

Artículo de Investigación

Aplicación del ABP en el diseño de redes de monitoreo de calidad de agua. Caso ríos Malacatos y Zamora, Ecuador

Application of PBL in the design of water quality monitoring networks. Case: Malacatos and Zamora rivers, Ecuador

Sonia L. Gonzaga Vallejo: Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

slgonzaga@utpl.edu.ec

Fecha de Recepción: 28/05/2024

Fecha de Aceptación: 06/09/2024

Fecha de Publicación: 31/01/2025

Cómo citar el artículo:

Gonzaga Vallejo, S. (2025). Aplicación del ABP en el diseño de redes de monitoreo de calidad de agua. Caso ríos Malacatos y Zamora, Ecuador [Application of PBL in the design of water quality monitoring networks. Case: Malacatos and Zamora rivers, Ecuador]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-20. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1411>

Resumen:

Introducción: La ONU revela cifras alarmantes sobre la escasez proyectada de agua para el año 2050; se prevé que será fuente de conflictos ambientales y sociales, agravados por el crecimiento urbano desordenado, que causa deforestación, contaminación del agua y pérdida de hábitats. Así, el objetivo de este trabajo es aplicar el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como estrategia educativa para desarrollar el pensamiento crítico y las habilidades blandas en los estudiantes universitarios. **Metodología:** Se formaron grupos de tres estudiantes, para levantar información de campo con equipo básico, identificando descargas de alcantarillado activas y demás características en los tramos urbanos de los ríos Malacatos y Zamora en el sur de Ecuador. La información se procesó en mapas utilizando SIG, para finalmente diseñar redes de monitoreo de calidad de agua, la frecuencia y los parámetros a vigilar. **Resultados:** El promedio de nota alcanzado por los estudiantes fue de 8.6/10 y el grado de satisfacción de los estudiantes con la actividad fue del 93%. **Discusión:** Estos resultados indican que se logró alcanzar el objetivo planteado. **Conclusiones:** La metodología ABP resultó efectiva, permitiendo a los estudiantes aplicar sus conocimientos en calidad de agua y otras asignaturas; desarrollando sus competencias profesionales de manera integral y práctica.

Palabras clave: Aprendizaje basado en problemas; ABP; Calidad de agua; crecimiento urbano; contaminación; red de monitoreo; pensamiento crítico; habilidades blandas.

Abstract:

Introduction: The UN reveals alarming figures on projected water scarcity by the year 2050; it is expected to be a source of environmental and social conflicts, aggravated by urban sprawl, which causes deforestation, water pollution and habitat loss. Thus, the objective of this work is to apply Problem Based Learning (PBL) as an educational strategy to develop critical thinking and soft skills in university students. **Methodology:** Groups of three students were formed to collect field data with basic equipment, identifying active sewage discharges and other characteristics in the urban sections of the Malacatos and Zamora rivers in southern Ecuador. The information was processed in maps using GIS, to finally design water quality monitoring networks, frequency and parameters to be monitored. **Results:** The average grade achieved by the students was 8.6/10 and the degree of student satisfaction with the activity was 95%. **Discussion:** These results indicate that the stated objective was achieved. **Conclusions:** The PBL methodology was effective, allowing students to apply their knowledge in water quality and other subjects; developing their professional competencies in a comprehensive and practical manner.

Keywords: Problem-based learning; PBL; water quality; urban growth; pollution; pollution; monitoring network; critical thinking; soft skills.

1. Introducción

Los recursos hídricos globales están sujetos a una creciente confrontación social debido a sus impactos ambientales y socioeconómicos. Un ejemplo de las fallas en su gestión es el crecimiento urbano desordenado, que provoca diversas presiones ambientales y sociales, como deforestación, expansión agropecuaria, degradación de la calidad del agua, contaminación y pérdida de hábitats naturales.

Con esta realidad y, en el ámbito de la educación superior, los estudiantes de hoy deben prepararse para enfrentar entornos laborales diversos y problemas que demandan enfoques innovadores y habilidades para su resolución. En ese contexto, es preciso, implementar en su formación estrategias didácticas que vayan más allá del mero aprendizaje de teorías y conceptos. Este artículo aborda el aprendizaje basado en problemas (ABP) como una estrategia educativa que fomenta un aprendizaje activo y promueve la formación integral de los estudiantes, en coherencia con el perfil profesional contemporáneo.

Por otro lado, Blázquez Entonado *et al.* (2001) destacan que la educación actual y futura no puede concebirse sin las nuevas tecnologías. En este contexto, las herramientas tecnológicas se convierten en un recurso poderoso para desarrollar proyectos multidisciplinarios. Estos proyectos permiten aplicar conocimientos adquiridos en diversas asignaturas, potenciando tanto las habilidades técnicas como las habilidades blandas de los estudiantes, como el trabajo en equipo, la comunicación interpersonal y el liderazgo.

En ese contexto, el uso de hojas de cálculo, sistemas de información geográfica (SIG) y software para el manejo y procesamiento de datos es algo cotidiano para los estudiantes de carreras técnicas, sustancialmente en ingeniería civil. Estas herramientas son empleadas por los estudiantes para desarrollar este trabajo, cuyo objetivo es plantear el paso inicial para el monitoreo de la calidad del agua en cauces urbanos de ciudades intermedias, como Loja, ubicada al sur del Ecuador.

Desde el enfoque inductivo del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en el que los estudiantes adquieren conocimientos mediante la resolución de problemas reales, permitiéndoles aprender y aplicar el contenido de la sesión de manera práctica y contextualizada. (Bernal González y Martínez Dueñas, 2009).

De acuerdo a definiciones sobre estrategias para docentes, los proyectos son tareas complejas basadas en preguntas desafiantes o problemas que implican para el estudiante el diseño, solución de problemas, toma de decisiones o actividades investigativas (García Arango, 2014); lo que le brinda al estudiante la oportunidad de trabajar de forma relativamente autónoma. También ofrece oportunidades para evaluar conocimientos adquiridos, descubrir áreas de aprendizaje necesarias y mejorar habilidades interpersonales y de comunicación. Facilita el trabajo en equipo y la capacidad de establecer y defender posiciones con argumentos sólidos basados en evidencias.

Asimismo, se debe hacer notar las limitaciones que algunos docentes encuentran en la aplicación de la metodología del ABP ó PBL por sus siglas en inglés; Valero-García (2012) señala que la evaluación merece mención especial. En particular, el proceso para determinar la calificación menciona, que se complica desde el momento en que entran nuevos elementos en juego, ya que hay que evaluar no sólo el aprendizaje individual de los alumnos, sino también la calidad de los productos que elaboran y el aprendizaje de las habilidades transversales, que puede resultar complejo al no ser cuantificables directamente.

