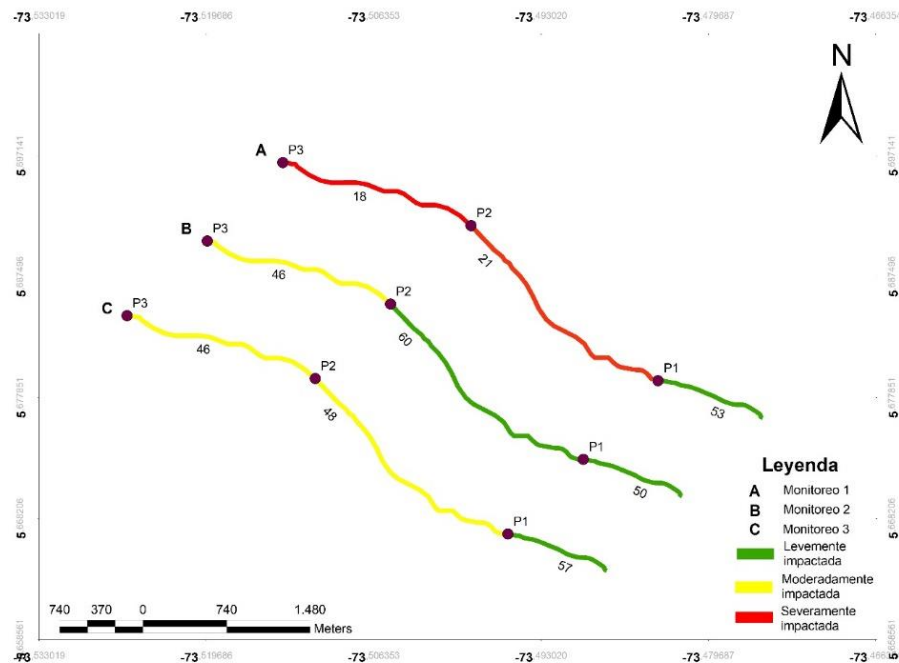
**Ilustración 16.** *BMWP/COL de la subcuenca del río Cane*



Fuente: Autoras

Por otra parte, el índice ETP obtuvo 206 individuos para el orden Trichoptera, 153 para Diptera y Ephemeroptera 115 individuos. Este índice dio como resultado una buena calidad o levemente impactada para el punto 1 en los diferentes monitoreos. Para el punto dos presentó 3 calidades diferentes en los tres monitoreos y el punto número 3 en el monitoreo 1 fue severamente impactada y para el monitoreo 2 y 3 fue moderadamente impactada. A nivel general, los resultados son más acertados por el seguimiento y coinciden con los parámetros fisicoquímicos y sus índices calculados.

**Ilustración 17.** ETP de la subcuenca del río Cane



Fuente: Autoras

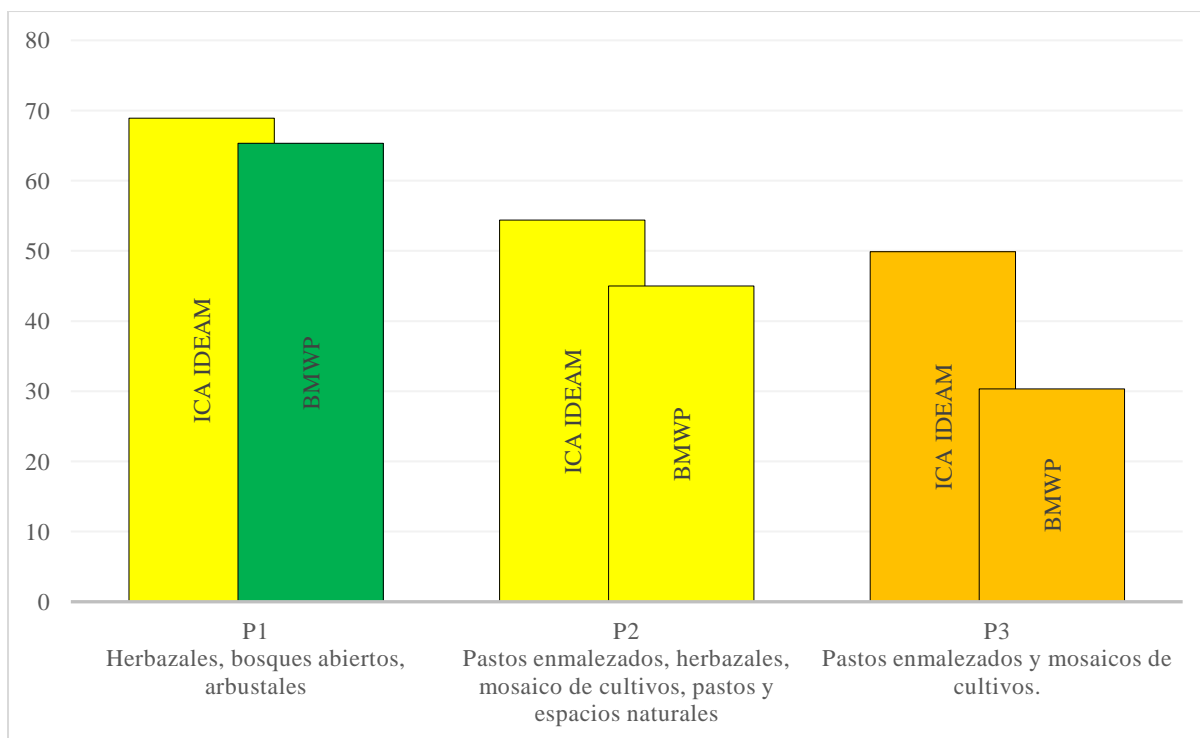
### ***Relación entre índices fisicoquímicos, biológicos y la cobertura vegetal***

Se han realizado estudios donde tratan de buscar la relación entre los índices fisicoquímicos y biológicos para una determinación de la calidad más acertada, algunos de estos estudios han encontrado la relación con ayuda del diagrama de caja. Sin embargo, para el desarrollo del trabajo de grado se relacionaron los resultados obtenidos sobre la calidad del agua según parámetros fisicoquímicos, la calidad del agua mediante macroinvertebrados y las condiciones de las coberturas vegetales en el área de estudio y se procede a analizar de forma conjunta esta información.

En la relación del ICA-IDEAM y BMWP se puede observar que la variabilidad en su calidad por cada punto es leve debido a que tanto el biológico como el fisicoquímico pertenecen a Colombia y por ende están adaptados a las cuencas hidrográficas del país. El ICA del IDEAM es usado en el país para medir la calidad del agua 4 veces al año usando parámetros medidos de las diferentes estaciones, en cuanto a el BMWP/Col el autor expresa que el índice debe adaptarse a las regiones dependiendo sus condiciones geológicas, sin embargo, el índice obtuvo un buen rendimiento porque determino la calidad del río coincidiendo con el ICA-IDEAM.

