

Formulación de un plan de monitoreo de calidad de agua en cañadas urbanas del área metropolitana de Bucaramanga, con base en análisis de macroinvertebrados como bioindicadores

Luz Slendy Pimiento

Asesor

María Angélica Peña Sanabria

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

2023

Dedicatoria

El presente proyecto de grado se lo dedico a Dios ya que gracias a él he logrado concluir mi
carrera

Agradecimientos

A mi familia por la paciencia y fe que me tiene para seguir logrando las metas trazadas

Resumen

Este proyecto visibiliza la problemática de la mala calidad del agua de las cañadas urbanas, lo cual afecta la calidad de vida de las personas, el ecosistema y sus servicios. Para esto, se realizó una revisión de bibliografía con énfasis en Colombia, además de la comprensión de experiencias que se realizan para evaluar y monitorear la calidad del agua, posteriormente se recopilaron datos existentes de macroinvertebrados acuáticos disponibles en la plataforma iNaturalist. Luego se ejecutó una priorización de las problemáticas identificadas a través de una matriz Vester lo que permitió formular e implementar un piloto de monitoreo de calidad del agua para las fuentes hídricas: la quebrada seca, la rosita y la iglesia. Dicho plan se formuló a partir de los siguiente: 1. un muestreo aplicando la metodología BNWP/COL, índice que permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de familias de macroinvertebrados el cual reportó una calidad muy crítica para las dos primeras y crítica para la tercera. 2, vinculación en evento de ciencia participativa “Reto Naturalista Urbano” con estudiantes de semilleros del colegio Andrés Páez de Sotomayor y Unidades Tecnológicas de Santander, por último, se propone dar continuidad al biomonitoreo participativo vinculando más instituciones educativas cercanas a las fuentes hídricas, las cuales pueden motivarse participando en el proyecto internacional The home river Bioblitz en donde se cuenta con el apoyo de expertos a través de la plataforma tecnológica en la generación conocimiento de sus fuentes hídricas. Lo anterior permitirá la apropiación de su territorio para un mejor cuidado de este valioso recurso bajo un esquema metodológico conocido como Investigación, acción, participación.

Palabras clave: Fuentes Hídricas, Macroinvertebrados, Área, Biomonitoreo, Ciencia

Abstract

This project makes visible the problem of poor water quality in urban streams, which affects the quality of life of people, the ecosystem and its services. For this, a literature review was carried out with emphasis on Colombia, in addition to the understanding of experiences that are carried out to evaluate and monitor water quality, subsequently existing data on aquatic macroinvertebrates available on the iNaturalist platform were compiled. Then, a prioritization of the identified problems was carried out through a Vester matrix, which allowed the formulation and implementation of a water quality monitoring pilot for the water sources: the dry stream, the rosita and the church. This plan was formulated from the following: 1. a sampling applying the BNWP/COL methodology, an index that allows estimating the quality of an aquatic ecosystem based on the assessment of families of macroinvertebrates, which reported a very critical quality for both. first and criticism for the third. 2, linkage in a participatory science event “Urban Naturalist Challenge” with seedbed students from the Andres Paez de Sotomayor school and Technological Units of Santander, finally, it is proposed to continue the participatory biomonitoring by linking more educational institutions close to water sources, which can be motivated by participating in the international project The home river Bioblitz where they have the support of experts through the technological platform in generating knowledge of their water sources. The above will allow the appropriation of its territory for better care of this valuable resource under a methodological scheme known as Research, action, participation.

Keywords: Water Sources, Macroinvertebrates, Area, Biomonitoring, Science

Tabla de Contenido

Introducción	12
Planteamiento del problema.....	14
Justificación.....	17
Objetivos	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
Estado del Arte.....	21
Marco Referencial.....	26
Marco Teórico	26
Marco Legal	33
Ley 99 de 1993	33
Decreto 1594 de 1984.....	34
Metodología	36
Fase I. Revisión de documentos y plataforma iNaturalist.....	37
Fase II. Análisis y priorización de problemáticas	39
Fase III. Formulación e implementación del plan de biomonitoreo participativo de cañadas del área en urbana de Bucaramanga.....	44
Etapa de Planeación.....	45
Etapa de Campo.....	49
Etapa de Análisis	51

Resultados	56
Información sobre organismos acuáticos como bioindicadores de calidad de agua obtenida de documentos.....	56
Datos disponibles de la plataforma iNaturalist en organismos acuáticos.	60
Priorización de problemas identificados en las fuentes hídricas.....	62
Implementación de Piloto y formulación de propuesta de biomonitoreo participativo	65
Localización de área de estudio y sitios de muestreo	65
Análisis de Calidad de Agua	69
Plan de biomonitoreo participativo para fuentes hídricas urbanas	77
Conclusiones	79
Recomendaciones	82
Referencias Bibliográficas	83
Apéndices.....	86

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Criterio-causa Matriz de Vester</i>	40
Tabla 2 <i>Formato excel Matriz Vester</i>	42
Tabla 3 <i>Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP53</i>	
Tabla 4 <i>Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el BMWP/Col</i>	54
Tabla 5 <i>Resultados Matriz Vester</i>	63
Tabla 6 <i>Coordenadas de puntos de muestreo.</i>	67
Tabla 7 <i>Resultados de parámetros fisicoquímicos</i>	69
Tabla 8 <i>Registros de macroinvertebrados extraídos de la plataforma INaturalist por grupo taxonómico</i>	76
Tabla 9 <i>Calidad de agua según índice BMWP de sitios muestreados</i>	76

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Macroinvertebrados que Conforman el Neuston de un Ecosistema Acuático.</i>	28
Figura 2 <i>Macroinvertebrados que Conforman el Necton en un Ecosistema Acuático.</i>	29
Figura 3 <i>Macroinvertebrados que Conforman el Bentos en un Ecosistema Acuático.</i>	30
Figura 4 <i>Fases del Proyecto.</i>	37
Figura 5 <i>The Home River Bioblitz 2021</i>	38
Figura 6 <i>The Home River Bioblitz 2022</i>	39
Figura 7 <i>Grafica Excel de Resultado de Matriz Vester.</i>	44
Figura 8 <i>Imagen Encuentro Virtual Equipo Nacional de Apoyo en Ciencia Participativa.</i>	46
Figura 9 <i>Imagen Encuentro Presencial Equipo Nacional de Apoyo en Ciencia Participativa.</i>	46
Figura 10 <i>Logos de los Miembros del Equipo Organizador y Apoyo Local del Reto Naturalista Urbano.</i>	47
Figura 11 <i>Capacitaciones Virtuales y Presenciales.</i>	48
Figura 12 <i>Toma de Muestras Biológicas.</i>	51
Figura 13 <i>Registro Fotográfico de Macroinvertebrados de las Muestras Recolectadas.</i>	52
Figura 14 <i>Número de Publicaciones por Año.</i>	57
Figura 15 <i>Número de Publicaciones por País</i>	58
Figura 16 <i>Publicaciones por Departamentos</i>	59
Figura 17 <i>Familias Observadas a Nivel Mundial en la Plataforma iNaturalist 2021 vs 2022</i>	61
Figura 18 <i>Mapa de Observaciones por Países</i>	61

Figura 19 <i>Diagrama de Resultados Matriz Vester.</i>	63
Figura 20 <i>Mapa de Fuentes Hídricas Urbanas de Bucaramanga</i>	65
Figura 21 <i>Imagen Satelital del Área de Estudio.</i>	66
Figura 22 <i>Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de Muestreo Quebrada la Rosita</i>	68
Figura 23 <i>Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de muestreo Quebrada la Seca</i>	68
Figura 24 <i>Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de Muestreo Quebrada la Iglesia</i>	68
Figura 25 <i>Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada la Seca.</i>	70
Figura 26 <i>Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada la Rosita</i>	71
Figura 27 <i>Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada la Iglesia.</i>	72
Figura 28 <i>Registros Macroinvertebrados Reto Naturalista Urbano 2023</i>	73

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Resultados de la Revisión de Datos</i>	86
---	----

Introducción

A lo largo de la historia, las fuentes de agua han sido contaminadas debido a acciones humanas, lo cual ha ocasionado dificultades para las comunidades que viven cerca de estas y para las poblaciones que enfrentan serias dificultades en asegurar un suministro adecuado de agua en términos de cantidad y calidad (Breña & Breña, 2009).

Tanto a nivel nacional como internacional, se ha empleado el análisis de propiedades físicas, químicas y biológicas para evaluar la calidad del agua en cuerpos de agua. Se han establecido procedimientos normalizados para su evaluación y se ha llevado a cabo la descripción precisa de ríos, arroyos y lagos mediante la adecuada utilización de estas metodologías (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2004).

En la década de 1970, en Colombia, se iniciaron investigaciones que involucraron el uso de macroinvertebrados acuáticos bajo la dirección de Gabriel Roldán. En ese período, se emplearon claves taxonómicas desarrolladas por expertos europeos y americanos para la identificación de estos organismos, las cuales estaban basadas en las condiciones climáticas de dichos países. Sin embargo, estas claves resultaron tener un alcance limitado en el contexto colombiano. Por consiguiente, Roldán optó por adaptar tanto las claves taxonómicas como el índice BMWP específicamente adaptado para Colombia. Esta adaptación permitió la creación de una guía en el año 1988 destinada al estudio de macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia (Roldán, 2016).

En este documento se presentan los resultados de una revisión bibliográfica sobre la investigación del tema en Colombia y experiencias que se están realizando para evaluar y monitorear la calidad del agua, además de la revisión de datos abiertos de macroinvertebrados acuáticos disponibles en plataformas Tecnológicas como iNaturalist, esto junto a la priorización

de las problemáticas identificadas en las tres cañadas urbanas seleccionadas a través de una matriz Vester permitió desarrollar un muestreo piloto y formular un plan de biomonitoreo participativo de la calidad del agua en zonas urbanas.

Se concluye que existe poca información respecto a cañadas urbanas en Colombia, que la calidad del agua de cañadas quebrada seca, la rosita y la iglesia según la metodología utilizada es crítica, para lo cual se propone como estrategia un plan de monitoreo que pueda ser replicado en las cañadas urbanas del Área Urbana de Bucaramanga y demás ciudades de Colombia a través del uso de macroinvertebrados como bioindicadores y la implementación de la ciencia participativa.

Planteamiento del problema

En Colombia el aumento de la población y la urbanización ha incrementado los problemas de la calidad de agua de las cuencas en espacios urbanos, generados principalmente por vertimientos domésticos, industriales y con menor proporción la realización de vertimientos agrícolas sin ningún tratamiento. Según el Plan de Desarrollo Nacional solamente el 42.2% de las aguas residuales generadas en el país fueron tratadas en el 2016. (Congreso de la República de Colombia, 2019)

El municipio de Bucaramanga no es ajeno a esta problemática pues tan solo cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) la cual trata el 20 % de las aguas residuales, por otro lado, no se tiene monitoreo de todas las cuencas del área, sino que esta acción se limita a la vigilancia del Índice de Riesgo para la Calidad del Agua Potable (IRCA) por parte de la secretaria de Salud en 37 puntos ubicados en las cuenca del Rio Suratá, Rio Tona, quebrada Arnania y quebrada Golondrina que surte las plantas de tratamiento de agua potable de Bosconia, Morrорico y la Flora, respectivamente.

Por otro lado, la autoridad ambiental (CDMB) monitorea únicamente la corriente del Rio de Oro, en quebradas antes de la confluencia de este, como son; La quebrada Chimitá, La Argelia, Las Nava-Chapinero y la Picha. Con esta información se reporta una calificación de 0,3 para el Indicador de Calidad de Ambiental Urbano (ICAU), correspondiente a calidad de agua superficial, la cual se categoriza como malo. De acuerdo con lo anterior es necesario recalcar que el monitoreo de una única corriente no permite describir o concluir sobre el estado general de las corrientes superficiales de agua para la ciudad, ya que se limitan a unos resultados relacionados específicamente con un único cuerpo de agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016)

Por otro lado, cabe resaltar que la determinación de la calidad del recurso hídrico en Colombia se basa solo en los resultados de parámetros fisicoquímicos y solo un parámetro biológico correspondiente a los Coliformes totales según el decreto 1594 de 1984. En este se establecieron los usos del agua y residuos líquidos, desconociendo la importancia que tienen los bioindicadores en la medición del estado real de cualquier cuerpo de agua; especialmente los macroinvertebrados para reflejar mejor el estado de los ecosistemas acuáticos.

Otra causal de contaminación de las cuencas urbanas es la falta de conciencia y conocimiento por parte de la ciudadanía de la importancia de su preservación y cuidado, principalmente en los asentamientos ilegales ubicados a las riberas de las quebradas urbanas ya que arrojan sus residuos sólidos, vertimientos y demás elementos que pueden afectar de forma significativa estas fuentes hídricas. Según la alcaldía de Bucaramanga en su informe del índice de calidad ambiental urbano del 2017, la calidad del agua es mala y de las 15 quebradas que se localizan en el área urbana de Bucaramanga, solo en algunas se ha realizado actividades de educación ambiental, limpieza, reforestación y recuperación, sin un trabajo continuo por parte de las autoridades ambientales y sociedad civil lo cual requiere ampliar la cobertura de estos programas por parte de la alcaldía y la autoridad ambiental competente con el fin de garantizar el buen estado de ellas.

Según un informe del periódico del Tiempo del 11 de mayo de 2021. Se destacan las causas y consecuencias de la contaminación del agua en Colombia donde además se resalta que los ríos urbanos hacen parte de las cuencas hidrográficas del país, por lo que su mala calidad influye de forma negativa en la alteración de las fuentes ecológicas, contaminación de cauces, alteraciones en la salud humana, entre otras.

Es así como se requiere contribuir a la solución de estas problemáticas por lo que se hace

necesario propender por la participación de autoridades gubernamentales y la comunidad en general para lo cual este proyecto buscó responder la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es la calidad del agua de cañadas urbanas del municipio de Bucaramanga a través del uso de macroinvertebrados? ¿Cómo a través de la ciencia participativa los ciudadanos pueden conocer y participar en temas de calidad de sus fuentes hídricas?

Justificación

El estado de las cañadas o cuerpos de aguas urbanos son fundamentales para la calidad de las cuencas hidrográficas a las que pertenecen y los servicios ecosistémicos que prestan, incidiendo de forma positiva o negativa en ellas. Para el caso abordado en el presente proyecto, referido a 3 cañadas pertenecientes a la ciudad de Bucaramanga es necesario generar un plan de monitoreo que permita la participación de la ciudadanía, las autoridades ambientales y el reporte en tiempo real, de tal forma que se propenda por la mitigación de los impactos ambientales resultantes de esta mala calidad. En este sentido, es necesario que, en articulación con Los Objetivos de Desarrollo Sostenible y específicamente para los objetivos No 3. Salud y bienestar, 6. Agua Limpia y Saneamiento, 11. Ciudades y comunidades sostenibles y 14. vida submarina, los planes de monitoreo y demás estrategias que permitan la restauración del recurso hídrico sean ejecutadas antes del año 2030, es decir, en un mediano plazo con el fin de garantizar el cumplimiento de lo mencionado y propender por el desarrollo sostenible en los diferentes centros urbanos sin que sea ajeno a esto la ciudad de Bucaramanga y sus cuerpos de agua.

En relación con lo anterior, los bioindicadores son grupos de organismos vivos que se destacan por presentar niveles de tolerancia muy variables frente a distintitos tipos de perturbaciones de los ecosistemas, permitiendo ser utilizados como una herramienta de fácil uso para identificar el grado de contaminación. Los análisis físico-químicos estándares, no permiten muestrear tendencias a través del tiempo, ni detectar eventos puntuales de toxicidad. (Bonada *et. al*, 2006).