García Arango (2014) menciona que una dificultad importante radica en diseñar evaluaciones que realmente demuestren el aprendizaje de los estudiantes. Además, indica que la creación de situaciones problemáticas requiere una gran cantidad de tiempo y enfrenta el dilema de utilizar problemas auténticos. Cuanto más auténtico es el problema, más limitada puede ser la capacidad del estudiante para encontrar una solución.

A pesar de estos retos, el ABP se presenta como una estrategia educativa válida en la educación superior, donde el estudiante es un protagonista activo de su aprendizaje. Este enfoque promueve un carácter social del aprendizaje, ya que los estudiantes aprenden más de la interacción entre ellos que de la exposición tradicional en clase (Bernal González y Martínez Dueñas, 2009).

En este marco, resultado de la aplicación del ABP a un problema real, se señala que la calidad del agua en los tramos de los ríos Zamora y Malacatos, que atraviesan la ciudad de Loja, presenta graves problemas de contaminación, como lo indican Maldonado Mendieta (2014) y los informes de muestreos realizados por otros investigadores en estos dos cauces.

La formulación de una red de monitoreo de calidad de agua y su correspondiente plan de monitoreo por parte de los estudiantes refleja un enfoque de investigación riguroso. Este proceso incluye la identificación y justificación de la ubicación de puntos de control, los parámetros a vigilar y la frecuencia de monitoreo. Todo esto es el resultado de una meticulosa planificación y organización, que implican un importante trabajo en equipo para distribuir y desarrollar equitativamente las actividades designadas a los integrantes de cada grupo de trabajo.

1.1. Contaminación del agua en cauces urbanos

Las aguas superficiales contaminadas con sustancias químicas tóxicas y ríos eutrofizados por exceso de nutrientes son motivo de preocupación en todo el mundo (Yang *et al.*, 2021). Además, la contaminación fluvial también puede afectar al paisaje urbano, que se considera como un aspecto significativo del desarrollo de la ciudad en los últimos años (Miao *et al.*, 2020)

Debido al crecimiento urbano, los cauces urbanos han sido canalizados y las alcantarillas diseñadas para recibir toda el agua de escorrentía superficial (Castro Fresno *et al.*, 2005) lo cual ha derivado en el deterioro de la calidad de agua que fluye por sus cauces, puestos de manifiesto en las variaciones extremas de Oxígeno Disuelto (OD); aumento de concentraciones de nutrientes como el Nitrógeno y Fósforo, lo que inevitablemente limita su uso del agua para agua potable o riego.

Independientemente del método o métodos aplicados para medir la calidad del agua en un cauce superficial, es importante considerar que muchos de estos métodos son sintéticos y desarrollados en otros países, donde la población tiene costumbres y rasgos culturales diferentes. Por lo tanto, aunque los parámetros de vigilancia basados en esas características pueden ser válidos en condiciones similares, no siempre resultan completamente adecuados para todas las situaciones.

Adicionalmente, se debe considerar que, aunque las técnicas de medición han avanzado en los últimos años, siguen siendo caras y demandan mucho tiempo (Miao *et al.*, 2020). Este factor impide que países en vías de desarrollo como Ecuador puedan desarrollar un plan integral de monitoreo de calidad de agua que incluya el seguimiento y control de vertidos contaminantes.

1.2. Calidad de agua

Calidad de agua es un concepto que se asocia al uso que se va a hacer del recurso, así la complejidad y las controversias en cuanto a la capacidad de las diferentes metodologías para informar sobre el carácter cualitativo del recurso hídrico han resaltado las distintas definiciones e interpretaciones que se emplean para el concepto calidad del agua. La calidad del agua se refiere a la medida en que el agua es segura y adecuada para su uso previsto: para consumo humano en sus actividades diarias, uso agrícola para irrigar cultivos, usos industriales, recreativo, etc., considerando que el agua es esencial para todas las actividades del hombre.

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica (Sierra Ramírez, 2011) Esta calidad se ve afectada por diferentes factores no solo químicos, sino también ambientales y sociales. Es importante monitorear y mantener la calidad del agua para garantizar su seguridad y proteger la salud pública y el medio ambiente (Biswas y Tortajada, 2019), de donde nace la importancia de controlar los vertidos de aguas residuales domésticas o industriales, que son los que llevan contaminantes a los cauces deteriorando los ecosistemas naturales.

1.1.1. Calidad de agua cauces urbanos río Zamora y Malacatos

La calidad de agua de los cauces urbanos de los ríos Zamora y Malacatos en la ciudad de Loja, Ecuador se ven afectados por varios factores principalmente derivados de la deficiente planificación de desarrollo urbano de la ciudad y de las actividades antropogénicas como vertidos clandestinos de lavadoras de vehículos, desechos sólidos y escombros. Como se ha descrito en párrafos anteriores, no existe un programa o plan de monitoreo que proporcione

datos consistentes sobre los parámetros físicos, químicos o biológicos necesarios para el desarrollo de un índice de calidad adecuado a las características de estos cauces.

Con esa connotación, se han investigado trabajos académicos que proporcionan una línea base para el desarrollo de este artículo Arce Moncada y Leiva Calderón (2009) describen características de los ríos Malacatos y Zamora; en su estudio, utilizando la metodología SVAP (*Stream Visual Assessment Protocol*), asignaron puntajes entre 1 y 10 para evaluar 15 parámetros, los cuales podían excluirse si la información es insuficiente para evitar influencias negativas en el resultado final de la evaluación. Estas características se presentan en la Tabla 1, y las zonas de muestreo (ZM) se pueden identificar en la Figura 1.

Tabla 1.

