

Aprendizaje basado en proyectos: evaluación de la calidad microbiológica del agua en la Escuela Normal Superior de Popayán

Project-based learning: evaluation of the microbiological quality of water at the Escuela Normal Superior de Popayán

Otto Bahamón-Hernández¹

Docente Escuela Normal Superior de Popayán, Popayán, Colombia
Integrante grupo de investigación Bioefecto – Ondas Cauca
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7701-2339>
Correo electrónico: otbaha@normalpopayan.edu.co

Cristofer David Luna-Ausecha²

Estudiante, Escuela Normal Superior de Popayán, Popayán, Colombia.
Integrante grupo de investigación Bioefecto – Ondas Cauca
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0165-2409>
Correo electrónico: lunacristofer@normalpopayan.edu.co

Zaira Mayela Potosí-Chillito³

Estudiante, Escuela Normal Superior de Popayán, Popayán, Colombia.
Integrante grupo de investigación Bioefecto – Ondas Cauca
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8242-0880>
Correo electrónico: potosizaira@normalpopayan.edu.co

1 Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental e Ingeniero Ambiental de formación. Con participación en procesos de divulgación científica, formación docente y construcción de conocimiento pedagógico en torno a las Ciencias Naturales y la Educación Ambiental.

2 Maestro en formación, se destaca por su interés en la tecnología, la investigación, y la pedagogía. Curioso y dedicado, disfruta explorar nuevas ideas y proyecta convertirse en ingeniero de sistemas.

3 Maestra en formación, se destaca por su disciplina, liderazgo y pasión por la natación. Inspirada por su familia, cultiva el interés por la investigación pedagógica, motivando a otros con su dedicación, alegría y compromiso personal.

RESUMEN

Esta investigación evalúa la calidad microbiológica del agua en la Escuela Normal Superior de Popayán [ENSP], integrando a estudiantes de educación media en procesos de indagación científica mediante aprendizaje basado en proyectos. El estudio utilizó un enfoque mixto que combinó métodos cualitativos y cuantitativos en tres fases: una encuesta aplicada a estudiantes, análisis microbiológico de muestras de agua y divulgación de resultados mediante programas radiales. Los resultados evidenciaron que el 64 % de estudiantes percibe riesgo microbiológico y solo el 40 % confía en la calidad del agua. El análisis de laboratorio confirmó estas percepciones al detectar coliformes totales significativamente elevados en todos los puntos de muestreo, superando ampliamente los límites permisibles establecidos por la normativa colombiana 2115 de 2007. La investigación evidencia la necesidad de mejorar la gestión integral del agua mediante monitoreo periódico, optimización de infraestructura y campañas de educación ambiental permanentes. El aprendizaje basado en proyectos se consolidó como metodología efectiva para desarrollar alfabetización científica y ambiental.

Palabras clave:

análisis de riesgo;
coliformes;
contaminación del
agua; educación
ambiental;
microbiología;
metodologías
activas.

ABSTRACT

This research evaluates the microbiological quality of water at the Escuela Normal Superior de Popayán [ENSP], involving secondary school students in scientific inquiry processes through project-based learning. The study used a mixed approach combining qualitative and quantitative methods in three phases: a survey of students, microbiological analysis of water samples, and dissemination of results through radio programs. The results showed that 64% of students perceive microbiological risk and only 40% trust the quality of the water. Laboratory analysis confirmed these perceptions by detecting significantly elevated total coliforms at all sampling points, far exceeding the permissible limits established by Colombian regulation 2115 of 2007. The research highlights the need to improve integrated water management through regular monitoring, infrastructure optimization, and ongoing environmental education campaigns. Project-based learning was consolidated as an effective methodology for developing scientific and environmental literacy.

Keywords:

active
methodologies;
coliforms;
environmental
education;
microbiology; risk
analysis; water
contamination.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable y a sistemas de saneamiento adecuados constituye un derecho humano fundamental e indispensable para preservar la salud. Al suministrar agua a la población, es necesario asegurar tanto el volumen disponible como su calidad sanitaria. Los planes de seguridad hídrica persiguen tres objetivos complementarios: en primer lugar, controlar y prevenir la contaminación en las fuentes de abastecimiento; en segundo lugar, implementar procesos efectivos de tratamiento que disminuyan y eliminen los contaminantes presentes; y finalmente, evitar la recontaminación del agua tratada durante su almacenamiento y transporte hasta los usuarios finales (Naciones Unidas para los Derechos Humanos, 2011).

Las redes de distribución de agua constituyen la infraestructura física más extensa en la cadena de suministro hídrico, por lo que resulta fundamental identificar y analizar los factores que pueden modificar la composición y propiedades del agua desde la salida de la planta de tratamiento hasta su llegada al consumidor. La degradación de la calidad del agua en estas redes puede originarse en diversos procesos como la generación de compuestos secundarios derivados de los tratamientos aplicados, la reacción química del agua con las tuberías y materiales que conforman la red y el desarrollo de comunidades microbianas adheridas a las superficies internas de la infraestructura de distribución (Vargas, 2004; Rojas et al., 2012). Por estas razones y por la naturaleza de fuentes de abastecimiento en el municipio de Popayán, es prioritario conocer y revisar los procedimientos con el fin de minimizar los riesgos asociados con el agua, desde la fuente de abastecimiento hasta el consumidor final.