Algunas de las características de los macroinvertebrados que les ha permitido ser usados como bioindicadores son su amplia distribución, tanto a nivel geográfico como con respecto a la

variedad de ambientes que habitan; su diversidad taxonómica, la cual resulta en un amplio rango de respuestas ante las perturbaciones o la contaminación; su carácter relativamente sedentario, el cual facilita un análisis espacial de la contaminación; sus ciclos de vida relativamente largos que permiten observar los efectos de la contaminación a lo largo del tiempo (contaminaciones intermitentes o de concentraciones variables), y como se mencionaba anteriormente los métodos de muestreo son sencillos y de bajo costo. (Springer, 2010)

Por último, cabe resaltar que el uso de la ciencia ciudadana se ha venido incrementado en los últimos años como herramienta de monitoreo de la calidad de agua ya que, a través de la participación de las personas, a menudo mediante la recolección de datos sobre una variedad de escalas temporales y espaciales, es posible que las comunidades reconozcan y valoren las contribuciones de la naturaleza a su bienestar. La generación de un plan de monitoreo participativo asegura el desarrollar competencias y habilidades tecnológicas, de comunicación y apropiación del territorio por parte de estos participantes. De esta manera se logra generar un alcance de alto impacto social y/o político al involucrar a las personas en la mejora y seguimiento de las condiciones de su entorno. Lo anterior puede llevar incluso a la disminución en el gasto de recursos para tratamiento de aguas residuales y su inversión en educación o salud de la población involucrada. Y para esto, uno de los grupos focales que mejor respuesta dan, son las comunidades educativas (directivos, profesores, estudiantes y padres de familia), con quienes es posible direccionar el propósito de la investigación, acorde con las necesidades de toda una comunidad. (Walteros, 2019).

El municipio de Bucaramanga viene promoviendo el conocimiento y valoración de su biodiversidad de su municipio y se ha vinculado desde el año 2021 como participante en el City Natural Challenge, evento donde los ciudadanos a partir de fotografías desde la app iNaturalist

registran la biodiversidad urbana. Con este proyecto se buscó fortalecer estos eventos de ciencia ciudadana a partir del registro de macroinvertebrados los cuales serán utilizados para analizar la calidad del agua de las cuencas priorizadas dentro de eventos de ciencia ciudadana donde participe la ciudad, permitiendo el monitoreo continuo y la apropiación y conservación de los recursos hídricos.

Objetivos

Objetivo General

Formular un plan de monitoreo de calidad de agua en cañadas urbanas del Área Urbana de Bucaramanga, con base en análisis de macroinvertebrados como bioindicadores y ciencia participativa para contribuir al conocimiento y valoración de este valioso recurso.-

Objetivos Específicos

Realizar una revisión de macroinvertebrados acuáticos a través del uso de la plataforma iNaturalist con el fin de identificar las familias más registradas como bioindicadores.

Analizar la información recopilada a través de una matriz Vester con el fin de priorizar las problemáticas y generar una propuesta de monitoreo de calidad de agua de cañadas urbanas.

Desarrollar un plan de monitoreo de la calidad del agua de cañadas urbanas a través de la participación ciudadana liderada por semilleros de investigación con el fin de ser replicado y contribuya a la apropiación social del conocimiento de las fuentes hídricas urbanas.

Estado del Arte

Son pocos los estudios encontrados referentes a trabajos de fuentes hídricas en áreas urbanas, se menciona el de Souto et al. (2011) quienes investigaron la influencia de variables físicas y químicas sobre las comunidades de macroinvertebrados bentónicos a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica en cuatro arroyos (Cabeceira do Lageado, Buritizinho, Lobo y Bons Olhos), uno en un área preservada y tres en el área urbana en la cuenca del río Uberabinha región central de Brasil. Los resultados evidenciaron valores bajos de DBO, DQO, tamaño de sedimento, conductividad, detergentes, pH, sólidos depositados y sólidos disueltos totales en los arroyos urbanos. Respecto a los macroinvertebrados, los grupos sensibles a la contaminación como son Ephemeroptera y Trichoptera se asociaron a los arroyos en el área preservada, y los grupos más tolerantes como Chironomidae y Oligochaeta tuvieron mayor abundancia en los arroyos del área urbana. El estudio resalta la importancia de comprender la relación entre las variables abióticas y la fauna bentónica para comprender los procesos ecológicos y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Otro estudio para mencionar es el titulado “Monitoreo ambiental participativo de calidad del agua: la comunidad escolar como socio en la conservación de la biodiversidad” tuvo como objetivo, implementar un programa de Monitoreo participativo de cuencas en base a parámetros físicos, químicos y comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua en los ecosistemas urbanos de la región área metropolitana de Belo Horizonte, parte alta de la cuenca del río São Francisco, Brasil. El Monitoreo se hizo de manera participativa con 30 escuelas públicas donde se realizó a), la formación de educadores a través de un curso de 8 horas. b), visitas a las escuelas con una exposición interactiva que aborda la importancia del agua y promueve su conservación con el uso de macroinvertebrados bentónicos como

bioindicadores de calidad del agua y herramienta útil en actividades de educación ambiental, c) Visitas a colegios participación del proyecto, Joven limnólogo donde los profesores y estudiantes monitorearon de corrientes cercanas a sus instituciones durante 6 meses, d) Seminario Final (presentación de resultados e intercambio de experiencias), con presentaciones de los estudiantes sobre los resultados alcanzados en el seguimiento de corrientes cercanas a sus escuelas. Los resultados clasificaron 14 ecosistemas como impactados, 10 como alterados y solo 6 como aún naturales. El bajo nivel de conservación de las condiciones ecológicas en las que se encuentran los ecosistemas acuáticos urbanos resalta la fragilidad de las microcuencas en las regiones urbanas y rurales de Minas Gerais. Actividades como el “monitoreo participativo” brindan a la comunidad escolar capacitación y acceso a información sobre el estado ecológico de arroyos y lagos de su región, generando conocimiento a favor de la importancia de conservar estos recursos hídricos. La formación de docentes y estudiantes representa una herramienta para el ejercicio de la ciudadanía, contribuyendo efectivamente a la sensibilización de los actores sociales y apoyando la implementación de medidas de gestión ambiental en los ecosistemas urbanos. (França, 2017).

En Colombia se han efectuado algunos trabajos sobre biomonitoreo y uso de macroinvertebrados acuáticos como el estudio de Walteros (2017), que pretende reconocer la importancia de la participación de los actores sociales en las cuencas del Otún y Consota para que en el futuro sean parte de los procesos de adquisición social del conocimiento sustentados en los principios de la ciencia ciudadana. Este estudio se llevó a cabo durante seis años durante los cuales se llevaron a cabo 20 talleres participativos con diferentes actores tales como: empleados públicos, líderes sociales de Pereira-Cuba, grupos de estudiantes y centros de investigación en escuelas y facultades de ciencias ambientales de la Universidad Técnica de Pereira, y ciudadanía

en general, quienes conforman un grupo de más de 70 personas. En los talleres se llevaron a cabo jornadas activas de consulta, donde se realizaron actividades como un protocolo de evaluación ecológica rápida, que incluyó descripción del hábitat y evaluación visual e identificación de campo de macroinvertebrados acuáticos y otros organismos acuáticos lo que permitió a estos actores participar activamente en sus regiones y reproducir experiencias, implementar protocolos e identificar problemas y conflictos ambientales para impulsar la ciencia ciudadana.

Otro trabajo desarrollado por el Instituto Humboldt para el proyecto Páramo Andino en el 2008 fue la guía titulada “Manual de monitoreo del agua para el investigador local”, la cual es una herramienta para las comunidades que viven cerca de las fuentes hídricas, pues estos actores son más cercanos a conocer sus características y quienes en su condición de beneficiarios directos están en la obligación directa de mantenerlas en buen estado. Estos residentes son investigadores locales cuyo trabajo es observar, medir y registrar aspectos físicos, químicos y biológicos del agua, con el apoyo técnico del personal del Instituto Humboldt. De igual forma, el proceso colaborará con algunas de las universidades del país y con una red global que facilite actividades que permitan el intercambio de experiencias y establecer comparaciones con las actividades de seguimiento y control de otros países del mundo (Silva, 2008).

La Guía de campo de los macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Menzuly en Santander, Colombia fue realizada por un grupo de docentes con la colaboración de un grupo de estudiantes de la UPB adscritos al semillero de investigación en biodiversidad, es una herramienta innovadora y económica que permitirá evaluar la calidad del agua de ríos y quebradas, brindando información para tomar decisiones y establecer políticas de descontaminación a nivel regional y nacional. En este trabajo se menciona que, en los últimos años, la cuenca de la quebrada Menzuly ha sufrido contaminación debido a las descargas de

aguas residuales de industrias, poblaciones urbanas y rurales que viven cerca de ella. Esta cuenca está ubicada entre los municipios de Piedecuesta y Floridablanca. Para esto utilizaron la metodología BMWP/COL como índice para evaluar los macroinvertebrados y el índice ICA para el análisis fisicoquímico del agua, definieron doce puntos de monitoreo a lo largo del cauce, según los resultados se evidencia un deterioro en el cauce de la Quebrada desde su origen hasta su desembocadura en el Río Frío, también se evidencia diferencias en las poblaciones de macroinvertebrados entre las épocas climáticas evaluadas. Durante el período lluvioso, hubo más turbulencia en el agua debido a la deforestación en la cuenca, lo que resultó en un aumento del arrastre de sólidos y una dilución de la materia orgánica y minerales. Esto se reflejó en concentraciones más bajas y una disminución de organismos en el cauce. Como conclusión se resalta el monitoreo físico-químico y las evaluaciones hidrobiológicas importantes herramientas para generar información complementaria para evaluar la calidad de las cuencas y contribuir al conocimiento de la biodiversidad acuática. (Gamarra et al., 2012)

En Bucaramanga González y Peralta (2023), desarrollaron el estudio de determinación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados como bioindicador a través de la ciencia ciudadana en el sector los pantanos de la cañada quebrada seca, aplicando la metodología BNWP/COL, trabajo realizado por estudiantes de semilleros de investigación del Colegio Andrés Páez de Sotomayor con apoyo del semillero GAMAS Grupo Ambiental Alternativas sostenibles de las Unidades Tecnológicas de Santander, encontrándose una calidad crítica debido al vertimiento de aguas residuales y explotación de manera inadecuada de arena de esta cañada, además de la mala disposición de basuras en su cauce, esto evidenciado a través de recorrido por la zona de estudio y el uso de la cartografía social. Como producto también se genera una guía de monitoreo de macroinvertebrados que contribuye al monitoreo de la calidad de agua, por medio

del uso de la aplicación iNaturalist. Estos resultados representan una amenaza para la comunidad y el ecosistema y son un claro ejemplo de la condición en la que se encuentran muchas quebradas en la ciudad. Esto evidencia la necesidad de un mayor control y atención por parte de los organismos y autoridades responsables para garantizar la calidad y preservación de estos importantes recursos hídricos y se propone que el semillero siga realizando monitoreo de la cañada, ejercicio que debería ser replicado en las demás cañadas urbanas de la ciudad.

Marco Referencial

Marco Teórico

La **Calidad de agua** se define según la Organización Mundial de la Salud (OMS) como el agua potable, que no representa riesgos significativos para la salud durante toda la vida, considerando las diferentes sensibilidades de las personas en distintas etapas de su vida. El agua presenta características variables que la hacen única según su origen y proceso. Estas características se pueden medir y clasificar en términos físicos, químicos y biológicos del agua, en este sentido la **Bioindicación** es una metodología que utiliza organismos vivos, ya sean animales o vegetales, para evaluar el grado de contaminación y la calidad de un recurso. Algunas ventajas de esta metodología incluyen: ciclos de vida relativamente cortos en comparación con los peces, lo que les permite disminuir rápidamente los cambios ambientales mediante alteraciones en la estructura de sus poblaciones y comunidades; amplia distribución y facilidad de recolección debido a su tamaño visible a simple vista; hábitat en sedimentos donde se acumulan toxinas, las cuales se incorporan a la cadena alimentaria a través de estos organismos; sensibilidad a perturbaciones y capacidad de respuesta a sustancias contaminantes presentes en el agua y los sedimentos.

Por otro lado, los **macroinvertebrados acuáticos** son organismos visibles a simple vista y generalmente tienen un tamaño mayor a 0,5 mm. Incluyen especies como poríferos, hidrozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gasterópodos y bivalvos. Estos organismos habitan en el fondo de lagos y ríos, en rocas y troncos sumergidos, en vegetación flotante o enraizada, y algunos también nadan libremente en el agua o sobre la superficie. Son útiles para evaluar el impacto de aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales y otras actividades humanas que disminuyen la calidad del agua.

Algunos macroinvertebrados, como hidrozooos, turbelarios, anélidos y moluscos, pasan toda su vida en el agua, mientras que otros, como muchos insectos, tienen una etapa larval acuática y una etapa adulta terrestre y voladora. (Roldán, 1997).

El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos, se remonta al siglo XIX, cuando en Europa una serie de investigadores, encuentran una relación entre ciertas especies según la calidad del agua en la que se encuentran. En Colombia los primeros estudios fueron realizados por Gabriel Roldán en la década de los setenta donde existía poca información y que se mejoró en los años ochenta con la elaboración de las claves taxonómicas para cada uno de los grupos macroinvertebrados acuáticos existentes. (Roldán, 2016).

Los macroinvertebrados, debido a su sensibilidad y su capacidad para reflejar las perturbaciones en su morfología, son considerados de gran valor para detectar y monitorear distintos tipos de presiones humanas, como la contaminación orgánica, la eutrofización y los cambios en el caudal o la forma del lecho, entre otros. Estos invertebrados, que viven en ríos, tienen ciclos de vida que pueden durar desde menos de un mes hasta más de un año, lo que resulta en una gran variabilidad en las comunidades no solo en términos espaciales, sino también en el tiempo. Gracias a estos ciclos de vida y sus características particulares, estos organismos pueden utilizarse como indicadores de perturbaciones a medio y largo plazo, y junto con otras especies, complementan las respuestas al estrés fisiológico al que a menudo se enfrentan (CORPONOR, 2020).

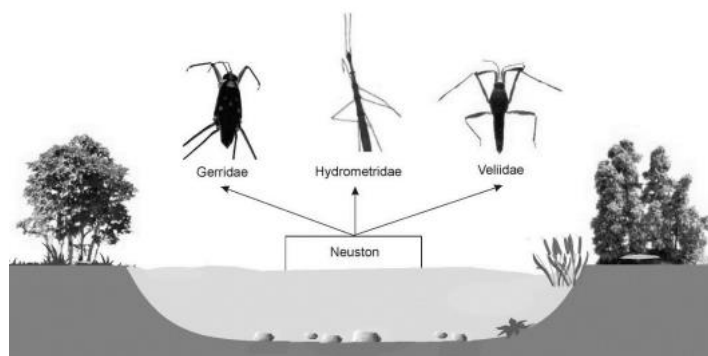
Según su adaptación y forma de vida los macroinvertebrados se pueden ubicar en diferentes hábitats de la fuente hídrica y de acuerdo a esto se clasifican de la siguiente manera:

Neuston: Son el conjunto de organismos que habitan en la superficie del agua y se desplazan caminando, patinando o brincando. Su capacidad para mantenerse en la superficie se debe a una capa cerosa que recubre sus uñas, patas y exoesqueleto, lo cual les proporciona impermeabilidad y les permite doblar la superficie del agua superando la tensión superficial. (Arango, 2005).

La figura 1 titulada “Macroinvertebrados que conforman el neuston de un ecosistema acuático” muestra las familias representativas de este hábitat como son: Gerridae, Hydrometridae y Veliidae del Orden Hemiptera.

Figura 1

Macroinvertebrados que Conforman el Neuston de un Ecosistema Acuático.

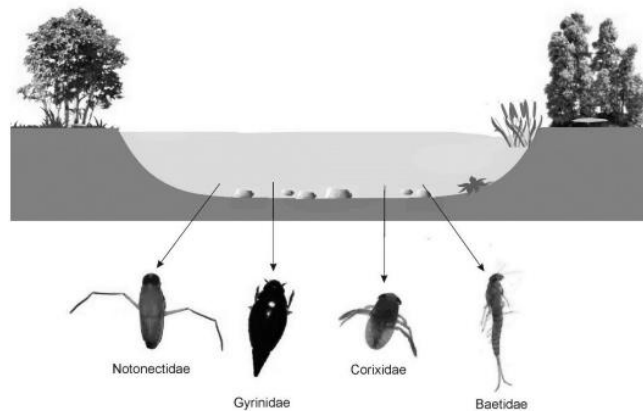


Fuente. Arango, 2005

Necton: Está integrado por organismos que tienen la capacidad de nadar y desplazarse activamente en la columna de agua. La figura 2 muestra algunas de las familias de macroinvertebrados que conforman el necton: Corixidae y Notonectidae del orden Hemiptera (Heteroptera), Dytiscidae, Gyrinidae e Hydrophilidae del orden Coleoptera, y Baetidae del orden Ephemeroptera (Arango, 2005).