Para el primer punto se presentan dos clasificaciones, regular y donde se evidencian algunos efectos de contaminación, debido a que presenta los niveles de oxígeno disuelto más altos a diferencia de los otros puntos, su DQO es más baja, su pH está en un rango de 6,1 -7,4, entre otros parámetros, por otro lado, en este punto se presentó la mayor cantidad de macroinvertebrados, de los cuales 26 individuos obtuvieron una clasificación de 10 en el BMWP siendo el puntaje más alto para este índice. Además, por ser el punto más cercano al área de conservación es el menos intervenido por las actividades económicas y su cobertura se combina entre pastos con espacios naturales, bosques abiertos, herbazales, entre otros. Para el punto 2 se presentaron coberturas como pastos enmalezados, herbazales, mosaico de cultivos, de igual manera se presentaron otros tipos de actividades productivas como la ganadería, la actividad hotelera y un aumento de la población lo que causa pequeños vertimientos al río afectando la calidad del agua que se evidenciaron en campo. De igual manera, se presentó la misma calidad de agua en los dos índices, clasificándose como regular y aguas contaminadas, donde se presenta niveles más bajos de oxígeno disuelto afectando directamente algunas familias de macroinvertebrados, y a su vez disminuyendo la cantidad de individuos recolectados. Por último, el punto 3 fue el más afectado debido a que las actividades económicas y las viviendas se encuentran más cerca al río generando vertimientos directos, y su vegetación son pastos enmalezados y mosaicos de cultivos, en este punto también coincidieron las calidades, aguas muy contaminadas y mala calidad, ambas categorizadas con color naranja; relacionándolo con lo observado en campo es una clasificación acertada por los impactos que presenta el río en esta zona. Considerando que los índices presentan diferentes rangos numéricos se proyectan los valores de las diferentes categorías del IDEAM.

**Gráfica 7.** *BMWP - ICA-IDEAM vs Coberturas vegetales*

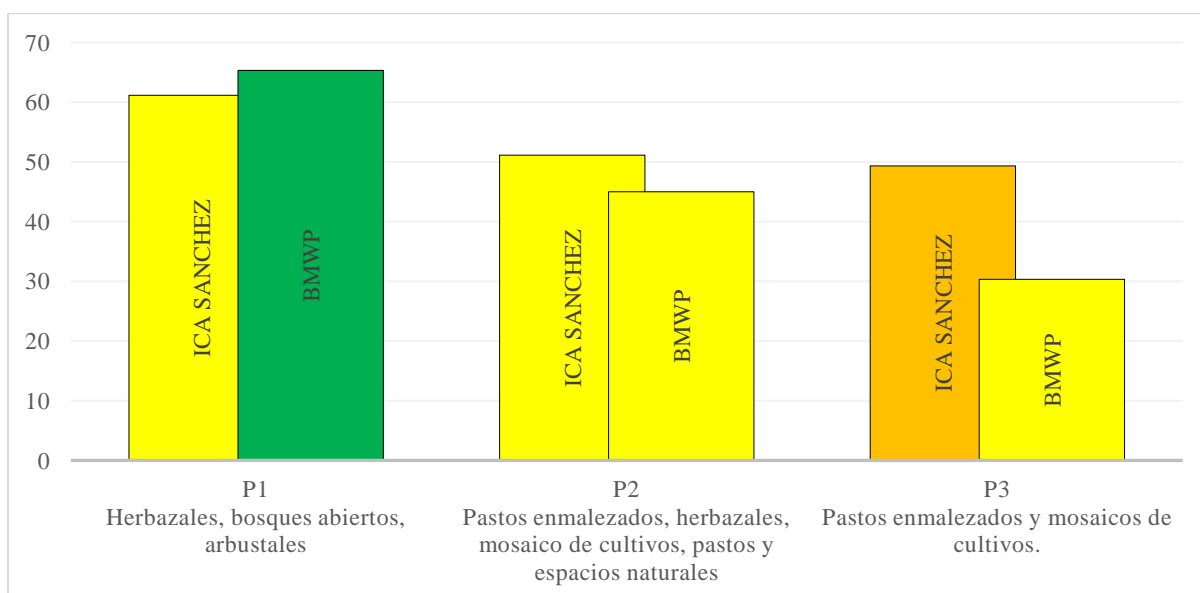


Fuente: Autoras

Por otro lado, la relación entre BMWP y el ICA de Sanchez también presenta pequeñas diferencias, por ejemplo, para el punto 1 los valores de los dos índices están entre 60 y 70 pero con diferentes clasificaciones, para el ICA de Sanchez su calidad es media y para el BMWP se presentan algunos efectos de contaminación, la calidad con respecto a los análisis fisicoquímicos varía porque tienen en cuenta parámetros diferentes a los del ICA-IDEAM. Dos de los que más influyen en el resultado son los Sólidos Suspendedos Totales y el oxígeno disuelto por tener la mayor ponderación para su cálculo, para este caso los SST fueron los que más afectaron por tener valores sobre los 240 mg/L disminuyendo la calidad del agua. Estos sólidos están presentes en el río ya sea por erosión natural del suelo o por algunos vertimientos domésticos, sin embargo, en esta zona y teniendo en cuenta la cobertura vegetal son ocasionados por erosión natural. En el segundo punto hay más relación entre los dos índices debido a que están en calidad media y aguas contaminadas, debido, nuevamente, a los SST y a la cantidad de los macroinvertebrados que es menor a la del punto número 1 por los pastos

enmalezados y las actividades económicas como la agricultura que se presentan en esta zona. Y para el caso del tercer punto, varía la calidad entre los dos índices, el fisicoquímico tiene un valor más alto de SST y el más bajo de los tres puntos de oxígeno disuelto, de igual manera se presentan menos individuos indicadores por las coberturas de la zona, se presentan más cultivos y la crianza de porcinos.

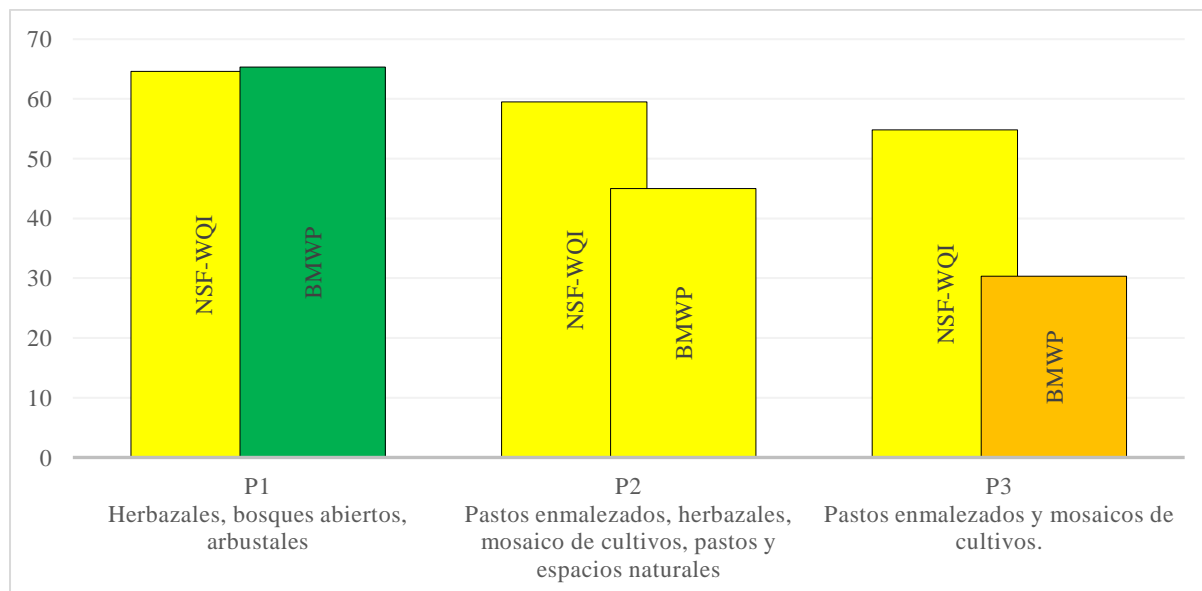
**Gráfica 8.** *BMWP - ICA-SANCHEZ vs Coberturas vegetales*