Características de los tramos urbanos de los ríos Malacatos y Zamora

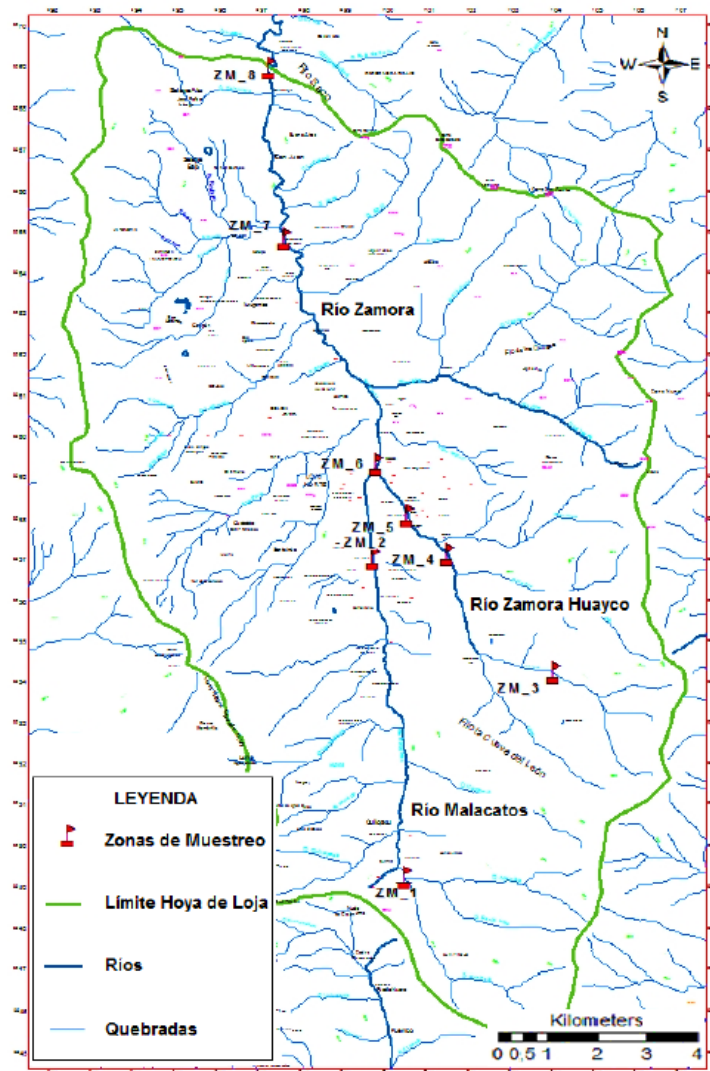
Zona de muestreo	Coordenadas UTM (17)		Cauce	Características
	x	y		
ZM1	0700.255	9.548.832	Malacatos	Altitud 2.260 m.s.n.m., en el límite urbano, zona cubierta de pastizales, actividad ganadera, pocas viviendas, presencia de residuos sólidos y descargas de ARU's, no hay servicio de alcantarillado.
ZM2	0699.9394	9.557.050	Malacatos	Zona sur de la ciudad casco urbano, altitud 2.248 m.s.n.m., descargas de ARU's, cauce modificado por encajonamiento de muros a las riberas.
ZM3	0703.730	9.553.918	Zamora Huayco	Zona de captación para agua potable, altura 2.248 m.s.n.m., baja actividad agrícola y ganadera, con poca alteración al sistema natural.
ZM4	0701.233	9.556.850	Zamora Huayco	Casco urbano, 2.104 m.s.n.m., presión antrópica, ciudadelas en el área de la cuenca aportante, presencia de residuos sólidos, lavado de vehículos
ZM5	0700.210	9.557.848	Zamora Huayco	Casco céntrico de la ciudad, altura 2.075 m.s.n.m., río modificado por el encajonamiento del cauce con muros laterales de protección, presencia de árboles en las riberas en el canal del río.
ZM6	0699.599	9.559.318	Zamora	Altura 2.054 m.s.n.m., a 200 m de la unión de los ríos Zamora Huayco y Malacatos, alto contenido de sedimentos, color amarillento y mal olor del río.
ZM7	0697.272	9.564.576	Zamora	Altura 1.992 m.s.n.m., al norte de la ciudad, límite urbano en este punto descargan los colectores marginales del alcantarillado de la ciudad, mal olor alta contaminación orgánica, presencia de residuos sólidos, vegetación herbácea y arbustos

Zona de muestreo	Coordenadas UTM (17)		Cauce	Características
	x	y		
ZM8	0696.830	9.569.104	Zamora	Altura 1.947 m.s.n.m., fuera del perímetro urbano, zona de extracción de pétreos, modificación de la morfología del cauce, actividad agrícola y ganadera

Fuente: Adaptado de *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo* por Arce Moncada y Leiva Calderón (2009)

Figura 1.

Ubicación de las zonas de muestreo



Fuente: Mapa de las zonas de muestreo en los ríos Malacatos y Zamora. Adaptado de *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo* por Arce Moncada y Leiva Calderón (2009).

Esta información es relevante porque no se han implementado medidas correctivas respecto a las descargas de aguas residuales en los ríos Malacatos y Zamora. Por el contrario, con el crecimiento de la ciudad, estos problemas se han exacerbado, y ambos cauces enfrentan graves problemas de contaminación sin soluciones a corto plazo.

2. Metodología

Se abordó el problema de la contaminación en los ríos Malacatos y Zamora en la ciudad de Loja, Ecuador, como un proyecto educativo utilizando la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). En este proyecto, se debió diseñar una red de monitoreo de calidad de agua, involucrando a estudiantes de la asignatura de Calidad de Agua de la carrera de Ingeniería Civil. El objetivo principal fue fortalecer las competencias técnicas y de investigación de los estudiantes mediante la aplicación práctica de sus conocimientos.

2.1. Formación de grupos de trabajo

De un total de 27 estudiantes, se organizaron grupos de tres, asegurando que en cada grupo hubiera al menos una mujer. Esto se hizo con el objetivo de fomentar la inclusión y el trabajo colaborativo, dado que en las carreras STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), como ingeniería civil, la representación femenina es habitualmente inferior al 25%. La forma de agrupación se desarrolló por selección de los propios alumnos.

Se asignaron aleatoriamente 4 grupos al estudio del río Zamora y 5 grupos al río Malacatos. Cada grupo tenía la responsabilidad de realizar un levantamiento de información de campo, utilizando instrumentos básicos como GPS, cámaras y libretas de notas para registrar información relevante por observación directa.

2.2. Recopilación de datos de campo

Las necesidades del proyecto requirieron una organización eficiente del tiempo y un trabajo colaborativo; realizaron recorridos a lo largo de los tramos urbanos de ambos cauces. Durante los cuales, identificaron todas las tuberías de descargas de alcantarillado pluvial y/o residual, tanto activas como pasivas, así como las características urbanísticas del área. Además, detectaron otros posibles tipos de contaminación, como sitios potenciales de vertido de desechos sólidos y escombros. Esta fase del proyecto fue determinante para obtener datos precisos sobre los puntos de contaminación y las condiciones del entorno.

2.3. Procesamiento y mapeo de la información

Toda la información recopilada se procesó y detalló en formato de bases de datos en Excel y mapas utilizando sistemas de información geográfica (SIG) e imágenes de *Google Earth* y planos en Autocad. Esto permitió una visualización clara y precisa de las áreas monitoreadas, facilitando la identificación de los puntos críticos de contaminación y la aplicación de los criterios de selección aprendidos en clase.