Figura 2

Macroinvertebrados que Conforman el Necton en un Ecosistema Acuático

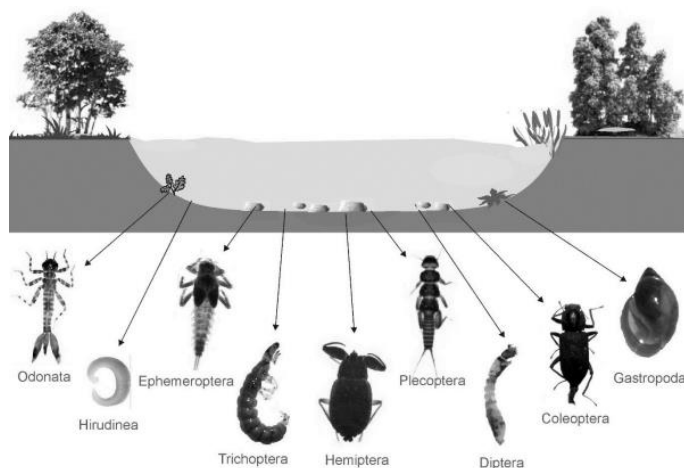


Fuente. Arango, 2005

Bentos: Esta conformado por organismos que se entierran en los sedimentos, se adhieren a rocas, troncos, restos de vegetación y otros sustratos o se deslizan sobre el fondo del agua. Algunos representantes principales de este grupo se pueden visualizar en la figura 3 que aparece a continuación con los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera, Diptera, Mollusca y algunos Hemiptera (Heteroptera), entre otros. Algunos otros se entierran a cierta profundidad, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera), mientras que algunos, como la familia Blephariceridae (Diptera), se adhieren firmemente a las rocas mediante ventosas abdominales. También hay especies del orden Odonata (Zygoptera) que se adhieren a la vegetación acuática sumergida o emergente (Arango, 2005).

Figura 3

Macroinvertebrados que Conforman el Bentos en un Ecosistema Acuático.



Fuente. Arango, 2005

El Índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party) se puede definir como un método que es ampliamente utilizado en ingeniería ambiental y estudios ambientales para evaluar la calidad del agua. Se basa en el uso de macroinvertebrados como bioindicadores, lo que permite obtener una estimación rápida y económica de la salud del ecosistema acuático. El método se originó en Inglaterra en 1970 y ha sido adaptado para su uso en Colombia por el profesor Gabriel Roldán. Este índice utiliza datos cualitativos de la presencia o ausencia de diferentes grupos de macroinvertebrados, asignándoles un puntaje de acuerdo con su tolerancia a la contaminación orgánica. La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP, que refleja la calidad del agua (Roldán, 2003).

Los **parámetros fisicoquímicos** son aquellos que describen las características del agua perceptibles a través de los sentidos y mediciones físicas y químicas. Estos parámetros incluyen los sólidos suspendidos, la turbidez, el color, el sabor, el olor, la conductividad y la resistividad. Estas propiedades son fundamentales para evaluar la calidad del agua y comprender su idoneidad

para diversos usos, como el consumo humano o el soporte de vida acuática, a continuación, se definen los parámetros físico-químicos según Pérez & Restrepo de 2008.

Oxígeno disuelto: Es la cantidad de oxígeno presente en el agua y es vital para mantener la vida en los cuerpos de agua. Los organismos acuáticos, como los peces y otros animales acuáticos, dependen del oxígeno disuelto para respirar. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua puede variar según factores como la temperatura, la presión atmosférica y la presencia de organismos fotosintéticos.

pH: Es una medida que indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en una sustancia. En el contexto del agua, el pH es un parámetro importante para determinar su acidez o alcalinidad. Un pH neutro es 7, mientras que un pH por debajo de 7 indica acidez y un pH por encima de 7 indica alcalinidad. El pH del agua puede afectar la vida acuática y también puede tener implicaciones en la potabilidad del agua para consumo humano.

Conductividad: es un parámetro que mide la capacidad del agua para conducir la electricidad y está relacionado con la presencia de iones disueltos en el agua. Se expresa en unidades de microsiemens por centímetro ($\mu S/cm$) o siemens por centímetro (S/cm). La conductividad es útil para evaluar la salinidad del agua, ya que las sales disueltas aumentan su conductividad. Además, la conductividad puede ser indicativa de la presencia de contaminantes o nutrientes en el agua.

Ciencia ciudadana: Es una forma de participación y colaboración ciudadana en la toma de decisiones y la generación de conocimiento científico. En el contexto de la ingeniería ambiental, la ciencia ciudadana involucra a los ciudadanos en la recopilación de datos ambientales y en la identificación de problemas y soluciones relacionadas con el medio ambiente.

Las Herramientas TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación): Son recursos fundamentales para la gestión del conocimiento en ingeniería ambiental. Estas herramientas proporcionan servicios útiles en diversos ámbitos y permiten una rápida y adecuada transmisión, generación y difusión de información. En el contexto de la ingeniería ambiental, una herramienta TIC relevante es la aplicación iNaturalist, que fue creada para identificar y documentar especies silvestres de la naturaleza. Esta aplicación permite a los usuarios compartir imágenes y datos de la biodiversidad, contribuyendo así a la investigación científica en este sentido la **Aplicación iNaturalist** es una herramienta tecnológica que fue desarrollada en 2011 por los biólogos Ken-ichi Ueda (japonés) y Scott Loarie (estadounidense). iNaturalist es una red social que permite a los usuarios compartir imágenes y datos de la naturaleza para su estudio científico. Su diseño simple y accesible fomenta la participación de personas interesadas en la biodiversidad. Al observar y documentar la flora y fauna a través de la aplicación, los usuarios contribuyen al estudio y la comprensión de la biodiversidad. A medida que más personas aportan descripciones y observaciones, la base de datos se enriquece, proporcionando valiosa información para la investigación científica.

Monitoreo participativo: El monitoreo ambiental participativo es aquel que tiene como característica principal, la participación de autoridades locales y/o regionales, así mismos ciudadanos que viven en zonas cercanas a proyectos o actividades de empresas que podrían vulnerar la calidad ambiental. Su objetivo primordial es resolver conflictos entre la comunidad y una determinada actividad que presente importancia a nivel de conservación de los recursos naturales (Junco, 2015)

Marco Legal

Ley 99 de 1993

“por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA”. (Congreso de la República de Colombia, 1993).

ARTICULO 31. Funciones. Las Corporaciones Autónomas Regionales ejercerán las siguientes funciones: 12) Establece que se deben llevar a cabo actividades de evaluación, control y seguimiento ambiental para regular los diversos usos del agua, el suelo, el aire y otros recursos naturales renovables. Esto implica supervisar y regular el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos y gaseosos en las aguas, el aire y los suelos, con el objetivo de evitar daños o riesgos para el desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables, así como impedir u obstaculizar su utilización para otros propósitos. Estas responsabilidades incluyen la emisión de licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos correspondientes.

Decreto 2811 de 1974

“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.” (Presidencia de la República de Colombia, 1974)

Artículo 7.- Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano.

Artículo 8.- Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros:

a.- La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales.

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.”

Artículo 15. Define bioensayo acuático al procedimiento por el cual las respuestas de organismos acuáticos se usan para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.

Artículo 24. Para el establecimiento de los modelos de simulación de calidad, la Entidad Encargada del Manejo y Administración del Recurso. -EMAR deberá realizar periódicamente, a partir de la vigencia del presente Decreto los análisis pertinentes para obtener, por lo menos, la siguiente información:

DBO₅: Demanda Bioquímica de oxígeno a cinco (5) días. DQO: Demanda Química de Oxígeno. SS: Sólidos suspendidos. pH: Potencial del Ion Hidronio, H⁺. T: Temperatura. OD: Oxígeno disuelto. Q: Caudal. Datos Hidrobiológicos. Coliformes (NMP).

Artículo 90. En ningún caso se permitirán vertimientos de residuos líquidos que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos señalados en el presente Decreto.

Artículo 91. No se admite ningún tipo de vertimiento:
En las cabeceras de las fuentes de agua. b) En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará, en cada caso, la EMAR conjuntamente con el Ministerio de Salud) En aquellos cuerpos de agua que la EMAR y el Ministerio de Salud, total o parcialmente declaren especialmente protegidos.

Decreto 1076 de 2015

Artículo 2.2.3.1.1.5. *De los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.* “Los instrumentos que se implementarán para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos establecidos en la estructura del artículo anterior, son: (...) 2. Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, en las Zonas Hidrográficas”.

Artículo 2.2.3.1.4.1. Campo de acción, objetivo y definición de competencias. establece que se llevará a cabo el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico en las Zonas Hidrográficas definidas en el mapa de zonificación ambiental del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Estas zonas serán utilizadas como espacios para evaluar la condición del recurso hídrico y analizar el impacto que las acciones realizadas en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico tienen sobre él.

Artículo 2.2.3.1.4.2. De la Red Regional de Monitoreo del Recurso Hídrico. En el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, la autoridad ambiental correspondiente implementará la Red Regional de Monitoreo en su área de jurisdicción, con el respaldo del Ideam (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) y el Invernar. (República de Colombia, 2015)

Metodología

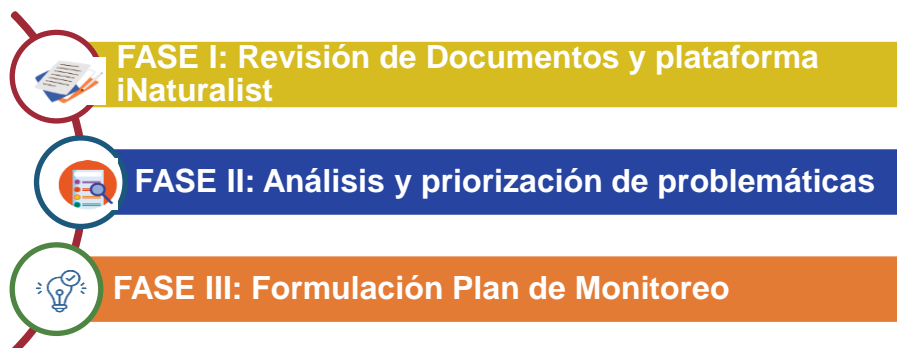
El método utilizado partió del modelo de **investigación-acción-participativa (IAP)** el cual apunta a la producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, reflexión y construcción colectiva de saberes entre los diferentes actores de un territorio con el fin de lograr la transformación social (Zabala, 2006). Aplicando esta metodología donde se le dio la participación a los actores en este caso estudiantes, docentes y padres de familia, se logró ejecutar esta metodología.

Ahora bien, en este proyecto se aplica el IAP desde lineamientos de la política de apropiación social del conocimiento, donde la ciencia, tecnología e innovación, juegan un rol importante desde la formación. A través de las fases aquí desarrolladas se busca aplicar la ciencia participativa para que ese conocimiento que se genere, además, para que mediante el uso de la plataforma iNaturalist se comprenda y contribuya a solucionar los problemas ambientales relacionados con la calidad de las fuentes hídricas urbanas.

Para esto, la metodología aplicada se resume en la figura 4 en donde se mencionan cada una de las fases abordadas en el desarrollo del proyecto:

Figura 4

Fases del Proyecto



Fuente. Autoría Propia

En este sentido, la explicación de lo ejecutado en cada una de las fases se especifica en los siguientes numerales:

Fase I. Revisión de documentos y plataforma iNaturalist

1. Con el fin de garantizar lo mencionado en el primer objetivo que se refiere textualmente a: “Realizar una revisión de macroinvertebrados acuáticos a través del uso de la plataforma iNaturalist con el fin de identificar las familias más registradas como bioindicadores” se realizó una revisión bibliográfica para determinar la información disponible en diferentes partes del mundo respecto a los organismos acuáticos bioindicadores de la calidad del agua.

La información fue recolectada a partir de la plataforma “Google académico”, bases de datos como Scopus, Scielo, Sciencedirect, IOPscience y Springer Science; esto con el fin de contar con el debido soporte internacional a la hora de plantear el correspondiente plan de monitoreo. Para los documentos de origen nacional se realizó la búsqueda en repositorios de

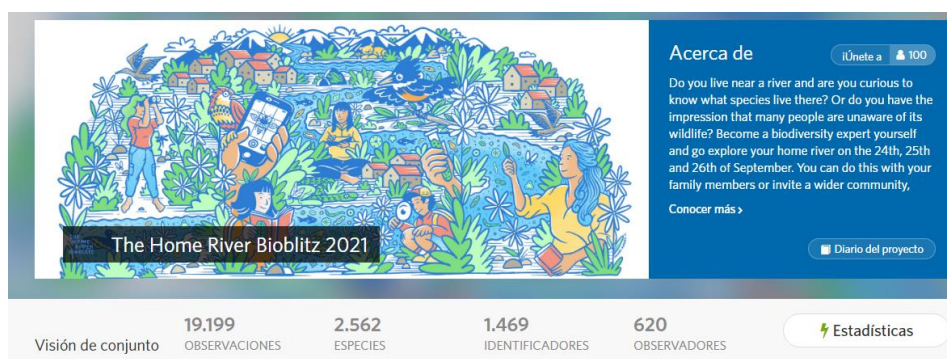
universidades como Universidad Nacional de Colombia, Unilasallista, Universidad Autónoma del Occidente, Unimagdalena, Unimanizales, Universidad Distrital, entre otras, así como en revistas de divulgación científica como Bioetnia, ACCB, Entornos, Caldasia, Acta Biológica Colombiana, y demás que permitieron la búsqueda de documentos, las palabras clave aplicadas fueron “bioindicadores”, “macroinvertebrados”, “calidad del agua”.

A partir de la búsqueda de bibliografía se generaron dos matrices en Excel, donde se organizó la información por título de documento, dirección URL, resumen, tipo de documento, autores, localización y año, permitiendo jerarquizar y definir los bioindicadores mencionados allí. Posteriormente se realizó revisión en la plataforma iNaturalist encontrándose la mayor información en el proyecto “The Home River Bioblitz” para los años 2021 y 2022, esto se puede apreciar en las Figuras 5 y 6.

La revisión generó una base de datos que se evidencia en el (Apéndice A), con esta se lograron filtrar las familias de macroinvertebrados acuáticos, utilizando de referencia el Manual de Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia (Roldán, 2003).

Figura 5

The Home River Bioblitz 2021



Fuente. iNaturalist, 2021 <https://www.homeriverbioblitz.org/hrb2021/>

Figura 6*The Home River Bioblitz 2022*

Fuente. iNaturalist, 2022 <https://www.homeriverbioblitz.org/hrb2022/>

Luego de lo anterior, se descargó una base de datos suministrada por la plataforma iNaturalist donde se filtró la información por observaciones en grado de investigación y categoría, de esta última se seleccionaron moluscos, arácnidos e insectos, buscando obtener información únicamente de macroinvertebrados como bioindicadores. Luego, se consultó el manual de Gabriel Roldán Pérez sobre Bioindicación de la calidad del agua en Colombia (Roldán, 2003), a partir de este se descartaron individuos que no pertenecían a los macroinvertebrados acuáticos y que podrían afectar el planteamiento del plan de monitoreo.

Fase II. Análisis y priorización de problemáticas

Con el fin de garantizar el cumplimiento de lo mencionado en el objetivo específico: “Analizar la información recopilada a través de una matriz Vester con el fin de priorizar las problemáticas y generar una propuesta de monitoreo de calidad de agua de cañadas urbanas”

Con base en la información obtenida en la fase 1, y habiendo reconocido los bioindicadores, se consideró necesario realizar el reconocimiento, análisis y priorización de las problemáticas encontradas en los ríos urbanos, Para realizar dicha labor se utilizó la metodología de matriz de Vester según (Betancourt, 2016), esta herramienta permitió la identificación de las causas y

efectos sobre las problemáticas identificadas respecto a la temática central del proyecto que es la calidad de agua de las fuentes hídricas urbanas de la ciudad de Bucaramanga, esto permitió la valoración y priorización de los problemas los cuales sirvieron de base para el cumplimiento del objetivo del proyecto correspondiente a la formulación de un plan de monitoreo de calidad de agua utilizando macroinvertebrados como bioindicadores y la ciencia participativa, la aplicación de esta herramienta lleva la realización de los siguientes pasos:

En primer lugar, se construyó un listado de las principales problemáticas, posteriormente se estableció el nivel de causalidad entre ellos, valorados a criterio del autor del proyecto.