Fuente: Autoras

Entre el NSF-WQI y el BMWP se puede considerar que la relación es mínima debido a que el fisicoquímico es un índice europeo y por ende está adaptado solo para esa zona, al aplicarlo en otro país se obtienen resultados aceptables pero no para tener una evaluación precisa del río, en la siguiente gráfica se observa que en los tres puntos no varió su calidad y ese es un indicativo que para aplicar y se obtengan resultados más acertados se debe hacer el estudio en un área mayor. Sin embargo, de la siguiente gráfica se puede analizar que los cambios entre los dos índices son grandes y varían según el punto de monitoreo y sus coberturas vegetales.

**Gráfica 9.** *BMWP - NSF-WQI vs Coberturas vegetales*



Fuente: Autoras

A continuación, se analiza la relación entre las coberturas vegetales, el índice biológico ETP, el cual se rige por el número de especies de los tres órdenes de macroinvertebrados; y los índices fisicoquímicos ICA-IDEAM el cual considera 6 parámetros, ICA SANCHEZ con 11 parámetros y NFS-WQI con 10 parámetros.

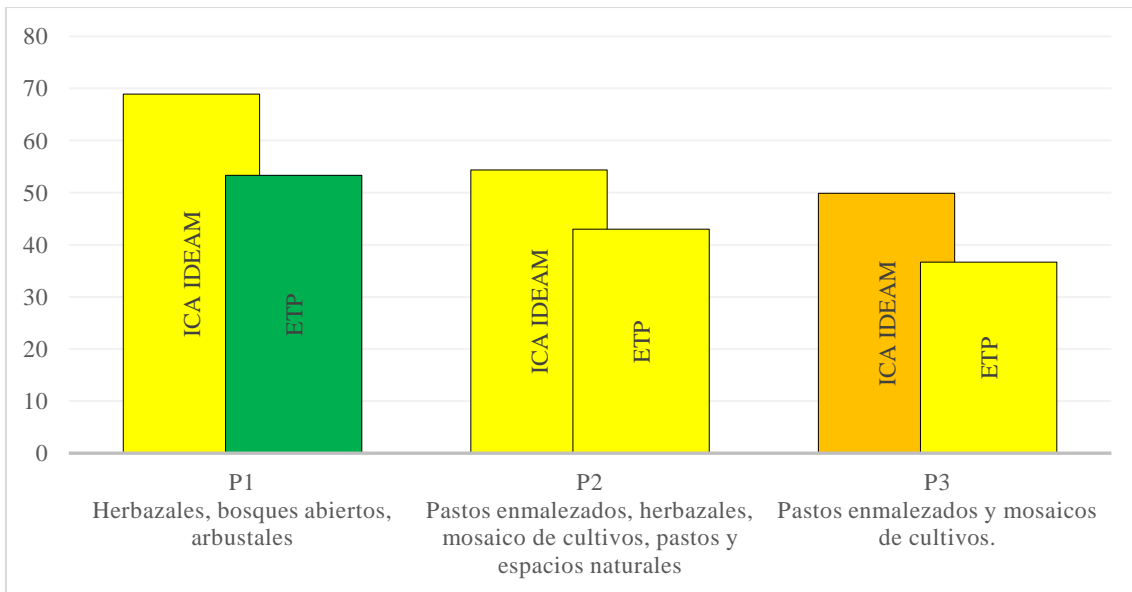
Para el caso de la relación entre las coberturas, el índice biológico y los índices fisicoquímicos, en el primer punto evaluado el cual se encuentra en límites con el área protegida, se evidencia una calidad del agua según el índice biológico levemente impactada a la que se le asigna el color verde, debido a la cantidad de individuos recolectados e identificados dentro de estas órdenes y la cantidad de individuos recolectados en total en el punto de muestreo, lo que permitió ubicarlo en este rango con un puntaje de 53. Respecto al índice fisicoquímico, si bien su clasificación se establece en una calidad regular o media identificada con un color amarillo, se encuentra en una diferencia de valor muy mínimo de ser clasificado como un agua aceptable según sus categorías, esto debido a parámetros como el OD (%sat) que en su mayoría se encuentra en un nivel adecuado, lo que es vital para el desarrollo de la mayoría de los

organismos y un pH en promedio neutro; considerando también que en esta área se evidencia una cobertura vegetal mayormente identificada como boscosa.

En la parte media de la subcuenca establecida como el segundo punto de muestreo, se presenta una calidad del agua regular tanto para los rangos de calificación de los índices biológicos como fisicoquímicos, siendo moderadamente impactado el recurso e identificándose con el color amarillo, teniendo en cuenta que en esta zona se encuentra una cobertura vegetal conformado por pastos enmalezados, herbazales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales; lo que permite espacios de aprovechamiento por parte de los seres humanos para recreación, actividad ganadera, pastoreo además de ser áreas susceptibles a la expansión de incendios.

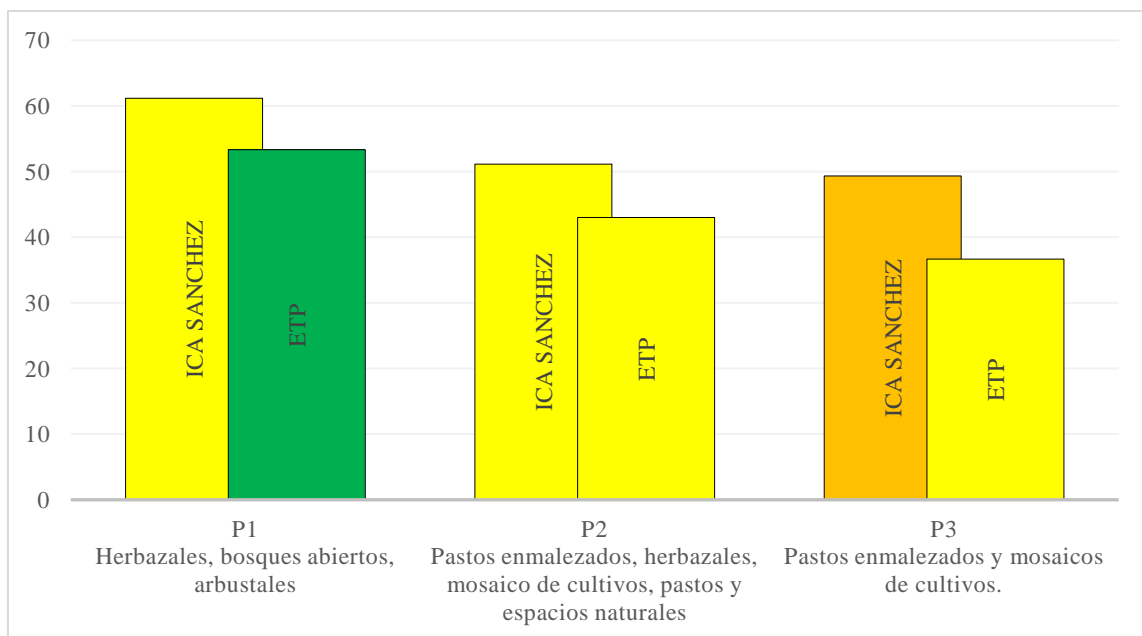
Finalmente, para el tercer punto de muestreo más alejado del área protegida se asigna la clasificación de la calidad del agua más bajo por parte del índice fisicoquímico categorizada como mala y moderadamente impactada según el índice biológico, debido a que presenta en promedio una OD (%sat) de nivel pobre para el desarrollo de organismos, un pH ligeramente ácido, además, se encuentran pastos enmalezados y mosaicos de cultivos, lo que puede indicar una falta de prácticas de manejo de las coberturas o el abandono de estas (*Gráfica 10, Gráfica 11, Gráfica 12*).