2.4. Diseño de la red de monitoreo

Una vez definidos los puntos de control o monitoreo, se consideraron los criterios de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente) para determinar los parámetros a vigilar. En este caso, el objetivo de calidad planteado fue el uso para riego agrícola. Con toda la información de campo recopilada y los datos secundarios obtenidos de los Geo portales, los estudiantes diseñaron propuestas para la red de monitoreo de calidad de agua en ambos cauces. Este diseño incluyó la identificación de puntos de control estratégicos, la determinación del número de parámetros físico-químicos y microbiológicos a monitorear, así como la frecuencia de estos monitoreos.

2.5. Evaluación y validación

El diseño de la red de monitoreo fue evaluado mediante un proceso de retroalimentación entre pares, que incluyó exposiciones y discusiones en grupo bajo la supervisión de la docente. Los estudiantes asignaron una nota a cada grupo, la cual se consideró como un indicador adicional para la evaluación final del trabajo.

Finalmente, como un indicador de la eficiencia en la aplicación de la metodología del ABP en el diseño de las redes de monitoreo para los cauces urbanos de los ríos Malacatos y Zamora, se aplicó una encuesta de percepción a los estudiantes. Esta encuesta también propuso una autoevaluación de su desempeño dentro del grupo de trabajo y nivel de aprendizaje en relación con la tarea planteada.

3. Resultados

Los resultados de este trabajo se presentan en el siguiente orden: en primer lugar, se expone el resultado de la aplicación de la metodología ABP, evaluando el desempeño de los estudiantes en la propuesta del proyecto académico titulado “Diseño de una red de monitoreo de calidad de agua para los cauces urbanos de los ríos Zamora y Malacatos.” Se incluye el resultado de la evaluación presencial de la asignatura, donde ambos componentes se califican sobre 10 puntos.

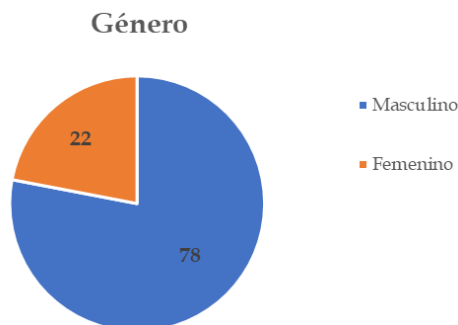
En segundo lugar, se presentan los resultados de los trabajos realizados por los estudiantes, enfatizando en los principales datos obtenidos. Debido a la extensión, no es posible incluir todos los resultados.

3.1. Rendimiento estudiantil mediante la aplicación de ABP

En este apartado se exponen los resultados del rendimiento estudiantil mediante la aplicación de la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en el contexto del proyecto académico. En la Figura 2 se presenta la distribución porcentual por género en la asignatura y, en la Tabla 2 se presentan los resultados de notas promedio de los 9 grupos, cada uno compuesto por 3 estudiantes, de un total de 27 alumnos.

Figura 2.

Distribución porcentual por género



Fuente: Elaboración propia (2024).

Tabla 2.

Promedio de notas de los grupos de trabajo

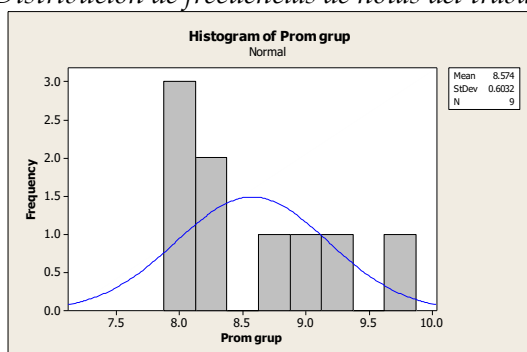
Grupos	Nota prom. por grupo
1	8,78
2	9,17
3	8,11
4	8,33
5	9,78
6	8,14
7	8,06
Grupos	Nota prom. por grupo
8	8,67
9	8,06

Fuente: Elaboración propia (2024).

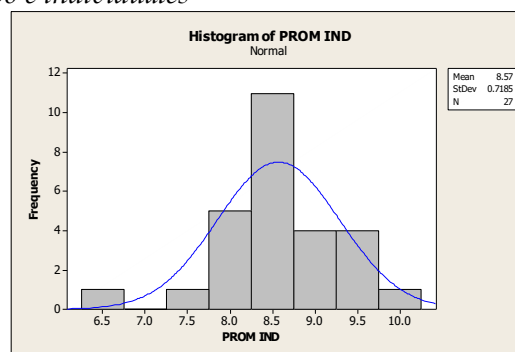
En la Figura 3 (a) se muestra la gráfica de distribución de frecuencias y curva de distribución normal de la variable nota promedio por grupo y (b) distribución de notas individuales del grupo.

Figura 3.

Distribución de frecuencias de notas del trabajo por grupo e individuales



(a) Distribución de frecuencias por grupo



(b) Distribución de frecuencia notas individuales

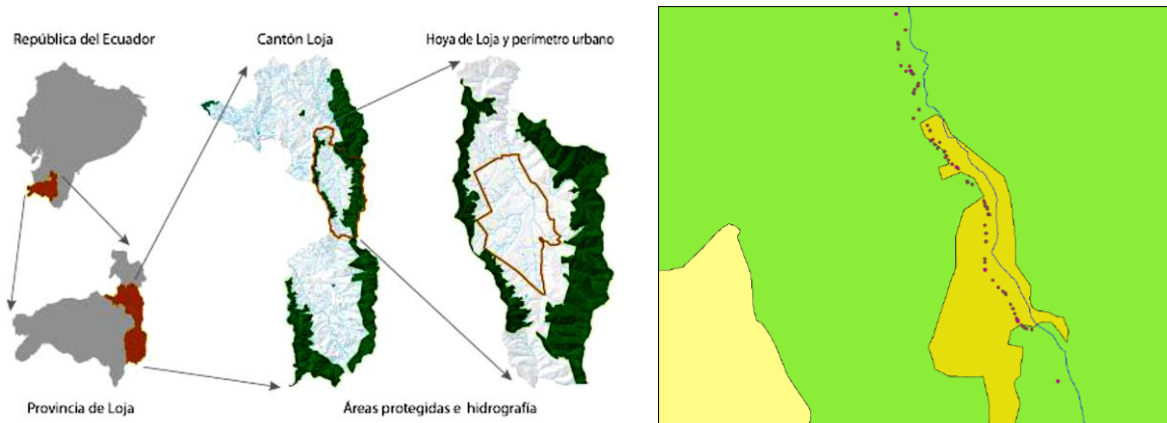
Fuente: Elaboración propia (2024).