Tanto en filas como en columnas los problemas listados deben pertenecer al mismo y se asigna una valoración de orden categórico de acuerdo con el grado que merece cada problema, siguiendo las pautas que se plantean a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1

Criterio-causa Matriz de Vester

Calificación	Influencia
0	No causal
1	Causalidad débil
2	Causalidad media
3	Causalidad fuerte

Nota. Adaptado de la Información Suministrada por “*Matriz de Vester Para la Priorización de Problemas*” <https://www.ingenioempresa.com/matriz-de-vester/>.

En este sentido, la tabla 1 muestra que lo que se hace es confrontar los problemas (variables) entre sí basándose en los siguientes criterios de calificación: 0, 1, 2 y 3, ..., n

La matriz facilita la realización del proceso de evaluación que permite establecer verdaderas relaciones causa -consecuencia entre los problemas identificados. La matriz fue elaborada en formato Excel para facilitar con respecto a la valoración. En la figura a continuación se evidencia el formato utilizado y se muestra de forma detallada en los resultados.

Tabla 2*Formato Excel de Matriz Vester*

<i>Nombre</i>	<i>Variable</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>Influencia</i>
<i>P1</i>	<i>Poco conocimiento de la ciudadanía respecto a las fuentes hídricas de su entorno</i>	0							0
<i>P2</i>	<i>Malos hábitos ciudadanos respecto al cuidado de las fuentes hídricas</i>		0						0
<i>P3</i>	<i>Contaminación de fuentes hídricas por malas prácticas de los ciudadanos</i>			0					0
<i>P4</i>	<i>Poca presencia de las entidades que controlan y administran las fuentes hídricas</i>				0				0
<i>P5</i>	<i>Poco interés del sector académico en proyectos relacionados con las fuentes hídricas urbanas</i>					0			0
<i>P6</i>	<i>No existen datos ni acceso respecto a las fuentes hídricas urbanas</i>						0		0
<i>P7</i>	<i>No hay una normatividad clara respecto a la calidad del agua de las fuentes hídricas</i>							0	0
DEPENDENCIA									0

Nota. Adaptado de la Información Suministrada por “*Matriz de Vester Para la Priorización de Problemas*” <https://www.ingenioempresa.com/matriz-de-vester/>

Fuente. Autoría Propia.

La aplicación de la matriz de Vester, como se muestra en la Tabla 2, se dio teniendo en cuenta que es una herramienta que permite el análisis de problemáticas de diversa índole capturando información externa necesaria para poder emitir un juicio con respecto dicha situación, en este sentido se puede definir como una matriz compuesta por una serie de filas y

columnas que exponen tanto horizontal (filas) como verticalmente (columnas) las potenciales causas (variables) de una situación problemática (Betancourt, 2016) .

Los criterios evaluados se relacionan según la calificación otorgada dependiendo de su actividad o pasividad y establece los siguientes problemas:

Los **problemas críticos** el total de los activos y pasivos es alto. Son problemas causados por otros y a su vez son causados por los demás. Son importantes para el análisis.

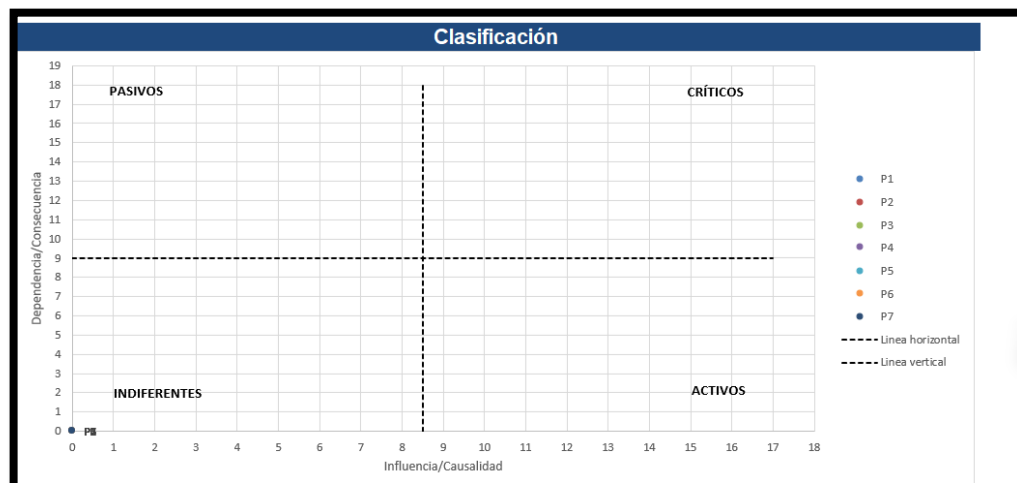
Los **problemas pasivos** los pasivos son altos y los activos bajos. Representan poca influencia causal. Al intervenir los problemas activos, los pasivos deben ser solucionados o mermados.

Los **problemas indiferentes** el total de activos y pasivos es bajo, es decir, ni causan a otros ni son causados. Se consideran de baja prioridad dentro del sistema analizado.

Los **problemas activos** el total de activos es alto y el total de pasivos es bajo. No son causados por otros, pero influyen mucho en los otros criterios. Requieren atención y manejo crucial. Considéralos la causa principal de la situación problemática.

Figura 7

Gráfica de Resultado de Matriz Vester.



Fuente. Autoría Propia

Los resultados de la matriz Vester, ejemplificados en la figura 7 permitieron facilitar la formulación del plan de biomonitorio e implementación de un piloto con participación ciudadana el cual contribuirá a mejorar los dos problemas críticos que fueron el desconocimiento sobre las fuentes hídricas urbanas y la poca presencia de las entidades de control, administrativas y academia, lo anterior, según la valoración obtenida.

Fase III. Formulación e implementación del plan de biomonitorio participativo de cañadas del área en urbana de Bucaramanga.

Por último, para buscar el cumplimiento del objetivo específico referido a: “Desarrollar un plan de monitoreo de la calidad del agua de cañadas urbanas a través de la participación ciudadana liderada por semilleros de investigación con el fin de ser replicado y contribuya a la

apropiación social del conocimiento de las fuentes hídricas urbanas”.

y como resultado de todas las fases planteadas anteriormente, fue posible generar un plan de monitoreo basados en la Investigación – acción – participación de tal forma que se pueda replicar en otros cuerpos de agua siguiendo las siguientes etapas:

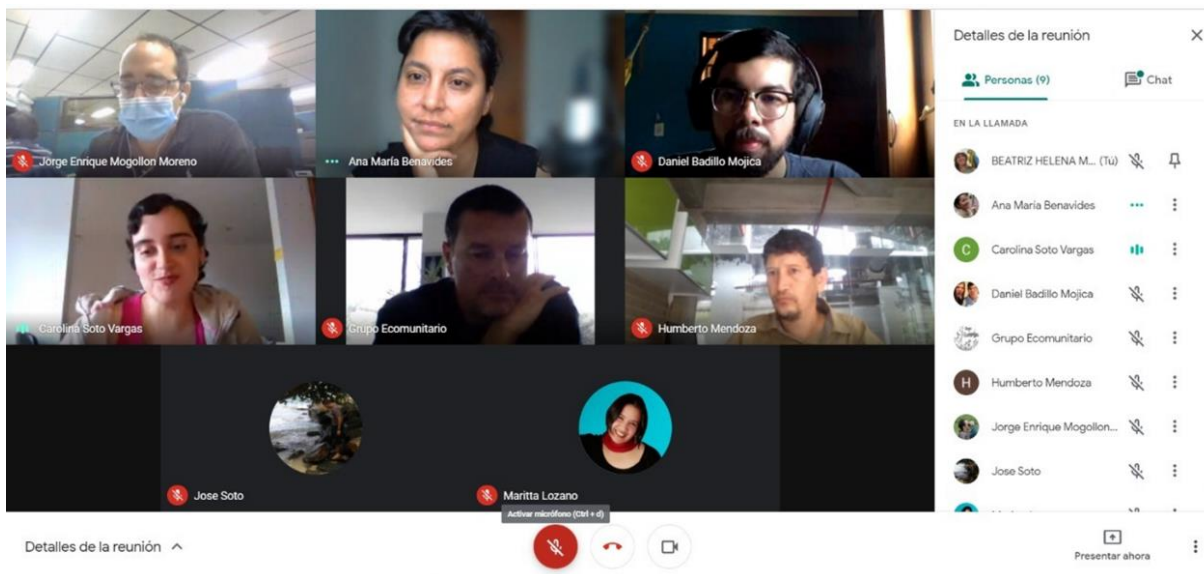
Etapas de Planeación.

Para iniciar esta etapa se hizo la revisión por medio de imágenes satelitales en Google earth y cartografía existente, con el fin de identificar las fuentes hídricas del área urbana de la ciudad de Bucaramanga. Esta etapa puede implementarse por todas las entidades/personas que quieran llevarlo a cabo debido a que se apoya en sistemas de información geográfica.

En esta etapa también se acompañó y participó en reuniones virtuales con el comité organizador del Reto Naturalista Urbano del 2022, este reto es un evento de ciencia participativa realizado anualmente, en el que la ciudad de Bucaramanga ha participado desde el año 2021 junto a cuatro ciudades más: Bogotá, Medellín, Cali y Pereira y es promovido desde el grupo de ciencia participativa del Instituto Alexander von Humboldt, y Bucaramanga está representado por miembros organizadores locales Beatriz Mojica y Daniel Badillo que pertenecen a Las Unidades Tecnológicas de Santander y a la Sociedad ornitológica del nororiente Andino Sonora.

Figura 8

Imagen Encuentro Virtual Equipo Nacional de Apoyo en Ciencia Participativa.



Fuente. Equipo Nacional de Apoyo en Ciencia Participativa, 2022

Por último, cabe mencionar que El equipo organizador local está integrado por la subdirección de medio ambiente, la CDMB, el jardín botánico Eloy Valenzuela y otras organizaciones como la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas ACCB, biótica Consultores, la Sociedad ornitológica del nororiente Andino SONORA, el colegio Reggio Amelia, semillero de investigación en Hidrobiología de la Universidad Industrial de Santander UIS y el semillero Grupo Ambiental Alternativas Sostenibles GAMAS de las Unidades Tecnológicas de Santander UTS (tal como se muestra en la Figura 8 y los logos de estos organismos se muestran en la Figura 9). De estas reuniones se priorizaron y seleccionaron las estaciones de muestreo considerando, la accesibilidad, seguridad y ausencia de descargas de ríos tributarios en el lugar seleccionado correspondientes a la Quebrada La joya, La Rosita y la Iglesia.

Figura 9

Logos de los Miembros del Equipo Organizador y Apoyo Local del Reto Naturalista Urbano.



Fuente. Equipo Organizador Local Reto Naturalista Urbano, 2023

Así mismo, cabe mencionar que en esta etapa también se participó de capacitaciones virtuales y presenciales con estudiantes de los semilleros del colegio Andrés Páez de Sotomayor y del semillero GAMAS de las Unidades Tecnológicas de Santander sobre la metodología de muestreo a utilizar y el uso de la plataforma iNaturalist para la toma de registros fotográficos que ayudan a la identificación por parte de los expertos de las familias de macroinvertebrados que se colectaron. En esta etapa fue importante también la definición de las estaciones de muestreo del plan de monitoreo donde se tomaron los datos fisicoquímicos y de macroinvertebrados, la evidencia de esto se refleja en las figuras 10 y 11.

Figura 10*Capacitaciones Virtuales Realizadas*

Fuente. Equipo Organizador Local Reto Naturalista Urbano, 2023

Figura 11*Capacitaciones Presenciales Realizadas*

Fuente. Equipo Organizador Local Reto Naturalista Urbano, 2023

Etapa de Campo

Con el fin de brindar el rigor científico al plan de monitoreo, se planteó la ejecución de muestreos en esta etapa, que se realizaron durante el evento de del Gran Bioblitz del sur del 2022 que fue realizado del 28 al 31 de octubre, coincidiendo con la época de lluvias en las tres cañadas seleccionadas con tres muestras en cada punto y una distancia de 10 metros una de otra que fueron combinadas y se utilizando la metodología que a continuación se explica.

Toma de Muestras Parámetros Fisicoquímicos: Se midieron los parámetros fisicoquímicos in situ: Oxígeno Disuelto, Conductividad, pH y Temperatura con un equipo HANNA calibrado, y se utilizó agua destilada para su limpieza y guantes de latex para su manipulación, también se utilizó para tomar la muestra en un recipiente plástico estéril, los datos fueron registrados en la bitácora de campo.

Toma de Muestras Parámetros Biológicos: Se tomaron muestras para evaluar la calidad del medio acuático basándose en los organismos que lo habitan, utilizando como guía el Manual de Monitoreo del Agua para el Investigador Local del Instituto de Investigación Humboldt (Silva, 2008). La toma de estas muestras no requirió equipos especializados, pero si precisará de los siguientes materiales:

Materiales para toma de muestra de parámetros biológicos

Nasa o red manual.

Bandeja plástica de color claro.

Coladores y pinzas de punta fina.

Recipientes plásticos y alcohol.

Cinta de enmascarar y marcador de tinta indeleble.

Libreta de apuntes y lápiz.

La muestra se tomó siguiendo el procedimiento planteado en el Manual de monitoreo del agua para el investigador local (Silva, 2008). El cual consistió en los siguientes pasos:

Ubicación en el centro de la quebrada de la persona que va a tomar la muestra.

Golpear suavemente el suelo con los pies para que el sustrato removido pase a la red de arrastre en dirección a la corriente de la quebrada.

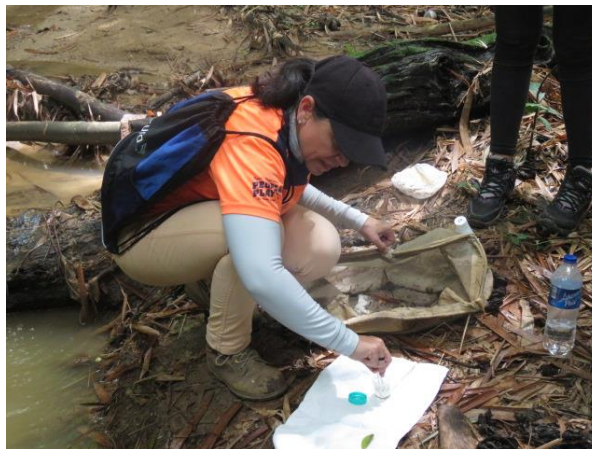
Recolección de macroinvertebrados mediante el levantamiento de troncos y piedras.

Llevar el material recolectado a bandejas y separar el exceso de sedimento con agua de la misma quebrada.

Repetir el proceso de muestreo hasta cubrir una distancia de 10 metros a lo largo de la quebrada o hasta recolectar todos los grupos de macroinvertebrados presentes. (esto se ejemplifica en la figura 12)

Figura 12

Toma de Muestras Biológicas Para Identificar los Macroinvertebrados.



Fuente. Autoría Propia

Etapas de Análisis

Por último, todo plan de monitoreo requerirá de un análisis de muestras, por lo que los individuos colectados en las muestras biológicas se registraron mediante fotografías en un estereoscopio, esto se realizó en laboratorio de las Unidades Tecnológicas de Santander en compañía de los semilleros del colegio Andrés Páez y del semillero GAMAS y se puede observar en la figura 13. Estos registros se cargaron en la plataforma iNaturalist en el Reto Naturalista Urbano del 2023, con su respectiva georreferenciación. Posteriormente los expertos en esta plataforma realizaron la identificación taxonómica de las fotografías registradas.

Figura 13

Registro Fotográfico de Macroinvertebrados de las Muestras Recolectadas.



Fuente. Autoría Propia.

Finalmente, se calculó el índice BMWP (Índice Biológico de la Calidad del Agua) utilizando un sistema de puntuación de presencia-ausencia para las familias de macroinvertebrados recolectados. Este índice proporcionará información sobre la tolerancia de los grupos de macroinvertebrados a la contaminación, asignándoles un valor del 1 al 10.