**Gráfica 10.** *ETP – ICA-IDEAM Coberturas vegetales*



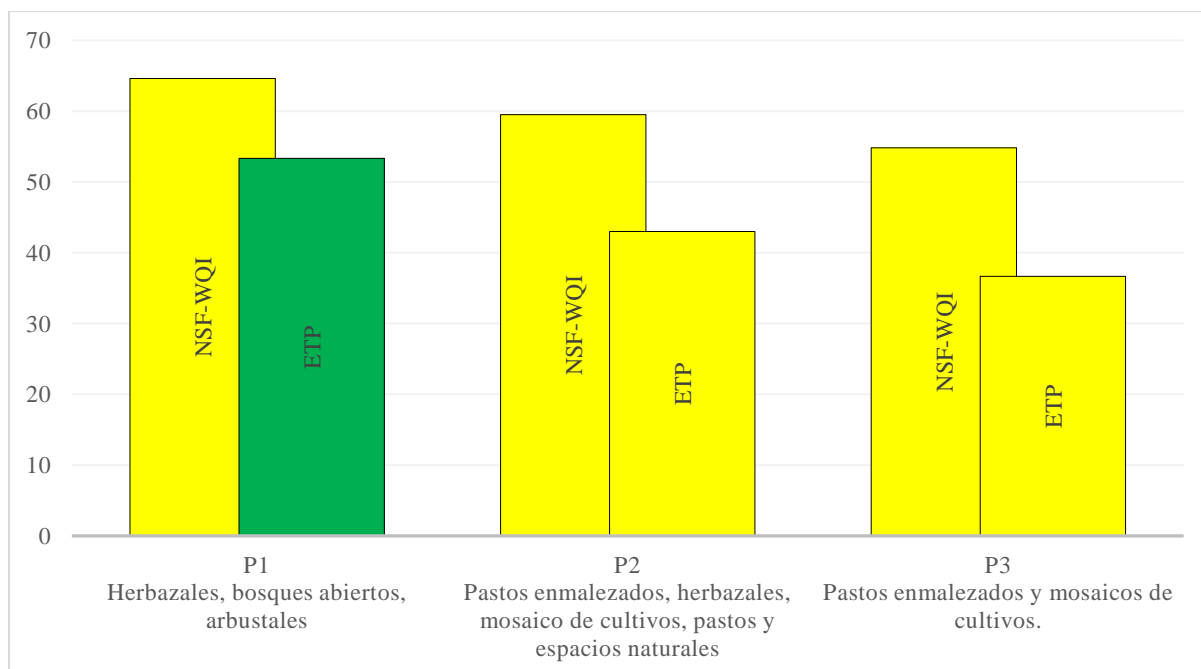
Fuente: Autoras

**Gráfica 11.** ETP - ICA-SANCHEZ vs Coberturas vegetales



Fuente: Autoras

**Gráfica 12.** ETP - NSF-WQI vs Coberturas vegetales



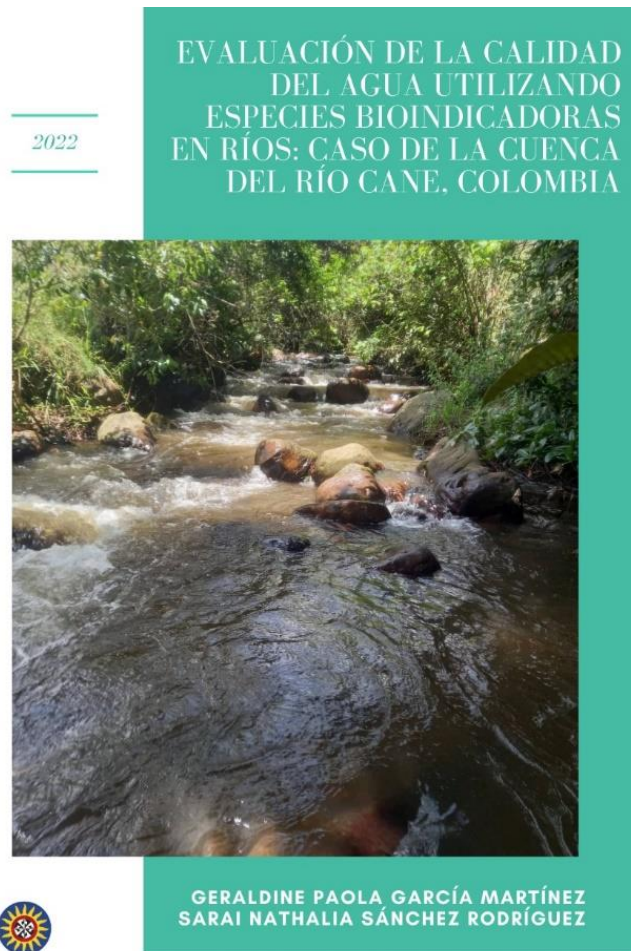
Fuente: Autoras

### IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

Una vez realizado el estudio completo enfocado en la identificación de las condiciones de la subcuenca del río Cane, se desarrolló una cartilla informativa, la cual estará a disposición de la comunidad circunvecina de la zona de estudio. Ésta, contiene información contextual del área, las herramientas del análisis de las condiciones del agua, como es el caso de los bioindicadores como índices biológicos; el índice fisicoquímico como es el ICA-IDEAM y la representación de forma visual de los diferentes tipos de calidades del agua que se encuentran a lo largo del cauce.

Por medio de esta cartilla se pretende generar conciencia en la población sobre las condiciones actuales del recurso hídrico en la zona, buscando la apropiación de la problemática y la adopción de cambios para el cuidado y la preservación del río.