3.2. Área de estudio

En la Figura 4 se muestra el área de estudio del cauce urbano del río Zamora y en la Figura 6, el área de estudio del cauce urbano del río Malacatos.

Figura 4.

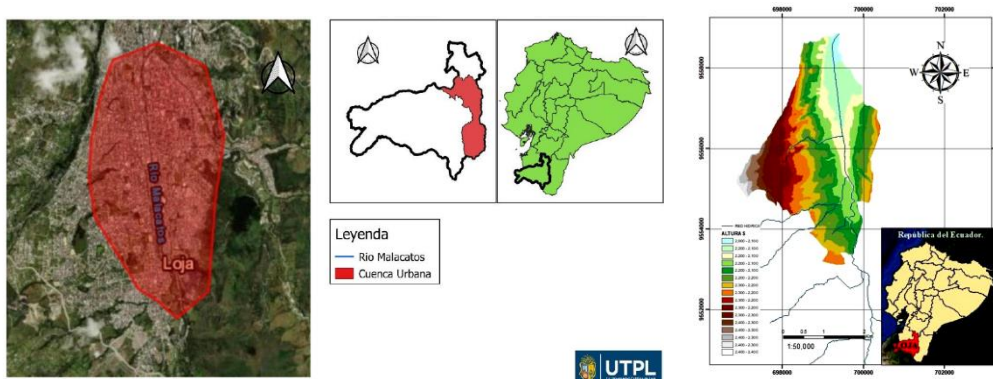
Área de estudio cauce urbano del río Zamora



Fuente: Adaptado de trabajos de la asignatura *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

Figura 5.

Área de estudio cauce urbano del río Malacatos



Fuente: Adaptado de trabajos de la asignatura *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

3.3. Resultados del trabajo de campo

Del trabajo de campo realizado por los 9 grupos, 4 en el río Zamora y 5 en el río Malacatos, se presentan los resultados en la Tabla 3. Esta tabla resume el número de descargas de aguas residuales detectadas, tanto activas como inactivas y en la Tabla 4 se muestran las principales características de las zonas donde se propone la implementación de los puntos para la red de control y monitoreo.

Tabla 3.

Número de tubería de descargas activas e inactivas detectadas en los cauces

Cauce	Numero tuberías	Observaciones
Malacatos	144	Valor promedio de los 5 grupos, que presentan valores similares entre sí. L= 11.4 km aprox.
Zamora	71	Valor promedio de 4 grupos; presentan resultados similares entre sí; L= 10, 6 km aprox.

Fuente: Resumen de datos de la asignatura *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

Tabla 4.

Puntos de control y áreas circundante de los ríos Malacatos y Zamora

Punto de control	Coordenadas UTM (17S)		Cauce	Características
	x	y		
M1	700.224,88	9.548.938,16	Malacatos	Elevación 2.261m.s.n.m. En el límite urbano de la ciudad, punto de control al ingreso a la ciudad; actividad ganadera, bajo desarrollo urbanístico, sin alcantarillado sanitario.
M2	699.748,31	9.554.374,17	Malacatos	Elevación 2.118 m.s.n.m. Alta presión antropogénica, descargas de ARU's, presencia de lavadoras de vehículos aguas arriba, presencia de escombros.
M3	699.692,69	9.554.835,79	Malacatos	Elevación 2.108 m.s.n.m. Área de parque Lineal, estructura de control hidráulico, desarenador, azud, zona urbanizada, presencia de tuberías de descarga de ARU's, mayor densidad poblacional. Presencia de maquinaria en el cauce.
M4	699.351,05	9.557.369,93	Malacatos	Elevación 2.072m.s.n.m. Casco céntrico de la ciudad primer segmento, aguas debajo de un centro de abastos, presión antropogénica, vertido de residuos sólidos.
M5	699.264,66	9.558.184,57	Malacatos	Elevación 2.062 m.s.n.m. Casco céntrico segundo segmento, aguas abajo de una descarga activa de ARU's. sector comercial de la ciudad
M6	699.426,48	9.558.864,22	Malacatos	Elevación 2.054 m.s.n.m. 50 m aguas arriba del punto de convergencia con el río Zamora Huayco, desde ese punto se denomina río Zamora
Z1	701.443,50	9.555.832,45	Zamora Huayco	Elevación 2.120 m.s.n.m. Límite urbano sector Nor-oriental de la ciudad, presencia de vegetación

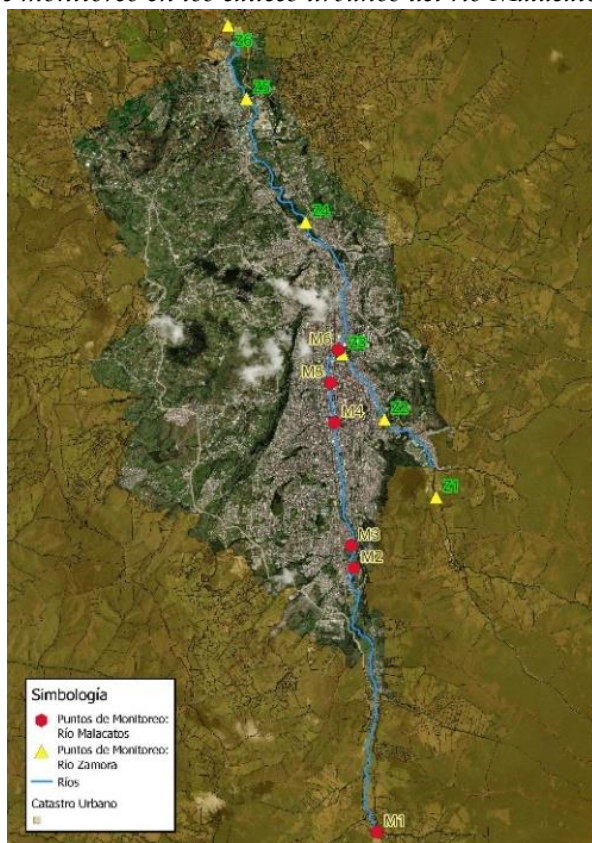
				herbácea y arbustiva, baja presión antropogénica, sin presencia de descargas visibles de ARU's
Z2	700377,55	9.557.437,13	Zamora Huayco	Elevación 2.076 m.s.n.m. Aumento de la densidad poblacional, presencia de tuberías de descarga de ARU's, zona residencial.
Z3	699.515,00	9.558.785,00	Zamora Huayco	Elevación 2.055 m.s.n.m. Zona comercial y residencial de la ciudad, aguas arriba de la unión con el río Malacatos.
Z4	698.756,00	9.561.495,00	Zamora	Elevación 2.024 m.s.n.m. Zona de centro abastos, con alta presión antropogénica, residuos sólidos y descargas de ARU's, alta densidad poblacional.
Z5	697.537,80	9.564.042,81	Zamora	Elevación 1998 m.s.n.m. Sector de parque industrial, presencia de descargas de ARU's.
Z6	697.159,14	9.565.542,48	Zamora	Elevación 1.994 m.s.n.m. Aguas abajo de la descarga de estación depuradora de agua residuales, a la fecha al 30% de eficiencia.