La recomendación 16, opción B, del tratado internacional sobre derechos económicos, sociales y culturales, invita a los gobiernos a asegurar que la falta de acceso a agua potable en escuelas y hogares no vulnere los derechos humanos de la población infantil. Se busca específicamente que las dificultades para obtener agua no limiten el ejercicio de estos derechos fundamentales por parte de los niños y niñas (Naciones Unidas para los Derechos Humanos, 2002). Lo anterior invita a investigar en torno al recurso hídrico para potenciar el desarrollo académico y pedagógico de los menores.

En diversos contextos, se han realizado investigaciones sobre la calidad microbiológica del agua potable en instituciones educativas, resaltando su importancia en la salud pública. A nivel internacional Iñiguez-Muñoz et al. (2022) evaluaron el agua

en escuelas de Tepatitlán, Jalisco, encontrando altos niveles de coliformes y patógenos como *E. coli*, lo que sugiere deficiencias en el tratamiento y almacenamiento de agua. En cuanto a los biofilms en sistemas de distribución, Mains (2008) subrayó su rol protagónico en la contaminación persistente del agua.

En Colombia, estudios a nivel nacional y regional han revelado problemas similares. Por ejemplo, el Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales-SICA (2012) destacó la mala calidad del agua en un centro rural de El Peñol, afectado por coliformes y generando riesgo de enfermedades. Herrera y Carrillo (2020) demostraron que el uso de estrategias pedagógicas mejora la percepción y prácticas en torno a la calidad del agua en una institución educativa.

En la Universidad de Santander, Carrascal-Garcia y Rincon-Gomez (2022) analizaron características microbiológicas y fisicoquímicas, detectando incumplimientos en normativas de calidad debido a coliformes. En el departamento del Cauca, estudios como el de Alegría-Vivas (2012) y Meza et al. (2012) evidencian serios problemas de calidad del agua, especialmente en áreas rurales y comunidades indígenas, sugiriendo medidas de tratamiento y la importancia del manejo adecuado del recurso hídrico.

Basados en las consideraciones anteriores, se desarrolló una investigación utilizando el Aprendizaje Basado en Proyectos [ABP] como herramienta innovadora. Esta metodología activa permitió abordar la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuál es la calidad microbiológica y el riesgo sanitario del agua que consumen los estudiantes de la Escuela Normal Superior de Popayán?* Esto facilitó el establecimiento de una línea base para examinar y determinar posibles riesgos de contaminación microbiológica, identificar los factores que podrían haberla generado y proponer medidas de control.

MARCO TEÓRICO

La presencia de bacterias coliformes y otros grupos de microorganismos en el agua potable representa una amenaza potencial a la salud pública, y esto podría indicar que la desinfección no fue suficiente para eliminar todos los organismos patógenos asociados con los desperdicios de origen humano y animal o que existen fallas en la red de distribución que favorecen su crecimiento, lo cual representa una amenaza significativa (Bakare-Abidola et al., 2025; Faraji et al., 2025).

La persistencia y posible crecimiento de microorganismos en las tuberías de la red son influenciadas por una variedad de condiciones ambientales, que incluyen las características físicas y químicas del agua, tiempo de operación del sistema, material de

la red y la disponibilidad de los sitios aptos para la colonización, los cuales con frecuencia están localizados en secciones de flujo lento, porciones de tubería con agua estancada y áreas de tuberías con actividad corrosiva (Mains, 2008; Sharón et al. 2018; Nisar et al. 2020; Sosah et al. 2025)

La Constitución Política de la República de Colombia consagra como finalidad primordial de la acción estatal la resolución de necesidades básicas insatisfechas, considerando el acceso a servicios de agua potable como una de estas necesidades críticas por su importancia vital para la supervivencia y dignidad humana (Artículos 79 y 366). El suministro continuo de agua segura y de calidad constituye un requisito fundamental para prevenir enfermedades infecciosas, como el cólera y la gastroenteritis.

Paralelo a esto, es indispensable garantizar que toda persona acceda diariamente a un volumen mínimo de agua potable. Se estima que el consumo diario recomendado oscila entre 1,5 y 2 litros de líquidos, cantidad que varía según factores como el peso corporal y las condiciones individuales; el incumplimiento de estos requerimientos hídricos expone a la población a diversos riesgos sanitarios (OMS, 2023).

Zapata (2009) manifiesta que en la mayoría de los países los principales factores de riesgo asociados al consumo de agua que no cumple estándares de calidad están vinculados fundamentalmente con la presencia y proliferación de microorganismos. Lo cual contrasta con lo que se indica en el capítulo 18 de la “Agenda 21” de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo:

“Aproximadamente, un 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en los países en desarrollo tienen por causa el consumo de agua contaminada y en promedio, hasta una décima parte del tiempo productivo de cada persona se dedica a las enfermedades relacionadas con el agua” (OMS, 1998, p. 4).