**Ilustración 18.** *Cartilla informativa caso de la cuenca del río Cane*



Fuente: Autoras

## CONCLUSIONES

- Se estableció que la cuenca del río Cane ubicada en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia; fue de gran relevancia como zona de estudio, debido a que este municipio se encuentra ubicado dentro de un área de importancia histórica y uno de los mayores atractivos turísticos del país. Cuenta con una gran fuente hídrica y un 17,77% de la subcuenca pertenece al Parque Natural Nacional Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.
- En la zona se presenta una gran variedad ecosistémica, lo que permite la presencia de gran diversidad biológica dentro de los bosques andinos, bosques subandinos, páramos húmedos y páramos secos. Así mismo, se observó en la visita de campo la captación del agua para

abastecimiento de algunas comunidades aledañas y diversas actividades económicas como son la agricultura, ganadería, recreación, actividad hotelera, entre otras.

- En cuanto lo que corresponde a la cobertura del suelo y el NVDI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) estudiada para los años entre 2015 y 2022 según las imágenes satelitales, la zona de estudio se encuentra categorizada en su mayoría por presentar suelos con vegetación mixta, suelos con vegetación poco densa y suelos con poca cobertura vegetal. Teniendo en cuenta que para la zona de estudio y principalmente el área del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, es clasificada con un nivel de susceptibilidad alto a incendios por el tipo de vegetación presente en la zona, como se evidencio en los dos casos presentados en el año 2015 y el 2019.
- La implementación y uso de los macroinvertebrados como bioindicadores, permitió recolectar un total de 537 individuos para los tres puntos de muestreo y los tres monitoreos realizados, clasificados taxonómicamente en 8 órdenes, 16 familias y 18 géneros. Dentro de los principales taxones encontrados fueron: Hydropsychidae, Simuliidae, Baetidae, Planariidae, Blepharoceridae y Leptohyphidae; teniendo en cuenta la previa clasificación se calcularon los índices ETP y BMWP/Col.  
  
El índice ETP determinado según los órdenes de los macroinvertebrados recolectados, evidencio una disminución en la clasificación de la calidad del agua para el primer y último monitoreo, mientras que el segundo monitoreo realizado en el mes de septiembre no presento una tendencia clara. En cuanto al índice BMWP/Col, determinado por los puntajes de las familias de los macroinvertebrados, presentó una disminución de la calidad del agua para los tres puntos de muestreo en los tres monitoreos realizados, categorizada principalmente entre los rangos de aguas contaminadas y aguas muy contaminadas.
- Con respecto a la calidad del agua en la subcuenca del río Cane, se determina una categorización del agua que va desde aceptable a mala, para los tres monitoreos realizados en

el año 2021. Se encontró amoníaco para el tercer punto de muestreo evidenciando contaminación por nutrientes evidenciando el impacto causado por fuentes antropogénicas, en cuanto al potencial de óxido reducción demuestra situaciones reductoras para todos los puntos. Además, la demanda de oxígeno descendió a partir del primer punto de muestreo hasta el último punto entre 6 mg/L y 3,7 mg/L.

- En la implementación de los índices de calidad del agua, el índice IDEAM en corrientes superficiales presentó un cambio característico en la calidad del agua, el cual se evidencia en una variación de la clasificación del agua para los tres monitoreos realizados, donde a medida que transcurre el río va disminuyendo la calidad del agua de aceptable, regular y finalmente una mala calidad.

Con respecto a la relación entre las características de los bioindicadores y las características fisicoquímicas del agua, se comprueba que mediante los resultados obtenidos al implementar los índices BMWP/Col, ETP, NSF-WQI, el ICA- SÁNCHEZ basado en estándares europeos y el ICA-IDEAM. El índice ICA-IDEAM presenta una mejor correlación y una tendencia similar al índice BMWP/Col, siendo este índice biológico una herramienta de apropiación por parte de la comunidad circunvecina y un buen índice para establecer la calidad del agua para la zona de estudio a diferencia del ETP por su sensibilidad a las variables climáticas.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar estudios con periodos de tiempo más largos y con mayor frecuencia durante todo el año con el fin de obtener una conclusión más completa del estudio y observar el impacto de las variables climáticas sobre los bioindicadores, de igual manera compararla con otra área con características ambientales y geológicas similares.

Se recomienda actualizar la información en los informes o documentos taxonómicos que ayudan con la clasificación de los macroinvertebrados, debido a que hay información faltante que dificultan la identificación de los individuos y de igual manera las ilustraciones que se presentan en estos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfo González, G., Jara, V., Jiménez, K., Alejandro Valencia, L., & Varela, A. (2015). *Análisis y comparación de metodologías de aforo de caudal en la microcuenca del Río San Lorencito, Costa Rica*.
- Afanador B, J. G. (2007). *pH en agua por electrometría*.
- Alcaldía de Villa de Leyva. (2022). *Información del Municipio*. <https://www.villadeleyva-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Álvarez Carrión, S., & Pérez Rivera, L. (2007). *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaire, Honduras*.
- Ayala Ramírez, S., Reinoso González, W. A., Calderón Rivera, D. S., Jaramillo Londoño, Á. M., & Mesa Fernández, D. J. (2019). Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 16(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5191>
- Aznar Jiménez, A. (2000). Determinación de los parametros fisico-quimicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12–19.
- Barrenechea Martel, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. In L. de Vargas (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I* (Vol. 1, pp. 1–54).
- Bojaca, R. del P. (2005). *PSO determinación de la alcalinidad por potenciometría*.
- Caetano, D. L. F., de Oliveira, E. F., & Zawadzki, C. H. (2016). Fish species indicators of environmental quality of Neotropical streams in southern Brazil, upper Paraná River basin. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 46(2), 87–96. <https://doi.org/10.3750/AIP2016.46.2.04>
- Caho-Rodríguez, C. A., & López-Barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35–49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Carpio Galvan, T. M. (2007). *Turbiedad por Nefelometría (Metodo B)*.
- Casma, J. C. (2015, March 10). Brasil, Colombia y Perú, entre los que más agua tienen en el mundo. *Banco Mundial*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/03/10/brasil-colombia-peru-paises-mas-agua-tienen-en-el-mundo>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111–124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Catalina Gómez-Castañeda, Diego Felipe García-Corredor, Gina Katerin Reyes-Garavito, Jaime Ricardo Lache-Aparicio, & Lina Patricia Vega-Garzon. (2020). Analysis of space-time profiles of physical-chemical parameters of water quality In lake fúquene, Cundinamarca. *Ingenio Magno*, 11, 8–28.