Tabla 3

Clasificación de las Aguas y su Significado Ecológico de Acuerdo con el Índice BMWP

CLASE	VALOR	SIGNIFICADO	COLOR
I	>120	Aguas Limpias	AZUL
	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	AZUL
II	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	VERDE
III	36-60	Aguas Contaminadas	AMARILLO
IV	16-35	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	<15	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

Nota. Adaptado del Artículo del Autor. *Fuente.* Arango, 2005

Tabla 4

Puntaje de las Familias de Macroinvertebrados Acuáticos Para el Índice BMWP/Col

<i>Familia</i>	<i>Puntaje</i>
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamocetaridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, , Lampyridae, Lymnessidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Pholytoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Psephenidae</i>	9
<i>Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Velidae.</i>	8
<i>Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalelidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Plaraniidae, Psychodidae, Scirtidae.</i>	7
<i>Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.</i>	6
<i>Belostomasteidae, 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. Roldán, 2003

Los parámetros fisicoquímicos fueron evaluados con el índice de Calidad de Aguas Superficiales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005), luego se compararon los resultados obtenidos con los estándares establecidos en las Tablas 3 y 4 para evaluar la calidad del agua en las cuencas urbanas estudiadas.

Resultados

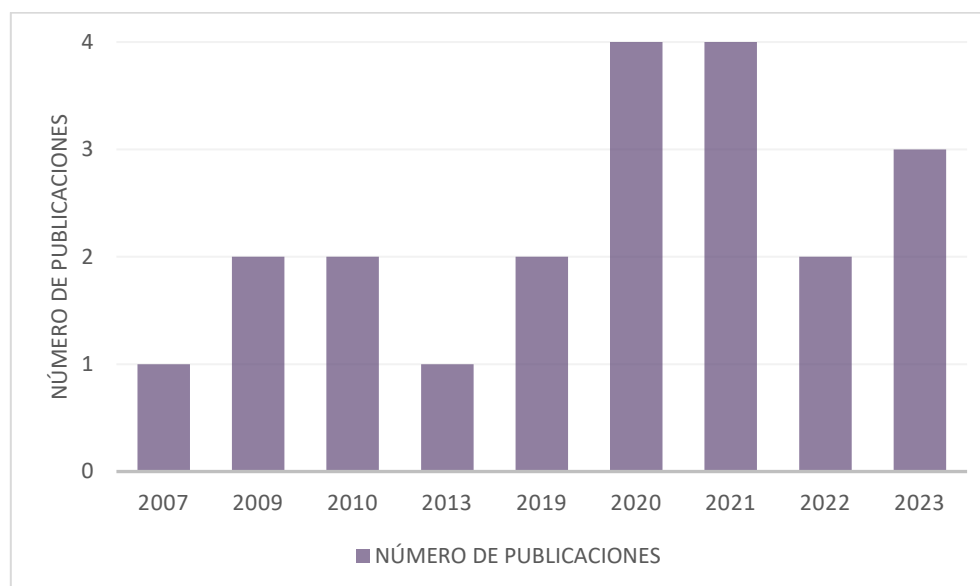
Con el fin de definir los componentes requeridos para la formulación del plan de monitoreo, a continuación, se muestran los resultados de cada una de las fases metodológicas aplicadas, así:

Realizar una revisión de macroinvertebrados acuáticos a través del uso de la plataforma iNaturalist con el fin de identificar las familias más registradas como bioindicadores.

Analizar la información recopilada a través de una matriz Vester con el fin de priorizar las problemáticas y generar una propuesta de monitoreo de calidad de agua de cañadas urbanas.

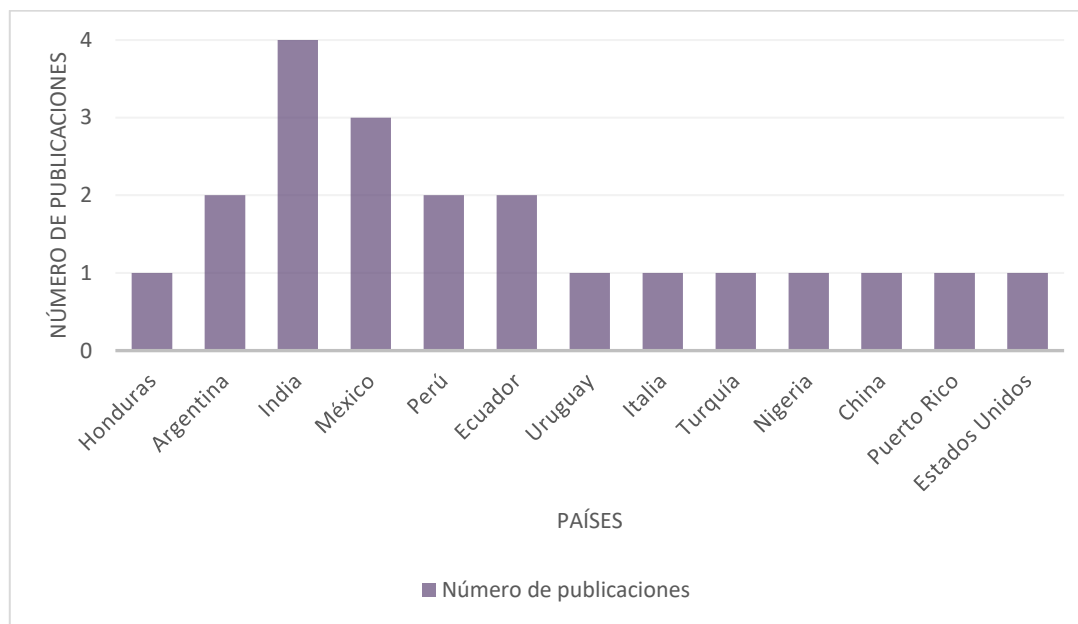
Desarrollar un plan de monitoreo de la calidad del agua de cañadas urbanas a través de la participación ciudadana liderada por semilleros de investigación con el fin de ser replicado y contribuya a la apropiación social del conocimiento de las fuentes hídricas urbanas.

A partir de la revisión bibliográfica planteada en la Fase 1 de la metodología se encontraron 21 documentos a nivel internacional relacionados con la temática de evaluación de la calidad del agua, utilizando macroinvertebrados. En la figura 13, se puede evidenciar que los documentos encontrados tienen un tiempo de publicación desde el año 2007 al 2023; los años 2020, 2021 y 2023 se destacan como los años con mayor desarrollo investigativo en el marco de los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, lo que muestra que hubo una difusión y aplicación más amplia de los macroinvertebrados acuáticos en distintos campos del saber en los últimos años, como se observa en el Apéndice A.

Figura 14*Número de Publicaciones por Año*

Fuente. Autoría Propia

A partir de la figura 15, se observa que los países con mayor influencia de investigación en la temática de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua son India y México con 4 y 3 estudios respectivamente; seguidos de Argentina, Perú y Ecuador con 2 publicaciones; con una publicación se encuentran Honduras, Italia, Turquía, Nigeria, China, Puerto Rico y Estados Unidos.

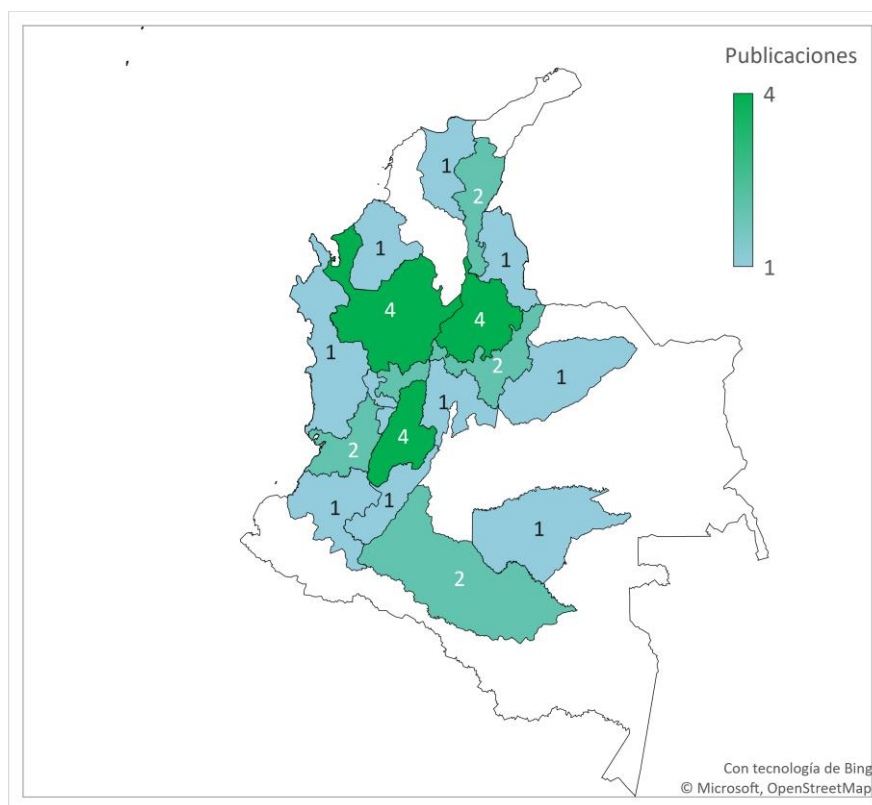
Figura 15*Número de Publicaciones por País**Fuente. Autoría Propia*

Posteriormente a la revisión de documentación internacional, se realizó la búsqueda de documentos publicados en Colombia; estos fueron buscados en motores de búsqueda mencionados en el desarrollo del trabajo de grado. Se encontraron 35 documentos, se filtró la información desde el año 2008 al 2023 para tener un intervalo de tiempo amplio, también se realizó la búsqueda tratando de encontrar documentos para cada departamento del país. En la figura 18 se pueden observar las publicaciones realizadas por departamentos, se destacan los departamentos de Antioquia, Santander y Tolima con cuatro publicaciones, después Caldas, Valle del Cauca, Cesar, Caquetá y Boyacá, con dos publicaciones; por último, están los departamentos de Norte de Santander, Guaviare, Risaralda, San Andrés, Cauca, Cundinamarca, Quindío, Huila, Chocó, Córdoba, Casanare y Magdalena.

Es importante resaltar que en la mayoría de los departamentos del país se han estado realizando investigaciones implementando a los macroinvertebrados para los estudios de calidad del agua. Estos sin embargo han sido realizados en ecosistemas naturales y muy pocos se encontraron para zonas urbanas, y ninguno para el municipio de Bucaramanga.

Figura 16

Publicaciones por Departamentos



. Fuente. Adaptado y Elaborado por la Autora

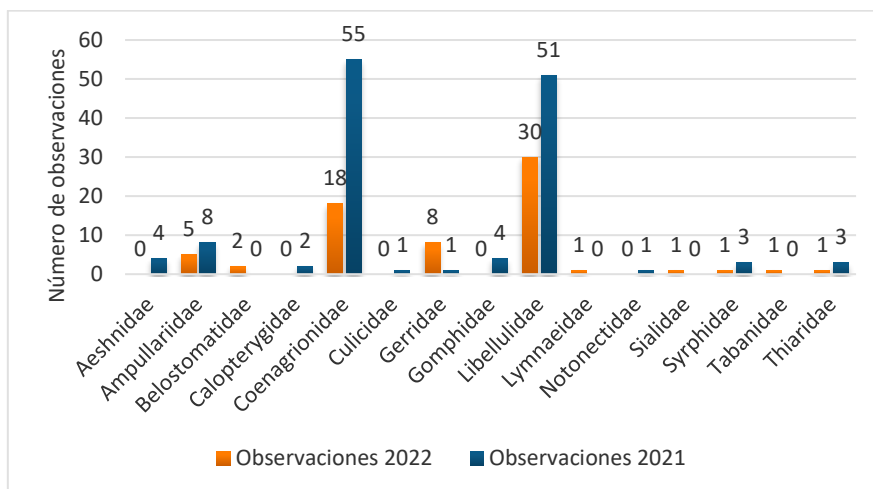
Datos disponibles de la plataforma iNaturalist en organismos acuáticos.

Para cerrar esta fase, los resultados de la revisión de la plataforma iNaturalist muestran que el proyecto donde se registra la mayor cantidad de datos es “The Home River Bioblitz” el cual se ha realizado a partir del año 2020 del 23 al 25 de septiembre, su temática es promover la participación de las diversas comunidades en la toma de registros de biodiversidad en ambientes periféricos a fuentes hídricas de diferentes ciudades del mundo (River Collective, 2020). Colombia participa de este evento desde el año 2021, con registros de las ciudades de Pereira, en el departamento de Risaralda y Puerto Gaitán en el departamento del Meta.

El filtro aplicado arrojó un total de 10 familias, como se muestra en la tabla 7, registradas para el 2021, de las 2.562 especies que fueron observadas en el proyecto (iNaturalist, 2021), y 11 familias para el 2022, de 3.742 especies registradas en el proyecto (iNaturalist, 2022). Se evidencia que las familias más observadas de macroinvertebrados en los eventos del proyecto para los años 2021 y 2022 fueron Coenagrionidae y Libellulidae, las siguientes más registradas fueron Gerriade y Ampullariidae.

Figura 17

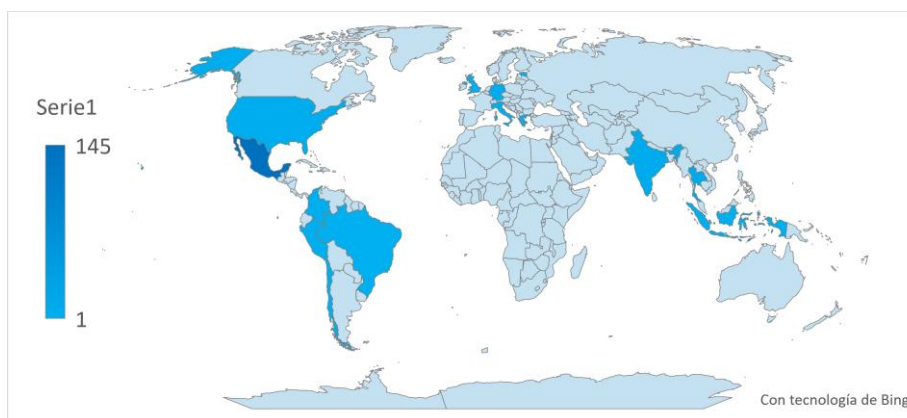
Familias Observadas a Nivel Mundial en la Plataforma iNaturalist 2021 vs 2022



Fuente. Autoría Propia

Figura 18

Mapa de Observaciones por Países



Fuente. Adaptado, Autoría Propia

En la Figura 18 Se evidencian los países con registros entre el año 2021 y 2022, el más destacado es México, con 145 registros de macroinvertebrados acuáticos, sigue Tailandia con 12

registros, Alemania e India con 9, Estados Unidos con 5 registros, Chile y Colombia con 4 registros, Perú e Indonesia con 3 registros, Italia y Grecia con 2 y Brasil, Estonia y Reino Unido con un registro, para un total de 201 registros en 14 países.

Esto permitió determinar los macroinvertebrados que cuentan con una mayor presencia en los cuerpos de agua y frente a los que se establecieron los parámetros mencionados en la formulación del plan de monitoreo.

Priorización de problemas identificados en las fuentes hídricas

Con la información previa y según los resultados de la valoración de la matriz de Vester desarrollada en la Fase 2, el poco conocimiento respecto a las fuentes hídricas de su entorno y la poca presencia de las entidades que contralan y administran las fuentes hídricas son los problemas críticos que junto a los activos, poco interés del sector académico en proyectos relacionados con las fuentes hídricas urbanas evidenciado en la ausencia de estudio, proyectos de grado e investigaciones, además de la no existencia de una normativa clara respecto a la calidad del agua de las fuentes hídricas urbanas se muestran como las principales problemáticas, pues a pesar de existir una normativa, la entidad competente en Bucaramanga CDMB, no tiene implementado un monitoreo de las fuentes hídricas urbanas. Esta información permitió realizar un análisis para formular la siguiente propuesta de monitoreo para la ciudad de Bucaramanga.