El proceso de potabilización es vital para el sostenimiento de la calidad del recurso hídrico; este incluye las etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, que eliminan partículas y microorganismos haciéndola segura para el consumo humano (Vargas, 2004). Sin embargo, es fundamental mantener la red de distribución, ya que la contaminación secundaria puede ocurrir debido a factores como el deterioro de las tuberías y la formación de biopelículas, lo que hace necesario la reposición o mantenimiento adecuado de estas infraestructuras (Rojas et al., 2012).

Asimismo, es fundamental que el servicio de saneamiento básico y el suministro de agua no solo cuenten con una cobertura universal; además deben ser continuos y

garantizar que el agua cumpla con las características microbiológicas establecidas para considerarse potable. El presente proyecto busca corroborar estos aspectos bajo los parámetros de la resolución 2115 de 2007, utilizando además la educación ambiental como un instrumento de difusión que contribuya al conocimiento regional y nacional.

En este contexto, la educación ambiental se fortalece a través del uso de metodologías activas, las cuales comprenden la vinculación de métodos, técnicas y estrategias que transforman la enseñanza en un proceso dinámico, incentivando el rol activo del estudiante y favoreciendo su aprendizaje. En otras palabras, son enfoques didácticos diseñados para involucrar al estudiante en su proceso de aprendizaje de carácter constructivista, permitiéndole desarrollar tanto competencias específicas como transversales que contribuyan a su formación integral, así como a la creación de habilidades clave que van más allá del dominio del contenido (Suniaga, 2019; Flor y Obaco, 2024). Es importante impulsar un modelo educativo flexible y adaptable, que brinde a los estudiantes la oportunidad de gestionar su propio aprendizaje. Este enfoque debe permitirles explorar, probar distintas alternativas y, a partir de ello, identificar la más adecuada para resolver problemas y construir nuevo conocimiento.

Martí et al. (2010) y Zambrano Briones et al. (2022) proponen el ABP como una estrategia pedagógica en la que los estudiantes cooperan para hallar soluciones a problemas reales de su territorio. Este enfoque implica la exploración, la formulación de preguntas y la investigación activa para obtener respuestas que les permitan abordar la situación planteada. El éxito de esta estrategia de aprendizaje depende, en gran medida, de la motivación de los estudiantes. Cuando se les otorga un papel activo y se les asigna responsabilidades dentro de las tareas, su participación en el proceso educativo adquiere mayor significado. Por ello, es fundamental que el proyecto esté enfocado en el estudiante, responda a sus necesidades e intereses y fomente la curiosidad, la exploración y la indagación a lo largo de su desarrollo.

Desde las formulaciones iniciales de Blumenfeld et al. (1991), el ABP se concibe como una metodología centrada en el aprendizaje activo a través de investigaciones auténticas que emulan las prácticas científicas. Estos autores plantean que los proyectos deben estructurarse alrededor de preguntas guía, favorecer la producción de artefactos significativos y promover la colaboración, la indagación situada y la reflexión metacognitiva.

Krajcik y Blumenfeld (2006) ampliaron este marco conceptual e identificaron cinco rasgos esenciales del ABP en la enseñanza de las ciencias: el uso de preguntas impulsoras conectadas con ideas fundamentales, la investigación contextualizada, el trabajo colaborativo, el empleo de herramientas cognitivas y tecnológicas, y la elaboración de productos auténticos.

La literatura reciente respalda de manera consistente la efectividad del ABP dentro de escenarios orientados a la educación ambiental. Investigaciones como la de Pertiwi et al. (2024) evidencian mejoras sustanciales en la alfabetización ambiental de estudiantes de secundaria. De forma complementaria, Rahmawati et al. (2025) demuestran que la integración ABP acompañada de *design thinking* potencia aprendizajes contextualizados que vinculan conocimiento científico y acción responsable.

Chuquimarca-Pinzón et al. (2025) desarrollaron herramientas transversales basadas en ABP para promover conciencia sostenible en sus dimensiones cognitiva, conativa y activa. Asimismo, Rachman y Matsumoto (2023) muestran que la articulación entre el aprendizaje basado en problemas y el ABP facilita la co-construcción de recursos educativos que responden a desafíos ambientales locales.

Las perspectivas contemporáneas subrayan el potencial transformador del ABP al convertir la enseñanza en experiencias auténticas de investigación. Desde el enfoque del diseño basado en investigación, Edelson (2002) destaca que los entornos de aprendizaje deben construirse mediante ciclos iterativos de análisis, diseño y reflexión, lo que permite desarrollar teorías de dominio y soluciones educativas fundamentadas. Esta postura refuerza la idea de que el ABP no solo organiza actividades, sino que articula procesos de generación de conocimiento orientados a la resolución de problemas reales.