- CORPOBOYACA. (2015a). *Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca de Río Cane Iguaque* (Vol. 644). <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/pomca-cane-iguaque.pdf>
- CORPOBOYACA. (2015b). *Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca de Río Cane Iguaque* (Vol. 644). <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/pomca-cane-iguaque.pdf>
- Cox, B., Oeding, S., & Taffs, K. (2019). A comparison of macroinvertebrate-based indices for biological assessment of river health: A case example from the sub-tropical Richmond River Catchment in northeast New South Wales, Australia. *Ecological Indicators*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105479>
- Effendi, H., Romanto, & Wardiatno, Y. (2015a). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- Effendi, H., Romanto, & Wardiatno, Y. (2015b). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- Eugenia, N., Ruiz, S., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 27(3), 172–181.
- Forero-céspedes, A. M., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del Río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Limnología-Caldas*, 35(2), 371–387. <http://www.icn.unal.edu.co/>
- Forero Duarte, J. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta de del Río Frío (Tabio, Cundinamarca)*.
- Gaitán, M. S. (2004). *Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de Azida*.
- Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis - A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199–1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Salvador Rodríguez, M., & Porras, L. S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UGCiencia*, 23, 47–62. <https://doi.org/http://10.18634/ugcj.23v.0i.659>
- Gualdrón Durán, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físico químicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 1, 83–110.
- Hanna instruments. (n.d.). *Instruction Manual-HI83325-Nutrient Analysis Photometer*. [www.hannainst.com](http://www.hannainst.com).
- Hernández H, A. M. (2007). *Sólidos Suspendidos Totales en agua secados a 103-105 °C*.
- Howard-Williams, C., & Pickmere, S. (1994). *LONG-TERM VEGETATION AND WATER QUALITY CHANGES ASSOCIATED WITH THE RESTORATION OF A PASTURE STREAM*.
- IDEAM. (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua*. [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018*.
- Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2020). *Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) (Hoja metodológica versión 1,1)* (Issue 571). [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Instituto de Hidrología-Meteorología y Estudios Ambientales(IDEAM). (2022, February 23). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*.


- <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/?fbclid=IwAR10fJ0jyi1HicE5uI5vco-MbzWNxpw-h84ZndxFGqTjIpRHlsaEVtjfatE>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. (2015). *Actualización de estudios de cobertura de la tierra*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. (2022, February 23). *Datos Abiertos IGAC / GEOPORTAL*. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi(IGAC). (2022, February 23). *Consulta Catastral / GEOPORTAL*. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/consulta-catastral>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (C. A. González Zuarth, A. Vallarino, J. C. Pérez Jiménez, & A. M. Low Pfeng, Eds.; Primera).
- Juan Esteban Piedrahita Vera. (2018). *Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de Contaminación del Agua (ICOS) en quebrada Villa ubicada en el Bagre, Antioquia*. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18335/2018PiedrahitaJuan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Londoño Londoño, Y. B., Moreno Arbeláez, D. P., & Suarez Restrepo, O. L. (2017). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con la calidad del agua en tres quebradas de alta montaña de Antioquia, Colombia*.
- López, C. N., Daniel, D., Lazo, G., González, G. G., Brandimarte, A. L., & Cordero, Y. M. (2005). Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Tecnura*, 9, 65–76.
- López Mendoza, S., Huertas Pineda, D. F., Jaramillo Londoño, Á. M., Calderón Rivera, D. S., & Díaz Arévalo, J. L. (2020). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería y Desarrollo*, 37(2), 269–288. <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6281>
- Manrique, E. G. (1999). ÍNDICE DE VEGETACIÓN. APLICACIÓN DEL NDVI. *TELEDETECTECCIÓN. Avances y Aplicaciones*, 217–219.
- Decreto 1594 de 1984, (1984).
- Decreto 3930 de 2010, (2010).
- Decreto 3930 de 2010, (2010).
- <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>
- Resolución 0631 de 2015, (2015).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021a). *Ordenamiento del Recurso Hídrico*. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/ordenamiento-del-recurso-hidrico/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021b). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA* . <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomca/>
- Resolución 2115 de 2007, (2007).
- Decreto 1575 de 2007, (2007).
- Minvivienda. (2021, November 2). *Plan de Manejo Ambiental*. <https://minvivienda.gov.co/node/44796>
- Morales Salinas, N. E. (2011). *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. Propuesta Metodológica*.
- North Carolina Department of Environment, H. and N. R. (NCDEHNR). (1997). *Standard Operating Procedures: Biological Monitoring*.
- Ordóñez Díaz, J. A. B., Escandón Calderón, J., Nieto de Pascual Pola, C. D. C., & Ordóñez Díaz, M. D. J. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos,




- México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46).  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- Orta Arrazcaeta, L. (2002). Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*, 6, 55–62.
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2022a). *Funciones y deberes*.  
<https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/organizacion/objetivos-y-funciones/>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2022b). *Parques Nacionales*.  
<https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales-naturales/>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2022c). *Sistema de Parques Nacionales Naturales*.  
<https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-de-parques-nacionales-naturales/>
- Programa Integral Red Agua, & CORANTIOQUIA. (2016). *Hidrobiológicos jurisdicción de CORANTIOQUIA*.
- Rincón Osorio, S. (2020). *Análisis multitemporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el municipio de Melgar Tolima, implementando herramientas de sistemas de información geográfica*.
- Rocha G, Z. E., & Cuéllar R, L. A. (2019). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en áreas restauradas de la quebrada La Colorada, municipio de Villa de Leyva, Colombia. *Cuaderno Activa*, 13–21.
- Rodríguez M, C. H. (2007). *Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*.
- Roldan, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*.
- Roldan, G. A. (2003a). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Roldan, G. A. (2003b). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Rouse, J. W. , Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A, 1*, 309–317.
- Sanabria Suarez, D. (2006). *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*.
- Sanchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., Garcia, M., Travieso, L., & Borja, R. (2007a). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7(2), 315–328.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>
- Sanchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., Garcia, M., Travieso, L., & Borja, R. (2007b). *Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution*. 7, 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>
- Segura Triana, L. E. (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*.
- Servicio Geológico de EE-UU. (2022a). *EarthExplorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Servicio Geológico de EE-UU. (2022b, February 23). *Landsat 8-9 Colección OLI/TIRS 2 Productos científicos de nivel 2*. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-olitirs-collection-2-level-2>
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* (L. D. López Escobar, Ed.; 1st ed.).
- Springer, M. (2010). Capítulo 7: Trichoptera. *Biología Tropical*.  
<https://www.researchgate.net/publication/262479260>
- Suarez Castillo, C. R., Cuellar Rodríguez, L. A., Rodríguez Mesa, M. H., & Acosta, P. M. (2019). Uso de indicadores biológicos para determinar la calidad del agua río Chontales en el sector Finca San Luis Gambita Santander. *Revista de Tecnología*, 18(1), 1–14.



- Suárez-Parra, K. v., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.21068/c2016v17r01a01>
- United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System/Water Programme. (2006). *Water Quality For Ecosystem and Human Health* . <http://www.gemswater.org/>
- US EPA. (1993). *Method 410.4, Revision 2.0: The Determination of Chemical Oxygen Demand by Semi-Automated Colorimetry*. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Valdes-Basto, J., Samboni-Ruiz, N. E., & Carvajal-Escobar, Y. (2011, June). Desarrollo de un Indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *Rev. Tecno Lógicas*, 165–180. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n26/n26a10.pdf>
- Viky González Meléndez, Orlando Caicedo Quintero, & Nestor Aguirre Ramirez. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(1), 97–108.
- Viteri Garcés, M., Chalen Medina, J., & Cevallos Revelo, Z. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de Las Ciencias*, 3(3), 628–646. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i3.497>