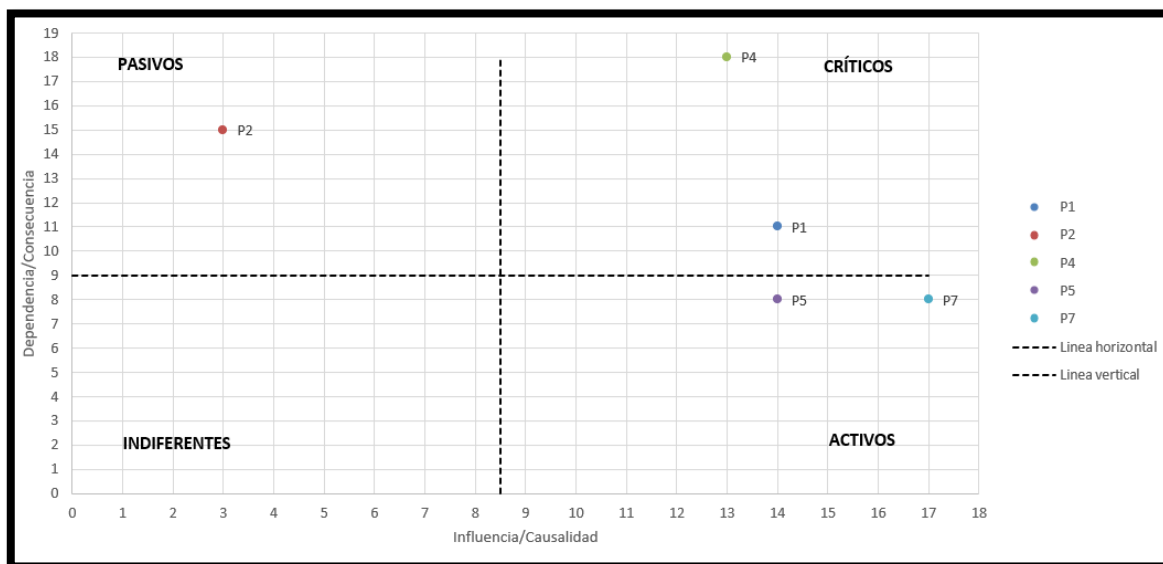
Tabla 5*Resultados Matriz Vester*

<i>Código</i>	<i>Variable</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>INFLUENCIA</i>
<i>P1</i>	Poco conocimiento de la ciudadanía de las fuentes hídricas en su entorno.	0	3	3	2	3	2	1	14
<i>P2</i>	Malos hábitos ciudadanos respecto al cuidado de sus fuentes hídricas	0	0	3	0	0	0	0	3
<i>P3</i>	Contaminación de fuentes hídricas por malas prácticas ciudadanas	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>P4</i>	Poca presencia de las entidades que controlan y administran las fuentes hídricas	3	3	3	0	0	3	1	13
<i>P5</i>	Poco interés del sector académico en proyectos relacionados con las fuentes hídricas urbanas	3	3	3	1	0	3	1	14
<i>P6</i>	No existen datos ni acceso a ellos respecto a las fuentes hídricas urbanas	3	3	3	2	2	0	3	16
<i>P7</i>	No hay una normativa clara respecto a la calidad del agua de las fuentes hídricas urbanas	2	3	3	3	3	3	0	17
DEPENDENCIA		11	15	18	8	8	11	6	77

Fuente. Autoría Propia

Figura 19

Diagrama de Resultados de la Matriz Vester



Fuente. Autoría Propia.

Se hace necesario tomar acciones que contribuyan a dar soluciones a la problemática de la crítica calidad ambiental de las fuentes hídricas urbanas, generado por el poco conocimiento de la ciudadanía respecto a este recurso, dentro de este contexto se propone como herramienta la ciencia participativa.

La ciencia ciudadana o participativa es una manera de hacer ciencia en la que se incluye a la sociedad como parte fundamental de la producción de conocimiento, en este sentido los participantes e investigadores comparten esfuerzos intelectuales, conocimientos desde diferentes perspectivas en relación a un tema fundamental, formando así una nueva cultura científica que gracias a la tecnología se ha vuelto más estrecha (Finquelievich & Fischnaller, 2014)

De acuerdo con lo obtenido, se puede interpretar que toda formulación de plan de monitoreo debe incluir herramientas de ciencia ciudadana que permitan involucrar a las

diferentes partes afectadas/interesadas.

Implementación de Piloto y formulación de propuesta de biomonitoreo participativo

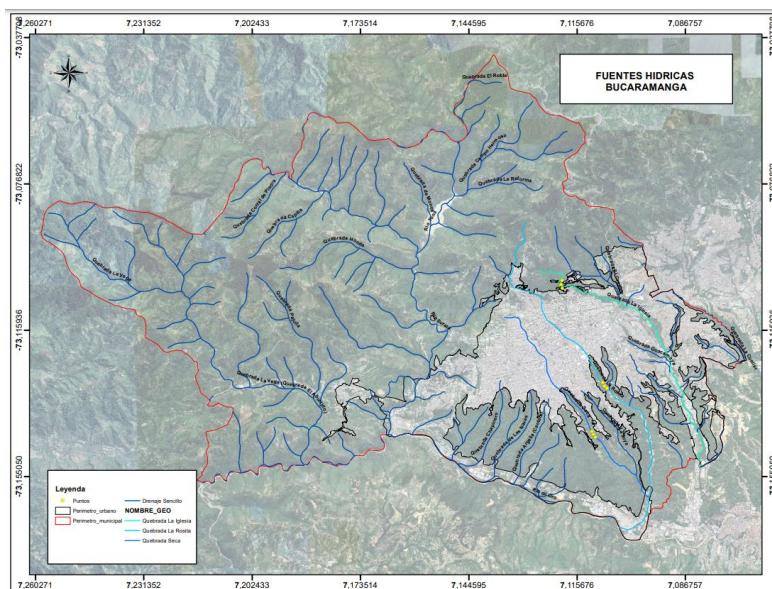
Como consecuencia de las fases anteriores y la implementación del piloto se logró la formulación de la propuesta de plan y monitoreo planteado en la Fase 3, tal como se especifica a continuación:

Localización de área de estudio y sitios de muestreo

La figura a continuación presenta las fuentes hídricas urbanas de la ciudad, destacando las quebradas la Joya, La Rosita y La Iglesia que fueron la seleccionadas para la implementación del piloto dentro del evento de ciencia participativa Reto Naturalista Urbano 2023.

Figura 20

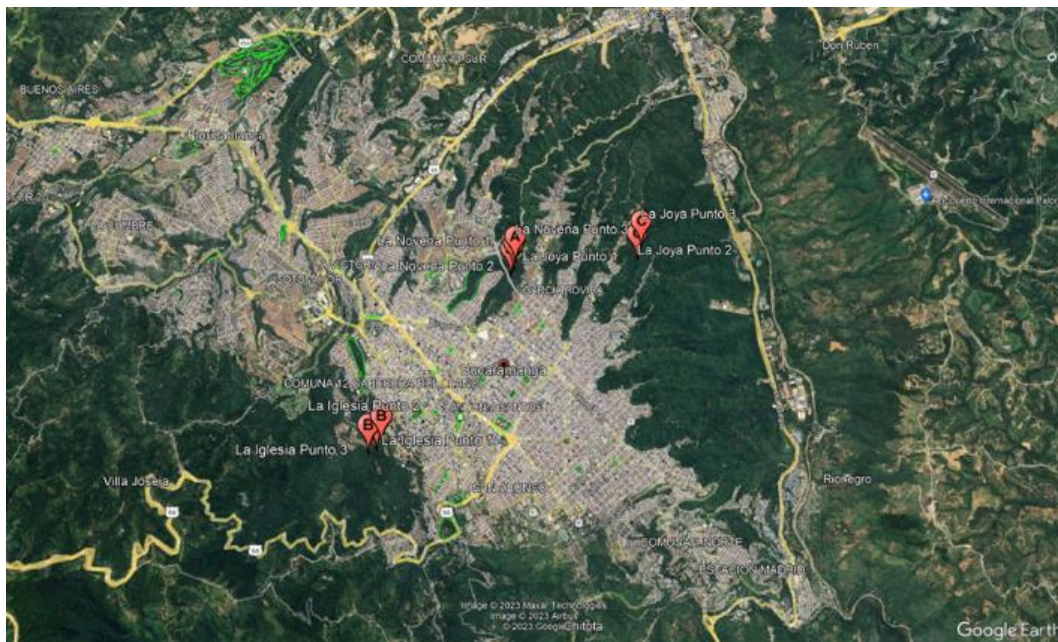
Mapa de Fuentes Hídricas Urbanas de Bucaramanga



Fuente. Autoría Propia

Figura 21

Imagen Satelital del Área de Estudio.



Fuente. Autoría Propia con Imágenes de Google Earth

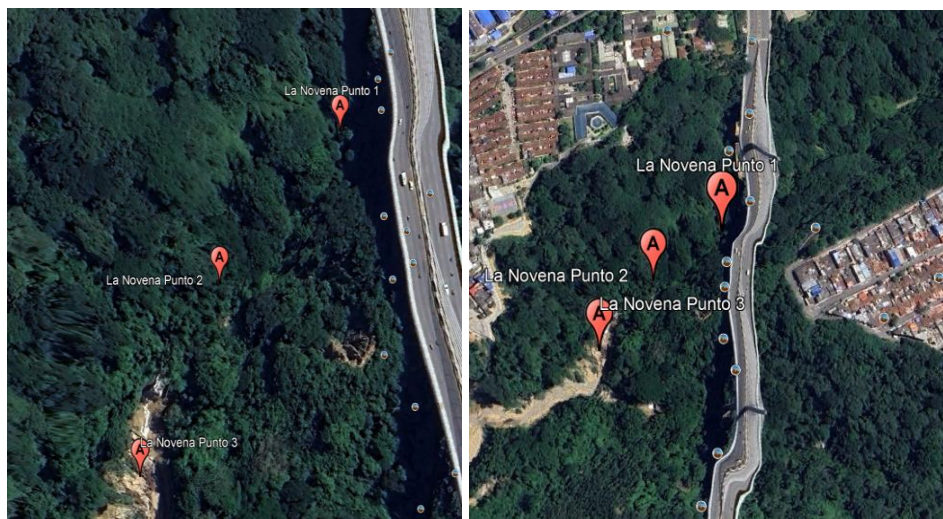
Tabla 6*Coordenadas de Puntos de Muestreo*

SITIOS	COORDENADAS	REGISTRO FOTOGRÁFICO
Quebrada la Rosita	7.108589611016214N 73.13058863393962W	
Quebrada Seca	7.119560977444053N 73.10464429669082W	
Quebrada La Iglesia	7.119692279957235N 73.10265024192631W	

Nota. En esta Tabla se Registran los Sitios de Muestreo con sus Correspondientes Coordenadas y Registro Fotográfico, *Fuente.* Autoría Propia

Figura 22

Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de Muestreo -Quebrada la Rosita



Fuente. Google Earth, 2023

Figura 23

Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de Muestreo -Quebrada la Seca



Fuente. Google Earth, 2023

Figura 24

Imágenes Satelitales de los Sitios y los Puntos de Muestreo -Quebrada la Iglesia



Fuente. Google Earth (2023)

Análisis de Calidad de Agua

Parámetros Fisicoquímicos

Tabla 7

Resultados de Parámetros Fisicoquímicos

PARAMETRO	Quebrada seca			Quebrada la Iglesia			Quebrada la Rosita		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	6,97	6,98	6,90	6,56	7,00	6,97	6,67	6,74	6,68
TEMPERATURA °C	25.2	25.2	25.2	22.3	21.7	21.7	23.9	23.8	23.8
CONDUCTIVIDAD $\mu\text{S}/\text{cm}$	672	674	673	424	423	424	333	333	334
OXIGENO TOTALES ppm	335	334	333	212	212	213	166	164	164

Nota. En la Tabla se Registran los Valores de los Parámetros Fisicoquímicos Obtenidos en Cada Uno de los Puntos de Muestreo de las Tres Cañadas del Estudio, Quebrada Seca, La Iglesia y La Rosita. Fuente. Autora

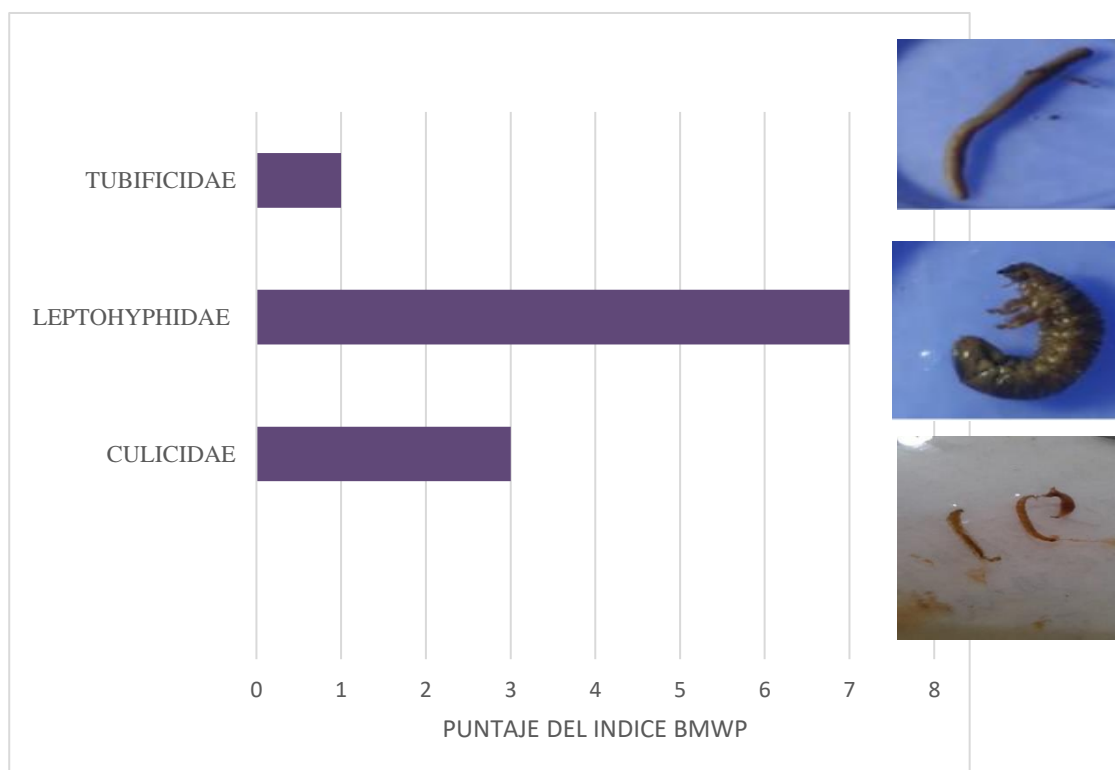
Parámetros biológicos

Quebrada Seca

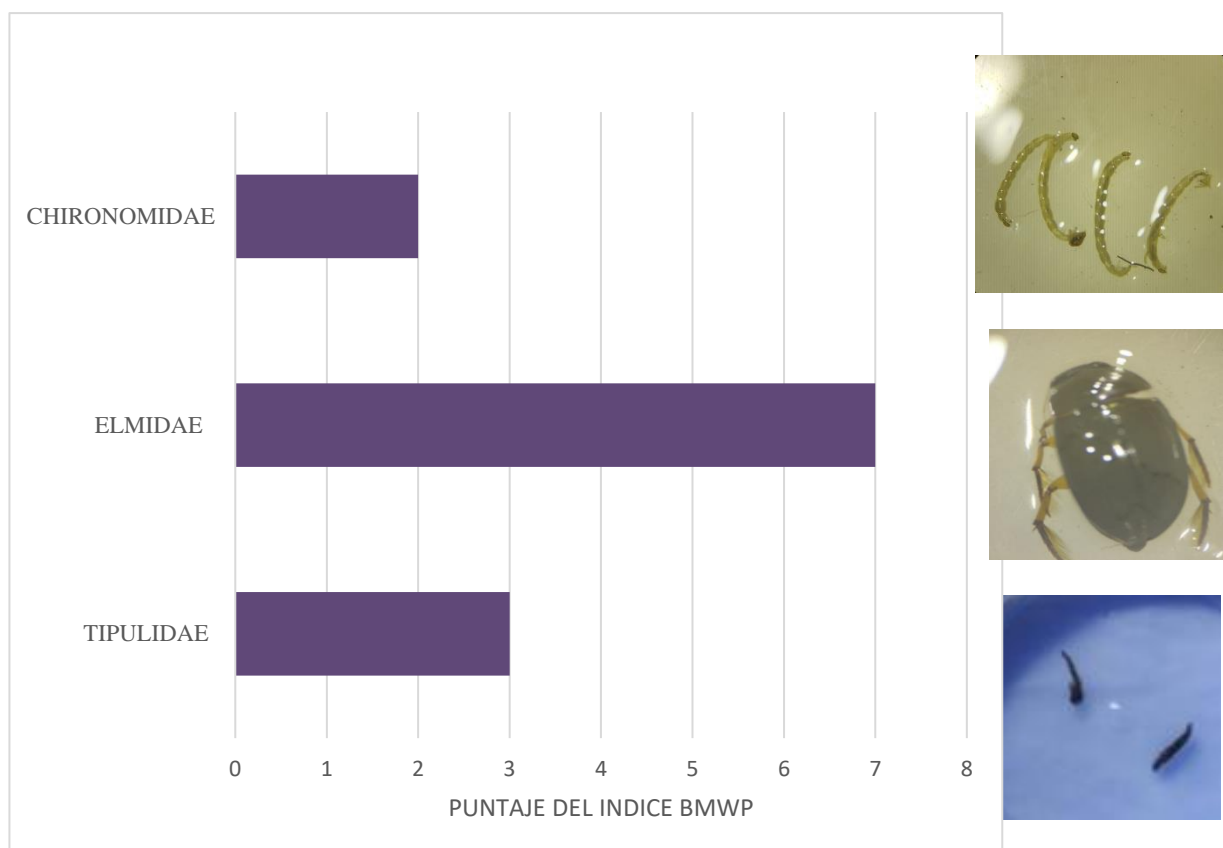
Familias Macroinvertebradas Identificadas