Fuente: Resumen de datos del trabajo de *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

En la Figura 6 se muestran los puntos de control de la red de monitoreo en los dos cauces.

Figura 6.

Ubicación de los puntos de monitoreo en los cauces urbanos del río Malacatos y río Zamora



Fuente: Trabajos de la asignatura *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

En la Tabla 5 se resumen los parámetros físicos, químicos y microbiológicos propuestos para el monitoreo de calidad de agua de agua en los dos cauces, la frecuencia de monitoreo propuesta es trimestral.

Tabla 5.

Parámetros físico – químicos y microbiológicos a monitorear

Parámetro	Unidad
Aceites y grasas	Película visible
Aluminio	mg/L
Zinc	mg/L
Cobalto	mg/L
Cobre	mg/L
Coliformes totales	NMP/100 ml
Cobre	mg/L
Hierro	mg/L
Cromo	mg/L
Litio	mg/L
Mercurio	mg/L
Nitritos	mg/L
Níquel	mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L

pH	mg/L
Plomo	mg/L
Sulfatos	mg/L
Turbidez	NTU

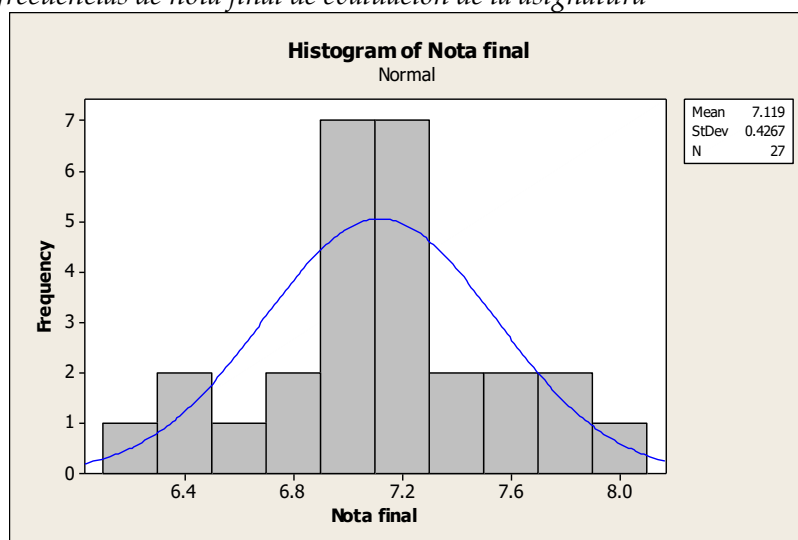
Fuente: Resumen de datos del trabajo de *Calidad de agua*. Elaboración propia (2024).

3.4. Evaluación y validación

En la Figura 7 se presenta la distribución de frecuencias de las calificaciones finales de la asignatura, que incluye los tres componentes de la evaluación: Aprendizaje en Contacto con el Docente (ACD), Aprendizaje Práctico Experimental (APE) y Aprendizaje Autónomo. Esta evaluación abarcó todos los contenidos del curso, incluyendo el diseño de redes de monitoreo, la identificación de parámetros de calidad de agua y el cálculo de índices sintéticos de calidad, entre otros.

Figura 7

Distribución de frecuencias de nota final de evaluación de la asignatura

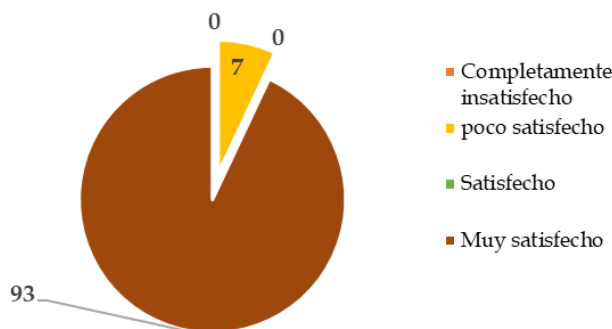


Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto al grado de satisfacción con la tarea de diseño de la red de monitoreo de calidad de agua y su calificación final, se aplicó una encuesta con una sola pregunta utilizando una escala de Likert con los siguientes valores: completamente insatisfecho (1), poco satisfecho (2), satisfecho (3) y muy satisfecho (4). Los resultados en porcentaje se presentan en la Figura 8.

Figura 8.

Distribución porcentual de nivel de satisfacción con el proyecto



Fuente: Elaboración propia (2024).

4. Discusión

Como se observa en la Figura 2, el porcentaje de mujeres es 22% en esta asignatura es consistente con lo publicado por Pierce, Margo (2013), acerca de la baja participación de la mujer en carreras de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) 24%, frente al hecho de que representan el 49% de toda la fuerza laboral, frente a la cual su respuesta es la cultura. Manifiesta que la forma de barreras va desde el sesgo implícito y los estereotipos sutiles hasta la ignorancia voluntaria y la discriminación flagrante.

En el análisis de los resultados de la aplicación de la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), se observa en la Tabla 2 las calificaciones obtenidas por grupo en la tarea propuesta, la cual consistió en diseñar una red de monitoreo de calidad de agua en los cauces urbanos de los dos ríos que atraviesan la ciudad de Loja, Ecuador.

De acuerdo con los datos presentados, el grupo 5 destacó significativamente, obteniendo una calificación de 9,78 sobre 10. Este alto puntaje indica un desempeño superior tanto en el trabajo grupal como en la calificación asignada por la docente y la heteroevaluación realizada por sus compañeros. Asimismo, se tiene el valor más bajo de 8,11 sobre 10 atribuible a una menor calidad del trabajo y resultado de la heteroevaluación correspondiente. Recordando que la heteroevaluación requiere la guía y supervisión del facilitador con una planificación explícita de los parámetros evaluativos (Bazurto Mendoza *et al.*, 2021)

La heteroevaluación proporciona una perspectiva adicional y ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades críticas y reflexivas al analizar el trabajo de otros. Además, fomenta un sentido de responsabilidad y objetividad, ya que los estudiantes deben evaluar de manera justa y fundamentada.

Los resultados de la calificación por grupo se representan en la Figura 4 (a) donde se observa que la media de las notas promedio de los grupos es 8,574. Esto indica el valor promedio de las calificaciones de los grupos, indicando un buen desempeño general.