En conjunto, estos aportes convergen en comprender el ABP como un enfoque pedagógico integral que supera la noción de proyectos aislados al final de una unidad. Por el contrario, sitúa la investigación estudiantil como eje estructurante del currículo y promueve el desarrollo de literacidad científica, pensamiento crítico, competencias socioambientales y habilidades del siglo XXI. Su valor radica en conectar las experiencias escolares con problemáticas relevantes, fortaleciendo la formación de estudiantes capaces de comprender, analizar y actuar frente a los desafíos contemporáneos de sostenibilidad.

El ABP no solo fortalece el compromiso del estudiante; también impulsa procesos clave como la planificación, la organización, la experimentación, la deducción y la comunicación, a través del uso de las tecnologías de la información. Esta metodología prioriza el pensamiento crítico y creativo sobre la simple memorización y reproducción de contenidos, características propias de enfoques tradicionales. Además, permite que los estudiantes se apropien de su proceso de aprendizaje, guiándolo de manera autónoma y profunda, lo que favorece un mejor entendimiento y manejo de conceptos científicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio adopta una metodología de enfoque mixto, que combina estrategias cualitativas y cuantitativas con el propósito de alcanzar una comprensión más integral del fenómeno investigado (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Esta combinación permite abordar el fenómeno desde diversas perspectivas, facilitando la recopilación de datos tanto descriptivos como estadísticos, lo que enriquece el análisis y la interpretación de los resultados.

Desde una perspectiva epistemológica, el estudio se encuadra dentro de la investigación básica, ya que su propósito es ampliar el conocimiento científico mediante trabajos experimentales y teóricos que exploran los fundamentos de los fenómenos observados, sin una aplicación inmediata (FECYT, 2003). Su finalidad es generar nuevos conocimientos, contribuyendo al desarrollo teórico sin un propósito utilitario directo, lo cual es característico de este tipo de investigación.

Para su ejecución, se adopta un diseño experimental de corte transversal y prospectivo, lo que implica la recolección de datos en un único periodo de tiempo, con el objetivo de analizar eventos futuros en función de las variables estudiadas (Dagnino, 2014). La investigación se desarrolla en tres fases, cada una diseñada para cumplir objetivos específicos y abordar el problema desde distintos enfoques metodológicos, asegurando un análisis riguroso y estructurado.

Fases metodológicas

1. **Conocimientos sobre el recurso hídrico:** se aplicó una encuesta digital para identificar los conocimientos de estudiantes de grados sexto y undécimo sobre la calidad y uso del agua.
2. **Laboratorio y análisis:** se tomaron tres muestras puntuales de agua en el baño de preescolar y dos en los bloques 2 y 3 de bachillerato. Estas fueron recolectadas en condiciones estériles, rotuladas y posteriormente analizadas en el laboratorio para determinar la presencia de coliformes totales (SM 9222 B) y coliformes fecales (SM 9222 D), así como los valores de pH (SM 4500H B), color (SM 2120 C), conductividad (SM2510B) y turbiedad (SM 2130 B). Luego, los resultados se compararon con la resolución N° 2115 de 2007.
3. **Divulgación en radio escolar normalista:** se realizaron tres programas radiales para comunicar los avances y resultados del estudio, promoviendo la conciencia ambiental entre la comunidad educativa. Conjuntamente, se publicaron a través de

Instagram como plataforma o red social juvenil del grupo de investigación.

Diseño de instrumentos

Para recolectar información, se emplearon varios instrumentos y métodos. Uno de los principales fue una encuesta digital titulada “El agua en mi territorio, calidad, uso y protección”, realizada a través de Google Forms. Esta encuesta permitió recolectar datos sobre los conocimientos y percepciones de los estudiantes de grados sexto y undécimo respecto al recurso hídrico. La muestra poblacional se determinó utilizando conglomerados, seguidos de una selección voluntaria. Los datos obtenidos se procesaron en hojas de cálculo, generando gráficos para un mejor manejo de los resultados.

Se diseñó un formato de recolección de datos de las muestras para el análisis microbiológico del agua. Este formato incluía datos específicos como el nombre del punto de muestreo, coordenadas, fecha y características de la muestra (color, olor, etc.). Las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de aguas de la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC para su análisis.

Actividades pedagógicas

Se efectuó una salida pedagógica a la planta de tratamiento de agua potable del acueducto y alcantarillado de Popayán. Esta visita permitió a los estudiantes investigadores observar de manera directa los procesos de potabilización del agua, facilitando su comprensión sobre el tema. Por otro lado, en el laboratorio de la institución educativa se llevaron a cabo prácticas para el acercamiento a variables experimentales. Durante estas actividades, los estudiantes desarrollaron habilidades en la medición y análisis de dichas variables, fomentando su capacidad de observación, interpretación de resultados y aplicación del método científico en contextos reales.

Finalmente, se participó en programas radiales transmitidos en la radio escolar normalista, donde se compartieron las experiencias y hallazgos de la investigación, asegurando la divulgación y sensibilización sobre la calidad del agua en la institución, permitiendo que los estudiantes investigadores se prepararan en un ambiente académico para la socialización de los resultados.