	<p>alimentada por algas y tejidos de plantas acuáticas, además, es la base de alimentación de otros insectos y peces. Indicadores de buena calidad del agua (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Ephemeroptera <b>Familia</b> Baetidae <b>Género</b> <i>Baetodes</i></p>	<p>Especie acuática con lapso de vida corta en estado de adulto, se encuentran en cuerpos lóticos, limpias y bien oxigenadas. Indicadores de buena calidad del agua, aunque poseen un poco de tolerancia a la contaminación orgánica. Se encuentran en rocas, troncos y vegetación sumergida. Especie herbívora, alimentada por algas y tejidos de plantas acuáticas. Además, es la base de alimentación de otros insectos y peces (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988)</p>									
 <p><b>Orden</b></p>	<p>Esta especie puede presentar colores grises, pardos, amarillos o blanco. Se encuentran en cuerpos de agua lénticos o lóticos a poca profundidad y bien oxigenados, localizados debajo de</p>									


<p>Tricladida  <b>Familia</b>  Planariidae  <b>Género</b>  <i>Dugesia</i></p>	<p>rocas, troncos, ramas y hojas.  Algunas especies poseen un grado de resistencia a la contaminación.  Las planarias son principalmente carnívoras, además de alimentarse con animales muertos y algas (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988)</p>									
 <p><b>Orden</b>  Ephemeroptera  <b>Familia</b>  Leptohyphidae  <b>Género</b>  <i>Leptohyphes</i></p>	<p>Especie acuática con lapso de vida corta en estado de adulto, presente en aguas rápidas, limpias y bien oxigenadas.  Se encuentran debajo de rocas, troncos, material vegetal en descomposición, algas filamentosas, vegetación acuática y en la orilla.  Indicadores de buena calidad del agua biológica o limpia, con tolerancia a cuerpos de agua con material en suspensión y descargas de desechos orgánicos antrópicos.  Especie herbívora, alimentada por algas y tejidos de plantas acuáticas. Además, es la base de alimentación de otros insectos y peces (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016).</p>									

 <p><b>Orden</b> Haplotaenida <b>Familia</b> Haplotaenidae <b>Género</b> <i>s.p</i></p>	<p>Viven en aguas eutrofizadas, en fondos fangosos y grandes cantidades de detritus. Se alimentan de algas filamentosas, diatomeas y detritus de plantas y animales. Sobreviven en áreas con poco oxígeno, cuerpos de agua contaminados con materia orgánica y aguas negras. Indicador de contaminación acuática (G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Coleoptera <b>Familia</b> Chrysomelidae <b>Género</b> <i>Donacia</i></p>	<p>Se encuentran adheridas a vegetación flotante y sumergida en zonas litorales. Se alimentan de vegetación acuática (G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Diptera <b>Familia</b> Ortorrhapha Nematóceras Tipulidae <b>Género</b></p>	<p>Presenta apariencia de color blanquizco con concavidad espiracular, bordeado por lóbulos cortos proyectados. Especie en estado larval se ubica en cuerpos de agua lóticos y lénticos dentro de los detritus. Se encuentran sobre rocas emergentes, zonas lodosas, agujeros en los</p>									

<p><i>Limonia</i></p>	<p>troncos de los árboles y tallos de pastos. Son depredadores además de ser indicadores de aguas mesotróficas y moderadamente contaminadas (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Diptera <b>Familia</b> Simuliidae <b>Género</b> <i>Simulium</i></p>	<p>Se encuentran en cuerpos de agua lóticos y muy oxigenados. Se encuentran debajo de rocas y troncos, se alimentan de material filtrado de la corriente. Indicadores de aguas oligotróficas (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Diptera <b>Familia</b> Blepharoceridae <b>Género</b> <i>Limonicola</i></p>	<p>Se encuentra presente en aguas loticas, frías y bien oxigenadas. Indicador de aguas oligotróficas. Estos individuos en estado de larva y pupa se encuentran en las rocas y se alimentan en su mayoría por diatomeas en el sustrato rocoso (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									

 <p><b>Orden</b> Coleoptera <b>Familia</b> Dryopidae <b>Género</b> <i>s. p</i></p>	<p>Se pueden encontrar en zonas terrestres húmedas cercanas al cuerpo de agua y de igual forma en aguas lóaticas o estancadas, además, se alimentan de algas, raíces, pequeñas plantas y animales acuáticos. Pueden tolerar un cierto nivel de contaminación y una disminución en el caudal (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016).</p>									
 <p><b>Orden</b> Diptera <b>Familia</b> Ortorrapha Nematocera Tipulidae <b>Género</b> <i>Tipula</i></p>	<p>Se encuentra en cuerpos de agua lénticos y lóaticos con materia orgánica en descomposición y fangoso. Su presencia indica aguas mesoeutróficas (G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Odonata <b>Familia</b> Calopterygidae <b>Género</b></p>	<p>Es una especie depredadora y se encuentra en aguas lóaticas entre raíces, material vegetal y rocas; de vez en cuando se encuentra en agua lénticas en medio de raíces. Indican aguas oligomesotróficas (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA,</p>									

<i>Hetaerina</i>	2016; G. Roldan, 1988).									
 <p><b>Orden</b> Odonata <b>Familia</b> Lestidae <b>Género</b> <i>Lestes</i></p>	Se encuentran en aguas lénticas con presencia de vegetación. Indican aguas mesotróficas (G. Roldan, 1988).									
 <p><b>Orden</b> Ephemeroptera <b>Familia</b> Leptophlebiidae <b>Género</b> Thraulodes</p>	Se encuentra en aguas rápidas por debajo de rocas, hojas y troncos. Indicador de aguas limpias o con poca contaminación (G. Roldan, 1988).									
 <p><b>Orden</b> Plecoptera <b>Familia</b> Perlidae <b>Género</b> <i>Anacroneuria sp.</i></p>	Se encuentra en agua rápidas, con fondos pedregosos, aguas muy limpias y bien oxigenadas por lo que se indica aguas oligotróficas. Los individuos se ubican debajo de rocas, troncos, ramas y hojas (G. Roldan, 1988).									

 <p><b>Orden</b> Coleoptera <b>Familia</b> Ptilodactylidae <b>Género</b> Anchytarsus</p>	<p>Se encuentran a las orillas del cuerpo de agua en plantas herbáceas, los individuos en estado larval se encuentran en ecosistemas lóticos; aguas someras, limpias y bien oxigenadas (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									
 <p><b>Orden</b> Coleoptera <b>Familia</b> Scirtidae <b>Género</b> Elodes</p>	<p>Los individuos en estado larval se encuentran en ecosistemas lóticos y los adultos son considerados terrestres (Programa Integral Red Agua &amp; CORANTIOQUIA, 2016; G. Roldan, 1988).</p>									