La variabilidad en las notas promedio muestra que mientras que un grupo sobresalió, otro se quedó en el rango más bajos (7,5-8,5); lo que se podría interpretar que existió una diferencia en la dinámica del grupo, la comprensión del material o en el grado de implicación en el desarrollo de la tarea. Esto se ve reflejado con mayor claridad en el resultado de la gráfica de distribución de frecuencias de la Figura 4 (b) donde se observa la distribución de frecuencias

de notas (PROM IND) individuales, donde se tiene valores con una media de 8,57 y extremos en el rango inferior (6-7) y en el extremo superior en el rango de (9-10).

La mayor concentración de notas se encuentra alrededor de la media (8,57), con la mayoría de los estudiantes obteniendo calificaciones entre 8.0 y 9.0. La distribución normal de las notas indica que no hubo anomalías significativas en el proceso de evaluación. Por otro lado, este análisis proporciona una visión general del rendimiento individual de los estudiantes, destacando la consistencia y la buena calidad del aprendizaje en términos generales.

La implementación de la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) tuvo como objetivo evaluar y mejorar las competencias de los estudiantes en la creación de soluciones prácticas y efectivas para el monitoreo de la calidad del agua en los dos ríos objeto de estudio. En este contexto, los resultados del trabajo desarrollado por los estudiantes arrojan datos significativos, demostrando la eficiencia de la metodología. Además, coloca al estudiante como el principal protagonista del proceso de aprendizaje, validando lo expresado por (Bernal González y Martínez Dueñas, 2009), quienes afirman que los estudiantes aprenden mucho más de la interacción que surge entre ellos que únicamente de la exposición.

En contexto con el objetivo de la tarea, las Figuras 4 y 5 muestran las áreas de estudio delimitadas por las cuencas aportantes al cauce del río Zamora y al cauce del río Malacatos, respectivamente. Estos trabajos, realizados utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) y Google Earth, demuestran las habilidades que los estudiantes de la carrera de ingeniería civil ya poseen antes de tomar la asignatura y que han puesto en práctica en el desarrollo de este trabajo.

La Tabla 3 muestra a manera de resumen los datos del número de tuberías de descargas de conexiones clandestinas o no conectadas a la red pública de alcantarillado de la ciudad. Si bien Los cuerpos de aguas naturales pueden servir para muchos usos, incluido el transporte y la asimilación de desechos (Gil-Marín *et al.*, 2018) es indiscutible que la calidad del cuerpo de agua se ve deteriorada.

Un programa de monitoreo de calidad de agua, o al menos un plan de monitoreo, son indispensables para la gestión de las cuencas hidrográficas. En estas áreas, los cauces denominados urbanos han sido históricamente vulnerados en su calidad debido a las descargas de aguas residuales tanto domésticas como industriales. En consecuencia, estos programas permitirían identificar fuentes de contaminación, evaluar los impactos ambientales, y desarrollar estrategias para mejorar y mantener la calidad del agua, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos y la salud de los ecosistemas acuáticos y las comunidades humanas que dependen de ellos.

Por lo tanto, es esencial contar con información detallada de los ríos, ya sean estos en estado natural o antropizado, con el fin de establecer medidas estructurales y no estructurales adecuadas. Las medidas estructurales incluyen todas aquellas construcciones que reducen o evitan el impacto de las descargas de aguas residuales, el vertido de desechos y contaminantes en general. Esto abarca un amplio rango de obras de ingeniería civil (López y Rotger, 2013), lo que resalta la importancia de este trabajo en el ámbito de la formación profesional.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del trabajo de campo realizado por los 9 grupos de estudiantes. Esta tabla resume las principales características de las áreas circundantes a los puntos elegidos como puntos de control o monitoreo. Los resultados incluyen la ubicación geográfica, la elevación y las características principales de cada área. Como se observa, esta información es indispensable para evaluar las condiciones ambientales y es estratégica para

controlar la variabilidad que puede presentarse debido a las características particulares de cada segmento de los cauces.

Los criterios de selección de los puntos de control obedecieron a considerar los cambios en los tipos de construcciones o edificaciones en las áreas próximas a los ríos, densidad poblacional, segmentación por zonas residenciales, industriales, centros de abasto, identificación de vertidos contaminantes, facilidad de acceso y de construcción de obra civil para la ubicación de equipos o tecnología para el monitoreo.

Todos estos criterios fueron debidamente explicados, fundamentados y guiados por la docente durante las revisiones de avance de los trabajos. Esta orientación permitió a los estudiantes comprender la importancia de cada criterio y su aplicación práctica en el contexto del monitoreo de la calidad del agua. Además, aseguró que los puntos de control seleccionados fueran relevantes y efectivos.

En la Figura 6 se puede observar gráficamente la ubicación de los puntos de las redes de monitoreo en los dos cauces urbanos, identificados con la letra (M) para los puntos de control del río Malacatos y (Z) para los del río Zamora. La selección de estos puntos propuestos se basa en los criterios previamente señalados. Estos criterios fueron asertivamente asimilados y justificados por el grupo 2 en el río Malacatos y 5 en el Zamora, de entre los 9 grupos de trabajo.

Además de los puntos de control, en la Tabla 5 se presenta un grupo de 19 parámetros físico-químicos y microbiológicos a monitorear. Estos parámetros se seleccionaron con base en los criterios de calidad de agua establecidos por la normativa ecuatoriana en el Texto Unificado de Legislación del Medio Ambiente (TULSMA). Específicamente, se consideraron los criterios de calidad para uso en riego agrícola, según lo dispuesto en la Tabla 3 de dicha normativa, y no los criterios para la preservación de ecosistemas. Esto se debe a que estudios previos indican que los cauces están severamente afectados por actividades antropogénicas y la mala gestión de las cuencas hidrográficas, por tanto, su recuperación a este nivel de uso se torna ambicioso y poco probable, considerando la falta de recursos asignados a temas ambientales y desinterés por las instituciones públicas competentes.

Finalmente, como evaluación y validación de la metodología ABP en el desarrollo de este trabajo, se presenta la gráfica de distribución de frecuencias de las notas finales para aprobación o reprobación del curso en la Figura 7, en la cual como se observa se tiene una nota media de 7,119 con una desviación estándar de 0.467, lo que muestra la variabilidad o dispersión de las notas alrededor de la media.

La curva de distribución normal superpuesta coincide bien con la distribución de las notas, lo que indica que el rendimiento de los estudiantes es consistente y no hay extremos significativos.

Como se observa existe una dispersión moderada de las notas respecto a su media, lo cual nos lleva deducir que esto indica una uniformidad en la comprensión y el aprendizaje de los contenidos de la asignatura.