RESULTADOS

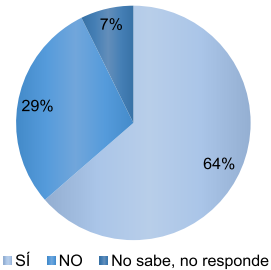
Se aplicó una encuesta a un total de 55 estudiantes de los grados sexto y undécimo. Esta abordó temas como el conocimiento de los estudiantes sobre la calidad del agua, el uso

del recurso hídrico y su percepción sobre el riesgo de contaminación microbiológica en el agua consumida dentro de la escuela. Además, se plantearon preguntas sobre prácticas de conservación del agua y la importancia de informar sobre uso y protección de este recurso. Este proceso constituyó la fase diagnóstica del proyecto y se articuló directamente con los principios del ABP, en tanto involucró a los estudiantes en la identificación y comprensión de un problema del contexto escolar. El ABP plantea que los proyectos deben partir de una pregunta impulsora significativa; en este caso, los resultados obtenidos permitieron validar la relevancia de la pregunta orientadora planteada en esta investigación.

Para los datos recolectados a través de la encuesta, se calcularon estadísticas descriptivas como porcentajes. El 64 % de los estudiantes encuestados percibe riesgo microbiológico en el agua de la institución (Figura 1), y solo el 40 % confía en su calidad. El 76 % cree que no se le da un buen uso (Figura 2) y aunque el 62 % la ha consumido del grifo, solo el 10 % ha reportado algún tipo de malestar (Figura 3). Un 98 % valora la importancia de educar sobre la calidad del agua, pero solo el 31 % ha escuchado campañas de educación (Figura 4). La encuesta evidencia preocupación por la calidad del agua y destaca la necesidad de mejorar la información y prácticas de conservación en la escuela.

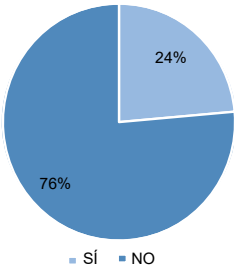
Estas percepciones no solo describen el estado de conocimiento de los estudiantes, sino que cumplen una función estructural dentro del ABP, ya que permiten situar el problema en la realidad del estudiantado; fomenta la apropiación del proyecto y motiva la formulación de acciones investigativas pertinentes. Como plantean Krajcik y Blumenfeld (2006), la investigación situada en contextos auténticos es un elemento esencial del ABP, pues posibilita que los estudiantes comprendan la relevancia de la indagación científica y desarrollen sentido de responsabilidad frente a los problemas de su entorno.

Figura 1. Percepción de riesgo microbiológico.



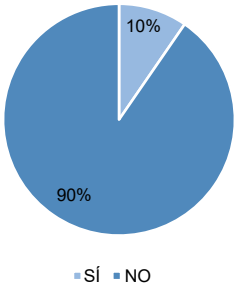
Nota. El gráfico representa la respuesta de los encuestados a la pregunta ¿Cree usted que el agua que se consume en la ENSP posee riesgo por contaminación microbiológica?

Figura 2. *Uso del recurso hídrico dentro del entorno escolar.*



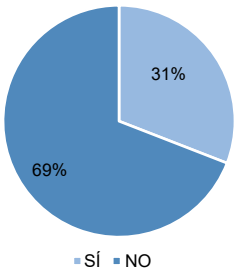
Nota. El gráfico representa la respuesta de los encuestados a la pregunta ¿Cree que los estudiantes le dan un buen uso al agua que se consume en la ENSP?

Figura 3. *Malestar consumo de agua directamente del grifo.*



Nota. El gráfico representa la respuesta de los encuestados a la pregunta ¿Ha tenido algún malestar físico como cólico estomacal o vómito por consumir agua del grifo?

Figura 4. *Campañas de educación ambiental sobre conservación del recurso hídrico.*



Nota. El gráfico representa la respuesta de los encuestados a la pregunta ¿Ha escuchado campañas en la ENSP sobre la protección del recurso hídrico?

El análisis microbiológico del agua revela que las muestras superan los límites permisibles de la resolución 2115 de 2007 en varios aspectos (Tabla 1). Los coliformes totales son

alarmantemente altos en todos los puntos de muestreo (324, 680, 110 UFC/100ml) cuando deberían ser CERO, lo que indica contaminación microbiológica. Aunque los coliformes fecales están dentro del límite permisible, el color en dos muestras excede el máximo permitido de 15 UPC, lo que sugiere posibles problemas de calidad en la potabilización o en los conductos de distribución.

La obtención, análisis e interpretación de estos resultados constituye un claro ejemplo de investigación auténtica, dimensión importante en la construcción del ABP, ya que los estudiantes se involucraron en procesos propios del trabajo científico tales como recolección de datos, manejo de instrumentos, contraste con normativas vigentes y análisis crítico de resultados. Este ejercicio fortaleció su alfabetización científica y ambiental al conectar conocimientos teóricos con problemáticas reales.