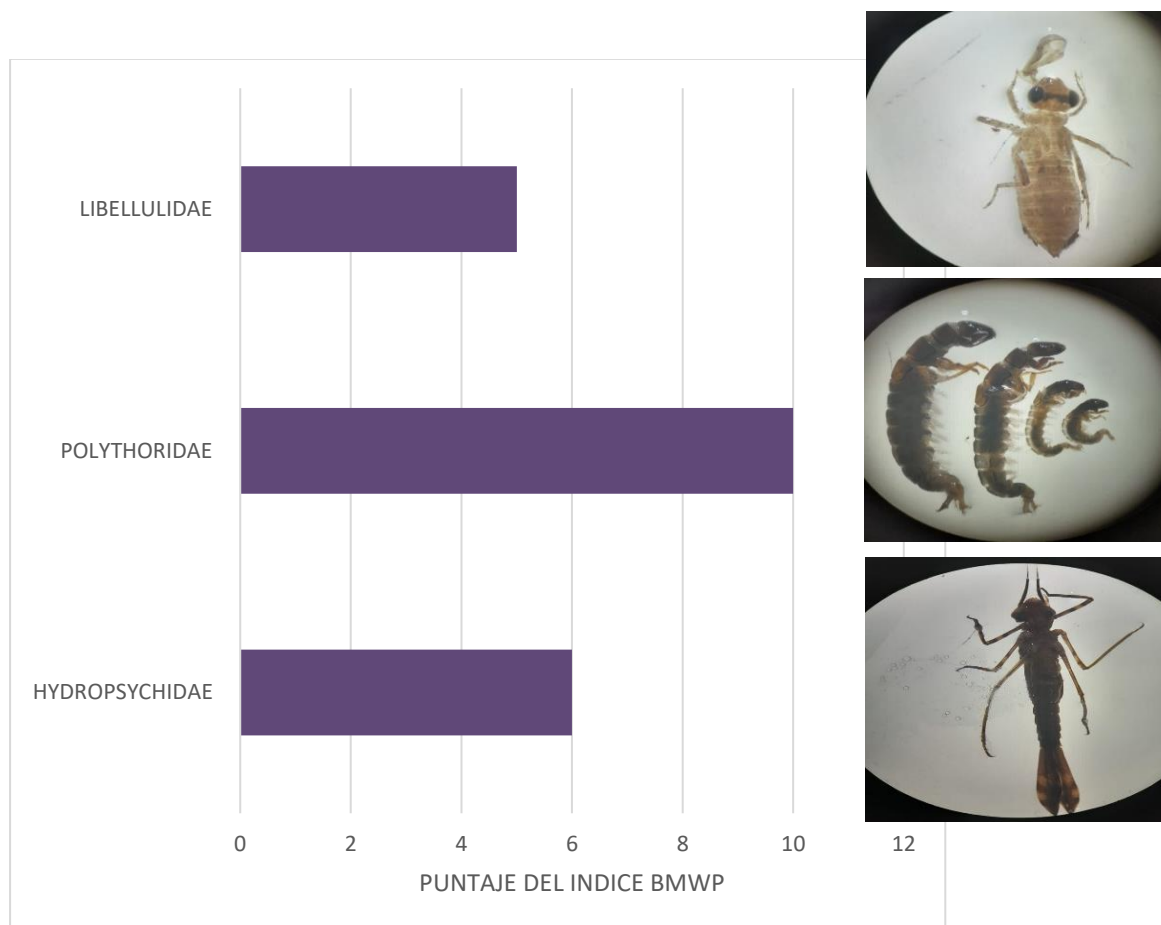
Figura 25

Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada Seca.



Fuente. Autoría Propia.

*Quebrada la Rosita***Figura 26***Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada la Rosita.**Fuente. Autoría Propia*

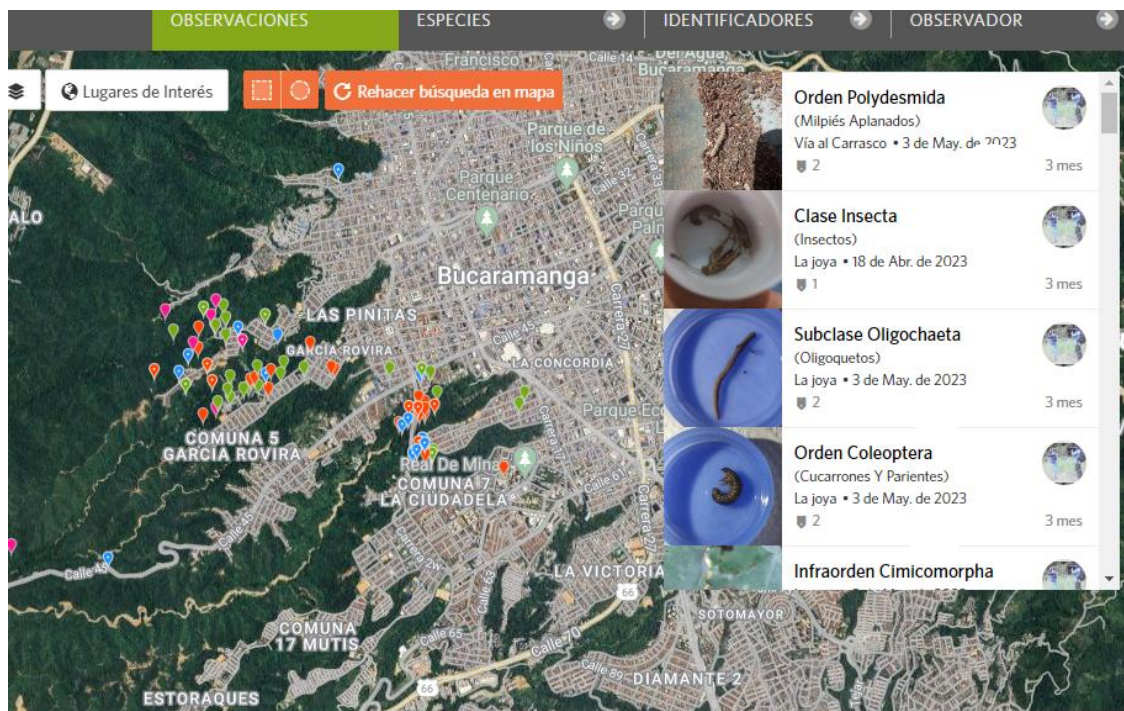
*Quebrada la Iglesia***Figura 27***Familias de Macroinvertebrados Identificadas en la Quebrada la Iglesia.*

Fuente. Autoría Propia

Posteriormente a la toma de las muestras en las cañadas La Iglesia, quebrada Seca y La Rosita, se realizó el cargue a la plataforma iNaturalist.

Figura 28

Registros Macroinvertebrados Reto Naturalista Urbano 2023



Fuente. Plataforma iNaturalist, 2023

Las fotografías fueron registradas en la plataforma iNaturalist como observaciones y fueron identificadas por expertos a diferentes niveles taxonómicos. Esta identificación a familia fue la utilizada para la valoración del índice BMWP utilizado. La tabla a continuación presentada muestra las familias que se registraron y se presenta además una búsqueda de los registros reportados a nivel mundial y Colombia de estos, aclarando que los individuos que son utilizados como bioindicadores en esta metodología corresponden en su mayoría a larvas es decir el estado nina o juvenil de los macroinvertebrados.

Tabla 8

Registros de Macroinvertebrados Extraídos de la Plataforma iNaturalist por Grupo Taxonómico

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	Registros plataforma Naturalista		
				Mundo	Colombia	
Artrópoda	Insecta	Odonata	Polythoridae	607	126	
			Libellulidae	1357661	3015	
		Ephemeroptera	Leptohyphidae	86	7	
		Coleoptera	Elmidae	1328	16	
		Dípteros	Trichoptera	Hydropsychida	25904	245
				Tipulidae	135898	1056
				Culicidae	79648	640
Anélida	Oligochaeta	Tubificida	Chiromidae	51776	247	
			Tubifidae	848	14	

Nota. En esta Tabla se Registra Información por Grupo Taxonómico del Número de Registros Extraída de la Plataforma iNaturalist de Fotografías Registradas en los Sitios de Muestreo.

Fuente. Información Extraída por la Autora de la Plataforma iNaturalist, 2023

A continuación, se describe de manera resumida cada una de las familias identificadas.

Los insectos de la familia **Polythoridae** son endémicos de la región Neotropical, se distribuyen desde México hasta Bolivia. Las larvas caen al agua, donde pasan su etapa juvenil debajo de piedras y troncos en zonas con corriente moderada a rápida, alimentándose de otros organismos acuáticos. Son las únicas en todo el continente americano con branquias pareadas a lo largo del abdomen, lo cual las hace identificables fácilmente en el campo (Novelo Gutiérrez & Reynoso Velasco, 2022). Están presentes en aguas limpias lo que indica que la quebrada la Iglesia donde es reportado aún mantiene condiciones para que esté presente.

Los Libellulidae, es la familia más grande del orden Odonata. Son las libélulas más

comunes y abundantes en casi todos los tipos de ambientes acuáticos: sin embargo, son más frecuentes en lagunas y ríos de áreas abiertas; sólo unas pocas especies habitan pantanos y ríos en bosque primario.(Esquivel, 1997)Son propias de aguas moderadamente contaminadas encontrados en la quebrada la Iglesia.

Las dos familias a continuación reportadas predominan en aguas poco contaminadas y corresponde a los **Elmidae**, son una de las familias de escarabajos o coleópteros acuáticos más importantes debido a su gran riqueza de especies y a su distribución cosmopolita. Sus miembros habitan en los rápidos de ríos, riachuelos, quebradas y cataratas con buena disponibilidad de oxígeno (Mairu Hincapié & González Córdoba, 2022). Los **Leptohyphidae**, es una familia de insectos del orden Ephemeroptera conocidos por este nombre por su vida adulta tan breve. Posee 15 géneros y es principalmente neotropical (Wikipedia, 2019).

Las siguientes tres familias pertenecen al orden de insectos dípteros, más conocidas como moscas y mosquitos las cuales pasan por cuatro etapas en sus ciclos de vida: huevo, larva, pupa y adulto. Las primeras tres etapas (huevo, larva y pupa) son en gran parte acuáticas, siendo abundantes en aguas de calidad contaminadas, entre ellas encontramos la familia **Chironominae**, una de las más diversas del grupo que tienen amplia distribución global, siendo el grupo de insectos más abundante en los ecosistemas de agua dulce. La familia tiene 11 subfamilias, de las cuales apenas cinco están reportadas para Colombia, los culícidos (**Culicidae**) son una familia de mosquitos, insectos pertenecientes al orden de los dípteros; con 35 géneros en total y más de 2.700 especies reconocidas y los **Tipulidae** forman la familia más numerosa de Diptera y muchos son comunes. Se parecen a mosquitos gigantes, con patas largas y alas estrechas, el cuerpo puede medir hasta 25 mm viven en lugares húmedos, con vegetación abundante. Las larvas son acuáticas o semiacuáticas y comen materia vegetal en descomposición (Wikipedia,

2023).

Por último, se registra los **Tubificidae** son una familia de anélidos clitelados de la clase Oligochaeta. Son componentes clave de las comunidades de los bentos de muchos ecosistemas de agua dulce y marinos. Este grupo ha sido remplazado por la familia Naididae (Wikipedia, 2022).

La valoración de las familias de cada sitio permitió identificar la calidad del agua de estas las cuales son presentadas a continuación teniendo en cuenta las tablas 4 y 5 en las que se expresan los valores establecidos para obtener la sumatoria de la columna VALOR y de esta manera establecer los criterios de las columnas subsiguientes parametrizados según lo establecido dentro del índice BMWP.

Tabla 9

Calidad de Agua Según Índice BMWP de Sitios Muestreados

SITIO	VALOR	CLASE	SIGNIFICADO	CALIDAD
Quebrada la Iglesia	21	VI	Aguas muy contaminadas	critica
Quebrada la Rosita	12	V	Aguas fuertemente contaminadas	muy critica
Quebrada la Joya	11	V	Aguas fuertemente contaminadas	muy critica

Nota. La Tabla Muestra los Resultados de Aplicar la Metodología BMWP en las Muestras

Tomadas Para Cada una de las Cañadas Seleccionadas. *Fuente.* Adaptación de la Autora.

Plan de Biomonitorio Participativo Para Fuentes Hídricas Urbanas

Como se ha presentado y evidenciado en este trabajo, existen ya iniciativas y experiencias exitosas tanto a nivel mundial como nacional que merecen la pena replicar. Para dar seguimiento e iniciar un biomonitorio participativo en las fuentes hídricas de la ciudad y el país se propone replicar y seguir apoyando el trabajo que se ha desarrollado en las quebradas con los siguientes componentes:

Revisión de fuentes primarias y secundarias de la zona de aplicación del muestreo, con el fin de tener una perspectiva de las especies a encontrar.

Identificación de partes interesadas/afectadas por la calidad del agua de los cuerpos de agua urbanos, con el fin de reconocer las problemáticas más significativas asociadas a estos y los posibles puntos de muestreo tanto de los parámetros fisicoquímicos como de los bioindicadores.

Aplicación de matriz Vester u otra metodología que permita valorar dichas problemáticas, con participación de los actores mencionados anteriormente.

Fortalecimiento de semilleros de investigación Universitarios y creación de semilleros de Investigación en líneas de Biodiversidad y Agua en las instituciones educativas afectadas. Contando así con un grupo de jóvenes entusiastas interesados en estos temas y docentes líderes de estos semilleros.

Ejecución de capacitaciones en uso de plataforma tecnológica iNaturalist para registro fotográfico de la biodiversidad de su fuente hídrica y posterior identificación taxonómica.

Capacitación sobre la metodología BMWP/Col para realizar análisis de la calidad de agua de su fuente hídrica.

Identificación de las problemáticas ambientales de la fuente hídrica más cercana a través de visita en compañía de padres de familia y vecinos del sector.

Metodología de Cartografía social para priorización de problemáticas y uso de sistemas de información geográfica para analizar la localización de los cuerpos de agua.

Uso de estrategias de educación ambiental como juegos para el entendimiento integral del recurso agua a nivel local.

Inscripción en evento mundial The Home River Bioblitz 2023 u otras iniciativas que permitan la divulgación de la información recolectada.

Participar de este evento.

Buscar alianzas para complementar análisis de calidad con muestreo de parámetros fisicoquímicos como DBO, cloruros, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, nitratos (como mínimo).

Conformar una red de monitores con diferentes cañadas (cuerpos de agua) aplicando la misma metodología.

Realizar mínimo dos muestreos al año por cañada uno en el primer semestre a través del Reto Naturalista Urbano a finales de abril y que coincide con época de lluvias y un segundo muestreo en septiembre durante el Bioblitz del río local.

Conclusiones

La revisión de macroinvertebrados acuáticos por medio de la plataforma iNaturalist permitió identificar las familias que más se registran como bioindicadores, siendo las más representativas las siguientes: Coenagrionidae y Libellulidae en el año 2021 y Gerriade y Ampullariidae para lo correspondiente al 2022.

La priorización de las problemáticas en la Matriz Vester mostró la importancia de reconocer las fuentes hídricas urbanas (Quebrada la Rosita, la Seca y la Iglesia) y la criticidad que tiene la participación de las universidades, comunidades y autoridades ambientales en el seguimiento y monitoreo de los cuerpos de agua urbana, lo anterior resultó en que la formulación del plan de monitoreo incluyera un apartado que resalta el trabajo conjunto y la realización de actividades articuladas por parte de estos colectivos.