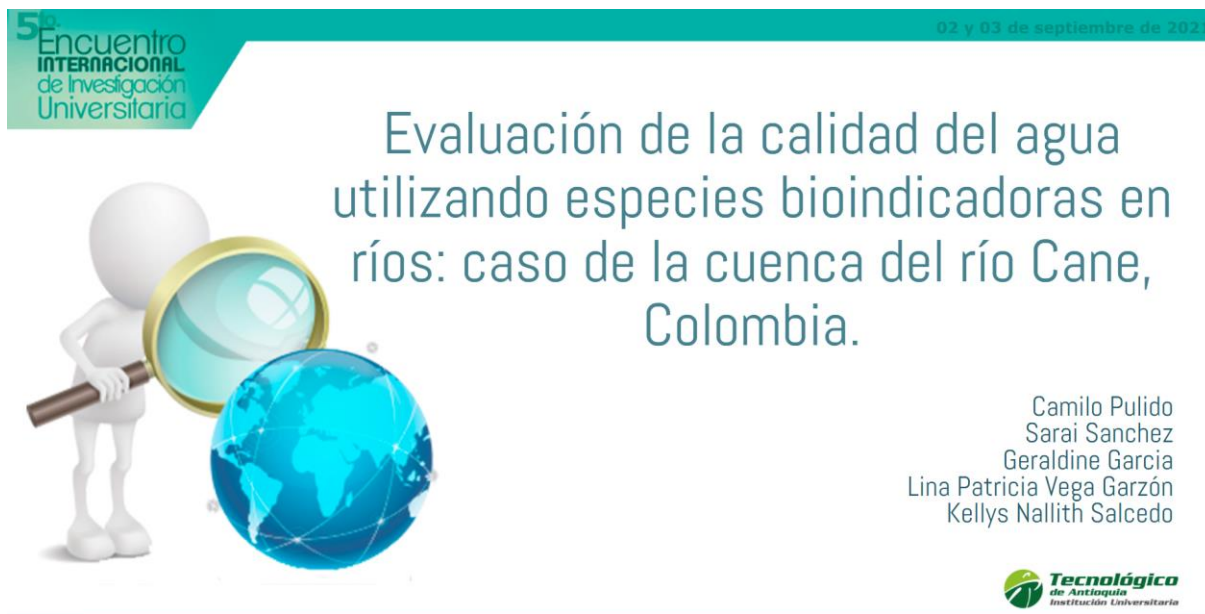
A partir de este estudio se obtuvieron más resultados de investigación, se realizó un artículo de investigación y se envió a la revista *Environmental Management* con el fin de obtener una publicación (Anexo 2). Se presentó el proyecto como ponencia en diferentes congresos donde se dio a conocer los resultados que se iban obteniendo a lo largo de la investigación como se observa en los Anexos 3,4 y 5.

*Anexo 2. Manuscrito enviado a la revista Environmental Management*

<b>Environmental Management</b>	
<b>Macroinvertebrates as water quality indicators in Cane River (Villa de Leyva – Colombia)</b>	
<b>--Manuscript Draft--</b>	
<b>Manuscript Number:</b>	EMVM-D-22-00288
<b>Full Title:</b>	Macroinvertebrates as water quality indicators in Cane River (Villa de Leyva – Colombia)
<b>Article Type:</b>	Research
<b>Funding Information:</b>	
<b>Abstract:</b>	Cane River basin is a Colombian high mountain watershed, located in part in the Iguaque Flora and Fauna Sanctuary National Natural Park. As many rivers belonging to preserved areas, it gets impacted by human activities in the buffer area leading to different water pollution issues, but habitats are not totally degraded. This study analyzed for the first time the middle basin of a river belonging in their upper side to a protected area, where waters were classified by water quality indices from good to poor quality, in order to check the suitability of the macroinvertebrates water quality indices to adequately determine the water quality. Good correlation was found between IDEAM WQI and BMWP/Col indices, showing that this biological index is potentially a good tool for water catchment diagnosis and management in buffer areas for natural parks in Colombia. 537 specimens were collected, in which 8 orders, 16 families and 18 genera were identified. Predominant orders were Trichoptera, Ephemeroptera and Diptera. Baetidae and Planariidae taxa were found in the three water quality levels showing a decrease in number with a decrease in water quality. Thus, both species have shown sensibility to water quality parameters and also to riverine habitat quality, being then interesting species to determine water quality, deserving more detailed studies for similar cases in this country.
<b>Corresponding Author:</b>	Lina Patricia Vega Garzón, PhD Universidad Santo Tomas - Tunja TUNJA, Boyaca COLOMBIA
<b>Corresponding Author Secondary Information:</b>	
<b>Corresponding Author's Institution:</b>	Universidad Santo Tomas - Tunja
<b>Corresponding Author's Secondary Institution:</b>	
<b>First Author:</b>	Lina Patricia Vega Garzón, PhD
<b>First Author Secondary Information:</b>	
<b>Order of Authors:</b>	Lina Patricia Vega Garzón, PhD Camilo Andres Pulido Sarai Nathalia Sanchez Rodriguez Geraldine Paola García Kellys Salcedo
<b>Order of Authors Secondary Information:</b>	
<b>Author Comments:</b>	
<b>Suggested Reviewers:</b>	

Fuente: Autoras

*Anexo 3. Ponencia en el 5° Encuentro Internacional de Investigación Universitaria; 2021*



5<sup>o</sup> Encuentro INTERNACIONAL de Investigación Universitaria

02 y 03 de septiembre de 2021

## Evaluación de la calidad del agua utilizando especies bioindicadoras en ríos: caso de la cuenca del río Cane, Colombia.

Camilo Pulido  
Sarai Sanchez  
Geraldine Garcia  
Lina Patricia Vega Garzón  
Kellys Nallith Salcedo

**Tecnológico de Antioquia**  
Institución Universitaria

UNAD Universidad Nacional Abierta y a Distancia  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
Uptc Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
UNIVERSIDAD DE CALDAS  
UAN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
UB Universidad de Boyacá  
Juan D. Castellanos Fundación Castellanos  
RENATA RECTORADO NACIONAL DE TECNOLOGÍA

Fuente: Autoras

*Anexo 4. Ponencia en la VII Jornada ambiental: gestión del riesgo y sostenibilidad; 2021*



**Tecnológico de Antioquia**  
Institución Universitaria  
VIGILADA MINEDUCACIÓN

## Evaluación de la calidad del agua utilizando especies bioindicadoras en ríos: caso de la cuenca del río Cane, Colombia.

Geraldine Paola García Martínez,  
Sarai Nathalia Sánchez Rodríguez  
Universidad Santo Tomás, seccional Tunja

Ing. Lina Patricia Vega Garzón  
Ing. Kellys Nallith Salcedo Hurtado

VII JORNADA AMBIENTAL: GESTIÓN DEL RIESGO Y SOSTENIBILIDAD

Fuente: Autoras

*Anexo 5. Ponencia en el I Congreso Internacional: Objetivos de Desarrollo Sostenible: Esfuerzos en América Latina y El Caribe; 2020*

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ECOSISTÉMICA UTILIZANDO ESPECIES BIOINDICADORAS EN RÍOS: CASO DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑE, COLOMBIA.**

CONGRESO INTERNACIONAL OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE  
ESFUERZOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

**Laura Castellanos  
Geraldine García  
Camilo Pulido  
Saraí Sánchez**

**Semillero de investigación Calidad y Tecnologías Ambientales  
Grupo de investigación GICAN**

UNIVERSIDAD DE SONORA  
"El Poder de una Idea, Busca su Camino"

**Tecnológica de Antioquia**  
Institución Universitaria  
Acreditación de Alta Calidad  
Asociación Nacional de Instituciones de Educación Superior

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PRIMERA CLASE DEL UNIVERSITARIO DE COLOMBIA  
SEDE BARRANCOQUILLA

REGISTRADO EN EL MINISTERIO DE EDUCACIÓN

Fuente: Autoras