Tabla 1. Resultados de laboratorio y comparación con la normatividad colombiana, Resolución 2115 de 2007.

Variable	Método	Unidad	Resultados			Límites permisibles
			1	2	3	
pH	SM 4500H B	Unidades	7.33	7.34	7.27	≥ 6.5 a ≤ 9.0
Conductividad	SM2510B	µS/cm	71.3	82.4	79.5	≤ 1000
Turbiedad	SM 2130 B	UNT	0.7	1.3	1.2	≤ 2
Color	SM 2120 C	UPC	4	23	16	≤ 15
Coliformes totales	SM 9222 B	Ufc/100ml	324	680	110	0
Coliformes fecales	SM 9222 D	Ufc/100ml	0	0	0	0

Código muestra	Sítio de muestreo	Coordenadas
1	Primaria-Transición	Latitud 2.433763° - Longitud -76.619542°
2	Bachillerato bloque II	Latitud 2.432001° - Longitud - 76.613785
3	Bachillerato bloque III	Latitud 2.432343° - Longitud - 76.613668°

Nota. Esta tabla muestra los parámetros permisibles por la normatividad ambiental en Colombia y los resultados obtenidos en la fase de muestreo.

Asimismo, se divulgó la información recolectada y los resultados del análisis de laboratorio mediante programas radiales en la radio escolar Normalista, permitiendo así que la comunidad educativa se informara sobre los hallazgos, riesgos y se promoviera la sensibilización sobre la protección del recurso hídrico, cumpliendo con el principio de generar artefactos auténticos con propósito social pilar del ABP.

Por otro lado, los programas radiales se convirtieron en una herramienta efectiva para informar, educar y mantener a la comunidad involucrada en el proyecto. Al desglosar la investigación en segmentos comprensibles y divulgarlo de manera accesible, no solo aseguró la transparencia del proceso; también fortaleció el sentido de pertenencia y responsabilidad dentro de la comunidad escolar hacia la protección del recurso agua.

DISCUSIÓN

El resultado de la encuesta contribuyó a reflejar las percepciones y preocupaciones de los estudiantes sobre la calidad microbiológica del agua que consumen. Un 64 % de los estudiantes identifica un riesgo microbiológico y solo el 40 % confía en la calidad del agua, lo que coincide con el análisis microbiológico. Esto sugiere una conciencia generalizada del riesgo entre los estudiantes, reforzando la necesidad de acciones correctivas y educativas para mejorar la gestión y la seguridad del consumo de agua en la escuela.

El análisis microbiológico aporta evidencia directa al confirmar que la calidad microbiológica del agua consumida por los estudiantes de la ENSP es deficiente en el momento del muestreo y presenta riesgos significativos para la salud. Los altos niveles de coliformes totales en todos los puntos de muestreo, que superan ampliamente los límites permisibles, indican una contaminación que expone a los educandos a posibles enfermedades de origen hídrico, demostrando un riesgo potencial por el consumo de esta agua. Sin embargo, estos resultados son de un muestreo puntual y no deben tomarse como una exactitud dominante, más bien como una indicación preliminar que requiere de análisis adicionales para obtener conclusiones más precisas y fundamentadas. Aunque los resultados corresponden a un muestreo puntual, sirven como evidencia inicial que invita a formular nuevas preguntas, ampliar el muestreo y profundizar en análisis complementarios, aspectos consistentes con el carácter iterativo del ABP.

Los programas radiales permitieron una retroalimentación constante y podrían motivar futuras acciones y proyectos de investigación, basados en el impacto de los resultados divulgados dentro y fuera de la institución. El aporte de los medios de comunicación radica en su capacidad para sensibilizar y educar a la comunidad sobre la calidad microbiológica del agua que consumen. Al desglosar y divulgar los hallazgos de la investigación, los programas no solo informan sobre los riesgos potenciales; fomentan una conciencia colectiva y un sentido de responsabilidad dentro de la comunidad escolar. Esto es fundamental para promover la implementación de medidas correctivas y futuras investigaciones, impulsadas por el conocimiento compartido y la participación de todos los involucrados.

En conjunto, la discusión evidencia que cada fase del proyecto, desde la identificación del problema, pasando por la indagación científica, hasta la comunicación de resultados, se articula plenamente con los fundamentos del ABP. La integración de datos cuantitativos y cualitativos, procesos de laboratorio y estrategias de divulgación permitió que los estudiantes desarrollaran habilidades de investigación, pensamiento crítico y responsabilidad socioambiental, demostrando cómo el ABP puede potenciar experiencias de aprendizaje, contextualizadas y con impacto comunitario.

CONCLUSIONES

La mayoría de los estudiantes percibe un riesgo microbiológico significativo en el agua de la institución, lo que afecta su confianza en su calidad. A pesar de que el 62 % ha consumido agua del grifo, solo el 40 % confía en su seguridad. Estos resultados evidencian una discrepancia entre el consumo y la percepción de la calidad, lo que subraya la necesidad de mejorar la confianza y seguridad en el uso del agua dentro de la comunidad educativa.