La formulación del plan de monitoreo permitió plantear unos pasos que pueden ayudar para realizar el análisis de la calidad de agua de cuerpos de agua haciendo uso de bioindicadores macroinvertebrados. Entre ellos se resalta el uso de cartografía social, la identificación de partes interesadas, la realización de análisis fisicoquímicos, la delimitación de puntos de muestreo haciendo uso de sistemas de información geográfica como Google Earth, entre otros, lo cual permite la participación continua y pertinente de la ciudadanía, así como la apropiación social del conocimiento.

La plataforma iNaturalist se constituye en una buena herramienta para registrar e identificar macroinvertebrados acuáticos pues ya cuenta con expertos en diferentes grupos que facilitan a los interesados no técnicos ni profesionales el poder aplicar metodologías para la identificación de la calidad de fuentes hídricas, además de mantener una base de datos georreferenciada para poder llevar un histórico y seguimiento de los organismos en las fuentes hídricas.

Aunque se encontraron estudios sobre el uso de los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de fuentes hídricas, muy pocos fueron en cañadas urbanas y ninguno para Bucaramanga lo que demuestra los vacíos de información y desinterés por parte de la academia en este tema.

Se comprueba que el índice BMWP/Col es un método fácil y eficiente que cualquier persona puede aprender y usar para determinar con mejor precisión el estado de la calidad de una fuente hídrica, sin embargo, una limitante de este estudio fue el poder contar con mayor cantidad de parámetros físico químicos debido a su alto costo y disponibilidad de equipos, esto permitiría mejor entendimiento de la situación real de la fuente hídrica.

El agua de la quebradas la Rosita y quebrada seca presentan una calidad muy crítica y la Iglesia crítica según el índice BMWP, destacándose la presencia de las familias Tipulidae, Culicidae, Chironomidae del orden díptera muy tolerantes a la contaminación, y en la cañada la Iglesia a pesar de reportar calidad crítica se identificó la presencia de las familias Polythoridae y Libellulidae menos tolerantes a la contaminación lo que demuestra que esta fuente hídrica posee mejores condiciones que las demás.

La formulación del plan de monitoreo, con el propósito de generar conocimiento de las fuentes hídricas y mejor aún contribuir a la apropiación de ese conocimiento se propone utilizando la ciencia ciudadana a través de la vinculación a eventos como el Reto Naturalista Urbano y el Bioblitz del río local, trabajando de la mano con semilleros de investigación de colegios apoyados por semilleros de investigación de Universidades que trabajen en la línea de Biodiversidad y agua y demás partes interesadas como Autoridades Ambientales, esto generará redes de conocimiento, cocreando así una nueva cultura científica, como resultado de este escenario abierto, trabajado en red y transdisciplinario, las interacciones ciencia-sociedad serán

mejoradas hacia una investigación más democrática importante para ser transmitida a los tomadores de decisiones.

Recomendaciones

Se hace necesario que la academia haga más participe a las comunidades en las investigaciones que desarrolla con el fin de generar apropiación de ese conocimiento y verdaderas soluciones a las problemáticas ambientales que se están presentando en este caso la contaminación de nuestras fuentes hídricas.

Es necesario que haya más apoyo para la consecución de equipos y laboratorios en los proyectos de investigación para mejorar el análisis de los datos e información obtenidos con otras herramientas dentro de los proyectos de investigación.

Para que los resultados de este trabajo no se queden en la formulación se hace necesario seguir fortaleciendo este tema a través de otros proyectos que implementen y hagan seguimiento de lo planteado.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Bucaramanga (2017). *Análisis índice de calidad ambiental - ICAU Bucaramanga corte 2017*. <https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/shared-files/Informe-ICAU-2017.pdf>
- Arango, L. F. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Bogotá D.C.
- Breña, A., & Breña, J. (2009). *Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México*.
- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh & B. Statzner. (2006). *Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches*. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495-523.
- Causas y consecuencias de la contaminación del agua en Colombia (11 de mayo de 2021)*. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/causas-y-consecuencias-de-la-contaminacion-del-agua-en-colombia-587364>
- Congreso de la República de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993*. Bogotá, DC, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022*. Bogotá.
- CORPONOR. (2020). *Rio Pamplonita. Marco Teorico*: https://corponor.gov.co/calidad_agua/2020/RIO_PAMPLONITA_QISCALA/2_MARCO_TEORICO.pdf
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2004). *Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y de contaminación, tramo Salvajina-La Virginia, convenio interadministrativo 0168*. Cali, Colombia.

Decreto 1594 de 1984. (con fuerza de ley). Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título I de la Ley 9 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 Ley 2811 de 1974] en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 26 de junio de 1984. D.O. No. 36700.

França, J. S., & Callisto, M. (2017). Monitoramento ambiental participativo de qualidade de água: a comunidade escolar como parceira na conservação de biodiversidade. Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, Brazil. Interciencia, 3, 40-51.

Gamarra, Y., Restrepo, R., & Cajigas, A. (2012). Guía de campo de los macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Menzuly–Santander–Colombia.

González, A., & Peralta, J. (2023), Determinación de la calidad del agua con macroinvertebrados como bioindicador a través de la ciencia ciudadana en el sector los pantanos de la cañada quebrada seca del municipio de Bucaramanga (Proyecto de pregrado). Unidades Tecnológicas de Santander.

*iNaturalist. (Septiembre de 2021). The Home River Bioblitz 2021.
<https://colombia.inaturalist.org/projects/the-home-river-bioblitz-2021>*

*iNaturalist. (Septiembre de 2022). The Home River Bioblitz 2022.
<https://colombia.inaturalist.org/projects/the-home-river-bioblitz-2022>*

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2005). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua. Bogotá.

*Junco, J. (2 de 02 de 2015). Monitoreo ambiental.
<https://www.monitoreoambiental.com/monitoreo-ambiental-participativo/#:~:text=el%20objetivo%20primordial%20del%20monitoreo%20partici>*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Índice de Calidad Ambiental Urbana. Bogotá.

Presidencia de la República de Colombia. (18 de Diciembre de 1974). Decreto 2811 de 1974. Bogotá, DC, Colombia.

- República de Colombia. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1076 de 2015. Colombia.*
- River Collective. (2020). The Home River Bioblitz. Obtenido de Join us for this world-wide citizen science event and celebrate your local river!: <https://www.homeriverbioblitz.org/>*
- Roldán, G. (1997). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 375.*
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. . Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.*
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 254-274.*
- Silva, L. (2008). Manual de Monitoreo del Agua para el Investigador Local. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos.*
- Springer, M. (2010). Capítulo 3: biomonitoreo acuático. Revista de biología tropical. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800003*
- Souto, RDMG, Facure, KG, Pavanin, LA y Jacobucci, GB (2011). Influência de variáveis ambientais na comunidade de macroinvertebrados bentônicos de córregos urbanos de Veredas, Brasil Central. Acta Limnológica Brasiliensia , 23 , 293-306.*
- Walteros, J. (2019). Biomonitor eo acuático participativo, una estrategia para promover la ciencia ciudadana. Biografía, 1235–1245.*
- Zabala, M. E. (2006). Investigación-acción participativa (IAP) . <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/132>*

Apéndices

Apéndice A.

Resultados de la revisión de datos

Título del documento	Dirección URL	Año publicación	Tipo documento	Localización	Autores
Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, valle del cauca, Colombia; usando macroinvertebrados acuáticos	https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/download/65/65/258	2008	Artículo Científico	Valle del Cauca	Duberly Mosquera R., Martha Lucia Palacios P. y Alejandro Soto D.
Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río en el páramo de Santurbán, Norte de Santander	https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-de-la-academia-colombiana-de-ciencias-exactas-fisicas-y-naturales/articulo/diversidad-de-macroinvertebrados-acuaticos-en-un-nacimiento-de-rio-en-el-paramo-de-santurban-norte-de-santander	2008	Artículo Científico	Norte de Santander	Pablo Manuel Castellanos & Clemencia Serrato
Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos	http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/541	2009	Tesis de grado	Antioquia	Nubia Lucia Valverde Legarda, Orlando Caicedo Quintero, Néstor Jaime Aguirre Ramirez

Evaluación de la calidad del agua utilizando indicadores ecológicos en el Río Pance, Valle del Cauca-Colombia	https://red.uao.edu.co/handle/10614/7904	2009	Tesis de grado	Valle del Cauca	María Alejandra Balcázar Centeno , Diana Carolina Echeverri Arango
Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682009000200007	2009	Artículo Científico	Caldas	Christine M. Hahn-von Hessberg, Daniel Ricardo Toro, Alberto Grajales-Quintero, Ginna María Duque-Quintero y Lorena Serna-Uribe
Caracterización ecológica de la microcuenca abastecedora de agua del acueducto municipal de San José del Guaviare	https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231122666003	2011	Artículo Científico	Guaviare	Juan Carlos García-R, Luis Fernando Galindez
Determinación de la calidad ambiental y ecológica de ecosistemas acuáticos en el municipio de Mistrató, Risaralda, mediante el uso de macroinvertebrados como indicadores	https://bioetnia.iiap.org.co/index.php/bioetnia/article/view/16	2011	Artículo Científico	Risaralda	Yasiris Salas, Yiskar Murillo, Yenecith Torres
Caracterización de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Cimarronas, El Carmen de Viboral (Antioquia), utilizando macroinvertebrados acuáticos	https://www.researchgate.net/publication/299458893	2012	Artículo Científico	Antioquia	Janes García Montoya, Juan Carlos Carmona Bedoya, Yimmy Montoya Moreno

Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322013000200012	2013	Artículo Científico	Tolima	Adriana Marcela Forero Céspedes, Gladys Reinoso Flórez
Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa	https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/1803	2014	Tesis de grado	Boyacá	Gil, Julie, Colombia, 2014
Calidad del agua de las Quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia	https://repository.eia.edu.co/handle/11190/606	2014	Artículo Científico	Antioquia	María Cecilia Arango, Luisa Fernanda Álvarez, Gloria Alexandra Arango Orlando Elí Torres Asmed de Jesús Monsalve
Comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la Isla de Providencia, mar Caribe colombiano	https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/1421	2014	Artículo Científico	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	Cortés-Guzmán, D., & Ospina-Torres, R

Efecto de la actividad antrópica sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Cofre (sistema lótico andino colombiano)	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5168071	2014	Artículo Científico	Cauca	Gutierrez Garaviz, Jhonatan ; Zamora González, Hildier; Andrade-Sossa, Camilo E.
Caracterización de la calidad del agua de la Quebrada Los Cáquezas, mediante la utilización de macro invertebrados acuáticos	https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4713	2015	Tesis de grado	Cundinamarca	Gutiérrez Prada, Karen Viviana, Morales Cruz, Danny Arley
Evaluación del río Prado a partir de los Macroinvertebrados y de la calidad del agua	https://revistaaccb.org/tr/index.php/accb/article/view/63	2015	Artículo Científico	Tolima	Gladys Reinoso F.
Estudio de calidad ambiental en la quebrada la florida, unidad de manejo de cuenca del río Quindío. Armenia – Quindío, Colombia	https://revistaaccb.org/tr/index.php/accb/article/view/34	2015	Artículo Científico	Quindío	César Augusto Bustamante Toro

Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila)	https://journalusco.edu.co/index.php/entornos/article/view/1224	2015	Artículo Científico	Huila	Natalia Karolina Portilla Arcos
Caracterización de la entomofauna acuática en cuatro quebradas de la cuenca del río San Juan, Chocó, Colombia	http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n150/v39n150a07.pdf	2015	Artículo Científico	Chocó	Zuleyma Mosquera-Murillo, Karen E. Córdoba-Aragón
Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación	https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000400011&script=sci_abstract&tlng=es	2016	Artículo Científico	Cesar	MADERA, Lisbeth C; ANGULO, Luis C; DIAZ, Luis C y ROJANO, Roberto.
Modelación espacial de la calidad del agua en el río Tapartó, municipio de Andes, Antioquia, Colombia	https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/681	2017	Artículo Científico	Antioquia	Ruiz Toro, Julián Andrés; Vélez Macias, Fabio de Jesús ;Caicedo Quintero, Orlando ;Aguirre Ramírez, Néstor Jaime
Sostenibilidad hídrica en la microcuenca Curití, municipios de Curití y San Gil, Santander periodo 2010 – 2017.	https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/4124	2018	Tesis de grado	Santander	Rodriguez, Edgar, Colombia, 2018

Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua del río Sinú municipio de Montería, Córdoba	https://revistas.sena.edu.co/index.php/Re_Mo/article/view/1650	2018	Artículo Científico	Córdoba	Carlos Andrés Burgos Galeano; Katerin Lafont Álvarez; Paula Andrea Estrada Palencia
Biodiversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al río fragua chorroso y su papel como bioindicador de calidad de agua	https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3222/3427	2018	Artículo Científico	Caquetá	Juliette Pauline Chaux; Gustavo Adolfo Pimentel-Parra; Betselene Murcia-Ordoñez; Luis Carlos Chaves-Moreno; Laura Carolina Acosta; Luisa Fernanda Suárez
Uso de indicadores biológicos para determinar la calidad del agua río Chontales en el sector Finca San Luis Gambita Santander	https://masd.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/3765	2019	Artículo Científico	Santander	Castillo, C. R. S., Rodríguez, L. A. C., Mesa, M. H. R., & Acosta, P. M. Colombia, 2019
Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calaboza (Yopal, Casanare)	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672019000100014	2019	Artículo Científico	Casanare	Peña, S. A., Bohórquez, H. A., Barrera, A. K., Salamanca, S. S., Jiménez, D. A., & Botello, W. A. Colombia 2019

Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552020000100035	2020	Artículo Científico	Boyacá	Pérez, J. H., Martínez-Romero, L. C., Castellanos-Guerrero, L. T., Mora-Parada, A. R., & Rocha-Gil, Z. E. Colombia, 2020
Análisis puntual de calidad de agua en el cuerpo de agua superficial los Moyanos en el municipio de planadas-Tolima con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos	https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/4bd13926-d480-4145-8896-2e59a7fd06ac/content	2020	Tesis de grado	Tolima	Jhoon Ericxon Laguna Sánchez
Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y su relación con los parámetros fisicoquímicos de agua del río San Lucas, Cajamarca, 2018 – 2019	https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23847	2020	Artículo Científico	Tolima	Ayala Salazar, Cristian Jarol; Vera Vasquez, Grover
Estado del arte de los estudios limnológicos que utilicen los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua y evaluación de sus planes de manejo ambiental en Colombia	https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19737	2021	Tesis de grado	Colombia	Pachón, Daniela; Vargas, Liced, Colombia

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá	https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/5432/4877/29930	2021	Artículo Científico	Caquetá	Lalo Rodrigo Bravo Chavesa, Gloria María Restrepo Franco
Determinación del estado ecosistémico de la subcuenca la Gómez y ciénaga de Paredes a través de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad en Sabana de Torres y Puerto Wilches, Santander	http://138.117.111.22/index.php/revistamaticestecnologicos/article/view/508	2022	Artículo Científico	Santander	Hernández, M. F. A., Hernández, J. S., & Tangua, F. C. V. Colombia, 2022
Determinación de la calidad del agua de los nacimientos ubicados en el área verde urbana del barrio Villa Alcázar (Floridablanca, Santander), a través del estudio de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad	http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmliui/handle/123456789/10361	2022	Tesis de grado	Santander	Mendoza Bonilla, M. P., & Gil Basto, A. F. Colombia 2022
Evaluación de la calidad del agua mediante la bioindicación de macroinvertebrados acuáticos, en un tramo del río Toribio, ciénaga Magdalena, Colombia	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8740374	2022	Artículo Científico	Magdalena	Chavez Cruz, Richard Antonio

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de hábitat en afluentes del Parque Nacional Natural Selva Florencia	https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/104022	2023	Artículo Científico	Caldas	Gil-González, S., Alvis-Zapata, N., Rodríguez-Hurtado, C. y Gomes Dias, L.
Macroinvertebrados asociados a Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) en la Ciénaga La Pachita (Cesar, Colombia)	https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642023000300043&script=sci_arttext&tlng=pt	2023	Artículo Científico	Cesar	Nuñez, J. C., & Fragoso-Castilla, P. J.

Fuente. Autoría propia