Para la validación, se aplicó una breve encuesta de una sola pregunta utilizando la escala de Likert, para evaluar la percepción del impacto o provecho de la actividad como metodología activa de aprendizaje. Que se observa en la Figura 8. El 93% de los estudiantes manifestaron estar muy satisfechos, mientras que el 7% indicó estar poco satisfecho, lo cual está asociado con la reprobación de la asignatura. Estos resultados evidencian que la mayoría de los estudiantes percibieron positivamente el impacto de la metodología activa de aprendizaje

implementada, lo cual les ayudó a mejorar sus notas globales y, consecuentemente, a aprobar el curso.

5. Conclusiones

El grupo 5 destacó significativamente con una calificación de 9.87 sobre 10, indicando un desempeño superior en el trabajo grupal y en la evaluación por parte de la docente y compañeros. Este alto rendimiento refuerza la efectividad de la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en promover la colaboración y el aprendizaje colaborativo que se fomenta.

La media de las notas promedio de los grupos fue de 8,6; con una distribución normal de las calificaciones individuales alrededor de esta media. Esta consistencia indica que la mayoría de los estudiantes lograron comprender y aplicar efectivamente los contenidos del curso.

En cuanto a la implementación del ABP, se concluye que mejoró significativamente las competencias de los estudiantes en la creación de soluciones prácticas y efectivas para el monitoreo de la calidad del agua. El 93% de los estudiantes reportaron estar muy satisfechos con la metodología, evidenciando su percepción positiva del impacto en su aprendizaje y rendimiento académico; lo cual resalta la efectividad de la metodología en fomentar un aprendizaje basado en la asignación de tareas colaborativas, trabajo en equipo e incluso que se ve reflejado en el rendimiento académico de los estudiantes.

Se confirma la tendencia mundial de la baja participación de las mujeres en carreras STEM, ya que se tiene un 22% de mujeres en la asignatura y esto se puede extrapolar a la carrera en general de ingeniería civil. Esto subraya la necesidad de abordar las barreras culturales y estructurales que limitan la participación femenina en estas áreas, que se constituyen en otra línea de investigación y trabajo.

La información proporcionada en este trabajo sobre los cauces del río Malacatos y Zamora en el sector urbano de la ciudad de Loja incluye la ubicación geográfica exacta de los puntos de monitoreo, las características de las áreas circundantes, los parámetros de control y la frecuencia de monitoreo. Estos datos se pueden calificar como un estudio de prefactibilidad. Esta información es fundamental para que los actores con capacidad de toma de decisiones establezcan planes de gestión de la cuenca urbana.

Estos planes deben incluir recomendaciones para medidas estructurales y no estructurales adecuadas, facilitando así decisiones informadas. Esto es fundamental para la gestión sostenible de las cuencas hidrográficas y la protección de la calidad del agua, especialmente en los cauces urbanos afectados por actividades antropogénicas.

6. Referencias

Arce Moncada, M. F. y Leiva Calderón, A. A. (2009). *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo* [Tesis de grado]. Universidad Técnica Particular de Loja.

Bazurto Mendoza, S. T., Moreira Cedeño, J. A., Velásquez Espinales, A. N. y Rodríguez Gámez, M. (2021). Autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación como enfoque innovador en la práctica pedagógica y su efecto en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Polo del conocimiento*, 6(3), 828-845. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2408>

Bernal González, M. del C. y Martínez Dueñas, M. S. (2009). Metodologías activas para la

- enseñanza y el aprendizaje. *Revista Panamericana de Pedagogía*, 101-106.
- Biswas, A. K. y Tortajada, C. (2019). Water quality management: a globally neglected issue. *International Journal of Water Resources Development*, 35(6), 913-916. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1670506>
- Blázquez Entonado, F., Escudero Muñoz, J. M., Cabero Almenara, J., Rodríguez Diéguez, J. L., Bartolomé Pina, A. R., Area Moreira, M., Sancho Gil, J. M., García Aretio, L. y Martínez Sánchez, F. (2001). *Sociedad de la información y educación*. F. Hermoso Ruiz (Ed.). Dirección General de Ordenación, Renovación y Centros.
- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J. y Ballester Muñoz, F. (2005). Interciencia. *Interciencia*, 30(5). <https://shorturl.at/TAaNF>
- García Arango, D. A. (2014). La estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP): hacia un modelo constructivista en los programas de Ingeniería. *Journal of Engineering and Technology*, 3(1), 21-35. <https://acortar.link/M7bbgG>
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C. y Montaña-Mata, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1), 111-119. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
- López, I. y Rotger, D. (2013). La naturaleza en la ciudad. El papel de los cauces urbanos como espacios públicos en la gestión del riesgo hídrico. *Proyección*, 7, 42-73.
- Maldonado Mendieta, G. A. (2014). *Monitoreo de la calidad de agua del Río Malacatos, tramo comprendido desde los Dos Puentes hasta el sector de Sauces Norte* [Tesis de grado]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Miao, S., Liu, C., Qian, B. y Miao, Q. (2020). Remote sensing-based water quality assessment for urban rivers: a study in linyi development area. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34586-34595. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-4038-z>
- Pierce, M. (2013). *Barriers for women in STEM*. American Association for the Advancement of Science. <https://www.aaas.org/membership/qualia/barriers-women-stem>
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* [Tesis de grado]. Universidad de Medellín.
- Valero-García, M. (2012). PBL (Piénsalo Bien antes de Liarte). *ReVisión*, 5, 11-16.
- Yang, S., Liang, M., Qin, Z., Qian, Y., Li, M. y Cao, Y. (2021). A novel assessment considering spatial and temporal variations of water quality to identify pollution sources in urban rivers. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87671-4>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

AUTORA:

Sonia Lorena Gonzaga Vallejo:

Universidad Técnica Particular de Loja.

Máster en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos por la Universidad de Alcalá de Henares, España; Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente Universidad Politécnica de Valencia – España. Ingeniero Civil por la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Consultora individual en obras de ingeniería hidráulica y sanitaria. Directora de varios proyectos en el área de saneamiento para entidades gubernamentales, directora de varios proyectos de investigación, extensión y vinculación con la sociedad de la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Docente universitario desde el año 2005 en la Universidad Técnica Particular de Loja en la carrera de Ingeniería Civil. Autora del texto guía de Hidrología y Meteorología. Trabajos de investigación en calidad de agua y Gestión de Recursos Hídricos.

slgonzaga@utpl.edu.ec

Orcid ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0003-3453-2419>

Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?hl=es&pli=1&user=QKrdedgAAAAI>