El análisis microbiológico revela la presencia de coliformes totales muy por encima de los límites permisibles establecidos por la resolución 2115 de 2007, lo que indica una contaminación significativa en todos los puntos de muestreo. Aunque los coliformes fecales permanecen dentro de los parámetros aceptables, la detección de color en exceso sugiere posibles fallos en la potabilización o en el sistema de distribución. Estos resultados señalan la necesidad de revisar los sistemas de tratamiento o distribución para garantizar su calidad y reducir el riesgo para la salud.

Por otro lado, a pesar de que el 98 % de los estudiantes considera fundamental la educación sobre la calidad del agua, solo el 31 % ha estado expuesto a campañas informativas sobre el tema. Este hallazgo resalta la necesidad de intensificar los esfuerzos pedagógicos ambientales. Los programas radiales han mostrado ser una estrategia efectiva para sensibilizar a la comunidad, promoviendo el sentido de pertenencia y fomentando la responsabilidad en torno a la gestión del agua. Fortalecer estas iniciativas y migrar a escenarios digitales podría incrementar la conciencia colectiva, motivar acciones y proyectos futuros para mejorar las condiciones del agua en las escuelas.

La aplicación de metodologías activas como el de ABP, se consolida como una metodología integral que combina el desarrollo académico y convivencial con el crecimiento personal y social, prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos reales de su

territorio con herramientas científicas, ambientales y sociales. Permite que el estudiante sea un actor transformador de su entorno donde el docente es guía en la exploración del conocimiento, fomentando autonomía y capacidades que van más allá de la memorización de contenidos.

Los resultados evidencian la necesidad de fortalecer la gestión integral del recurso hídrico en la institución mediante un monitoreo periódico de la calidad del agua, mejoras en la infraestructura de distribución, instalación de sistemas de filtración y campañas permanentes de educación ambiental apoyadas en la participación estudiantil y la radio escolar. Asimismo, se recomienda avanzar en estudios longitudinales y análisis microbiológicos más profundos, evaluar el impacto del ABP en la alfabetización ambiental y explorar soluciones de ingeniería escolar y percepciones de diversos actores para consolidar una estrategia sostenible y comunitaria de protección del agua.

FINANCIAMIENTO

El financiamiento de esta investigación fue apoyado por el Programa Ondas Cauca 2024 de Minciencias, principal estrategia de fomento de una cultura en Ciencia, Tecnología e Innovación, con recursos aportados en el marco del Convenio No. 112721-176-2023, celebrado entre Fiduciaria Colombiana de Comercio Exterior S.A. FIDUCOLDEX actuando como vocera y administradora del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Fondo Francisco José de Caldas y Universidad del Cauca.

REFERENCIAS

Alegría-Vivas, E. (2012). *Análisis físico químico y microbiológico del agua cruda empleada para consumo humano en el centro poblado Usenda ubicado en el sector rural de Silvia-Cauca. Popayán*. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. <https://repositorio.unicauca.edu.co/handle/123456789/7305>

Bakare-Abidola, T., Olaoye J. y Oladapo Adams A. (2025). Isolation and identification of coliforms from public water supplies in Lagos state, Nigeria. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 25(03), 761-772. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.3.0728>

Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., y Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3-4), 369-398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>

Carrascal-Garcia, E y Rincon-Gomez, I. (2022). *Análisis de las características microbiológicas y fisicoquímicas que afectan la calidad del agua de consumo humano de la Universidad de Santander, Cúcuta 2021-2022*. Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/8926>

Chuquimarca-Pinzón, H. V., Jungal-Valladares, T. de J., Espín-Landázuri, M. A., y Vergel-Parejo, E. E. (2025). El Aprendizaje Basado en Proyectos para el desarrollo de la conciencia sostenible en la Educación General Básica. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 4(S1), 68-80. <https://doi.org/10.62697/rmiie.v4iS1.149>

Dagnino, J. (2014). Tipos de estudios. *Revista Chilena Anestesiología*, 43. 104-108. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://revistachilenadeanestesia.cl/P11/revchilanestv43n02.05.pdf>

Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1101_4

Faraji H., Rahimzadeh H., Salari M., Aghalari Z., Asgharzadeh F. y Jafarian S. (2025) Investigating the physical and chemical factors affecting the microbial status of water in the water distribution network of Babol City with an emphasis on the HPC index. *PLOS One* 20(6): e0324186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324186>

Flor García, M., y Obaco Soto, E. (2024). Las Metodologías Activas y su Impacto en el Rendimiento Académico de los Estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 4172-4191. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10829

- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). (2003). *Manual de Frascati 2002 - Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/ManualFrascati2002_0.pdf
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. https://books.google.com.co/books?id=5A2QDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Herrera, M., y Carrillo, A. (2020). Estrategias pedagógicas para fomentar la salud ambiental en perspectiva de la calidad del agua en una institución educativa. *Convergencia Journal of Research Center of IES INFOTEP HVG*, Pág. 20. <https://www.unicaribe.edu.co/wp-content/uploads/2024/08/art-1-estrategia-para-fomentar.pdf>
- Iñiguez-Muñoz, L. E., Anaya-Esparza, L. M., Castañeda-Villanueva, A. A., Martínez-Esquivias, F., Carvajal-Hernández, M., y Méndez Robles, M. D. (2022). Calidad microbiológica del agua potable utilizada en escuelas públicas de la ciudad de Tepatitlán, Jalisco. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 8(15), 33-39. <https://doi.org/10.29057/icap.v8i15.7958>
- Krajcik, J., y Blumenfeld, P. (2006). Project-based learning. En R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317-334). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020>
- Martí, J., Heydrich, M., Rojas, M., y Hernández, A. (2010). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia de innovación docente. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 11-21. <https://www.redalyc.org/pdf/215/21520993002.pdf>
- Mains, C. (2008). Biofilm Control in Distribution Systems. *Tech Brief*, 8(2). National Environmental Services Center at West Virginia University <https://actat.wvu.edu/files/d/b691725b-3f7c-41ba-b757-b67c374707d0/biofilm-control.pdf>

- Meza, M. del M., Ruiz, I. F., y Velásquez, G. (2012). Composición microbiológica de fuentes de agua natural y tratada de consumo en población Guambiana: un estudio piloto. *Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud Universidad del Cauca*, 14(3), 15-18. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/rfcs/article/view/65>
- Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (2002). *Cuestiones sustantivas que se plantean en la aplicación del pacto internacional de derechos económicos, sociales y culturales*. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2012/8789.pdf>
- Naciones Unidas para los Derechos Humanos. (2011). *El derecho al agua. Folleto informativo No 35*. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>
- Nisar M. A., Ross K. E., Brown M. H., Bentham R., Whiley H. (2020). Water Stagnation and Flow Obstruction Reduces the Quality of Potable Water and Increases the Risk of Legionellosis. *Frontiers in Environmental Science* (8). <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.611611>
- OMS. (1998). Guías para la calidad del agua potable - 2a ed. Volumen 3. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. ISBN 92 4 354503 5. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/dbfc2dc6-e6f3-4a62-8a48-60b4185a2fd1/content>
- OMS. (13 de 09 de 2023). Agua para consumo humano. [Artículo Web] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pertiwi, T. U., Oetomo, D., y Sugiharto, B. (2024). The effectiveness of STEM Project-Based Learning in improving students' environmental literacy abilities. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 10(2), 476-485. <https://doi.org/10.22219/jpbi.v10i2.33562>
- Rachman, I., y Matsumoto, T. (2023). Problem and project-based learning as an effective environmental education (EE) method: A case of textbook development in Medan City schools. *TEMALI: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 6(1), 39-53. <https://journal.unpas.ac.id/index.php/temali/article/view/7419/2857>

- Rahmawati, Y., Irwanto, I., Mardiah, A., Taylor, E., Taylor, P. C., Lisdiana, H., y Syaadah, R. S. (2025). Students' engagement in STEAM PjBL-design thinking for environmental literacy. *Journal of Education Culture and Society*, 16(1), 555-580. <https://doi.org/10.15503/jecs2025.2.555.580>
- Rojas, T., Montoya, A., Moreno, A., Mujica, R., y Vásquez, Y. (2012). Formación de biopelículas y susceptibilidad antimicrobiana entre coliformes aislados en agua potable embotellada en Carabobo, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 52(1), 87-97. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482012000100008
- Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales-SICA. (2012). *Análisis de la Calidad del Agua. Proyecto de Aula-Investigativo Curso Optativo III "Preparativos para la Reducción del Riesgo de Desastres"*. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Pág. 10. <https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/08/anexo-analisis-calidad-agua.pdf>
- Sharón, W., Aarón, P., y Martina, H. (2018). Comparison of biofilm cell quantification methods for drinking water distribution systems. *Journal of Microbiological Methods*, (144), 8-21. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.10.013>
- Sosah, F. K., Odoom, A., Anim-Baidoo, I., y Donkor, E. S. (2025). How long do pathogens persist and survive in water? A systematic review. *Frontiers in microbiology*, 16, 1654785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1654785>
- Suniaga, A. (2019). Metodologías Activas: Herramientas para el empoderamiento docente. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 7(1). 65-80 <https://doi.org/10.37843/rted.v7i1.27>
- Vargas, A. (2004). *Factores que favorecen el desarrollo y crecimiento de biopelículas en las tuberías de los sistemas de distribución de agua potable: estado del arte*. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/21355>

Zambrano Briones, M., Hernández Díaz, A., y Mendoza Bravo, K. (2022). El aprendizaje basado en proyectos como estrategia didáctica. *Revista Conrado*. 18(84), 172-182. <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v18n84/1990-8644-rc-18-84-172.pdf>

Zapata, C. K. (2009). Análisis de la calidad del agua y la percepción de las fuentes naturales de la microcuenca del Río Pixquiac, Veracruz, México. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/42330>

