



Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato

Neutrosophic multicriteria method for the evaluation of water contamination in Ambato

Álvaro Mauricio Paredes Vayas ¹, Stefania Raimondi Romero ², Kevin Jeanpierre Suarez Monotoa ³, and Iruma Alfonso González ⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. alvaropy72@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. stefaniarr66@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. kevinsm25@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.irumaalfonso@uniandes.edu.ec

Resumen. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato, una problemática de salud pública y ambiental que impacta a todos los continentes. La contaminación del agua genera serios problemas de salud para los seres humanos, convirtiendo el agua en una fuente no apta para satisfacer las necesidades diarias. Esta situación ha generado preocupación y ansiedad en la población, dado que el acceso a agua potable es fundamental para la supervivencia humana. En Ambato, la contaminación del agua ha contribuido a la aparición de problemas graves, como la mortalidad infantil y enfermedades prevenibles, poniendo en riesgo los derechos a una vida digna, tal como se establece en el Art. 66, numeral 2 de la Constitución de la República del Ecuador. El uso de un enfoque multicriterio neutrosófico permitirá una evaluación más completa y efectiva de esta problemática, considerando diversos factores que afectan la calidad del agua y brindando así una herramienta para la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos. La implementación de este método busca no solo identificar y analizar los niveles de contaminación, sino también contribuir a la protección del derecho al agua y a la salud de la población ecuatoriana.

Palabras Claves: Método multicriterio neutrosófico, agua, contaminación, mortandad y estado.

Abstract. This research aims to develop a neutrosophic multicriteria method for assessing water pollution in Ambato, a public and environmental health issue that impacts all continents. Water pollution generates serious health problems for humans, making water an unsuitable source for meeting daily needs. This situation has generated concern and anxiety among the population, given that access to drinking water is fundamental for human survival. In Ambato, water pollution has contributed to the emergence of serious problems, such as infant mortality and preventable diseases, jeopardizing the right to a dignified life, as established in Article 66, paragraph 2 of the Constitution of the Republic of Ecuador. The use of a neutrosophic multicriteria approach will allow a more complete and effective assessment of this problem, considering various factors that affect water quality and thus providing a tool for informed decision-making in water resource management. The implementation of this method seeks not only to identify and analyze pollution levels, but also to contribute to the protection of the right to water and the health of the Ecuadorian population.

Keywords: Neutrosophic multicriteria method, water, pollution, mortality, and state

1 Introducción

La contaminación del agua es un problema público y ambiental que impacta a muchas comunidades a nivel global. La contaminación, según [1] es definida como “cualquier cambio en la calidad química, física o biológica del agua que perjudique a los seres vivos que la consumen.” Los seres humanos que beben agua contaminada frecuentemente experimentan problemas de salud. La contaminación del agua puede causar que sea inapropiada para su uso habitual, por ejemplo, en el aseo, al momento de tomar una ducha, esta agua, podría causar daños a la

dermis o al lavarse la cavidad bucal, podría generar daños a la dentadura debido a algún agente químico que se ha introducido en el agua [2].

El principal recurso natural de la humanidad ha hecho que la gente se sienta ansiosa y agitada ante la idea de perder para siempre un medio de supervivencia tan invaluable, pues, sin agua es imposible la supervivencia del ser humano [3]. Así, se han observado problemas graves para la población, como la mortandad infantil y los problemas de salud pública. Sin duda, en la sociedad existen una serie de problemas relacionados con el uso del agua, pero la más importante es la contaminación de esta [4].

Un saneamiento inadecuado y el agua contaminada pueden contribuir a la propagación de enfermedades como la poliomiélitis, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y el cólera. En caso de que existan servicios de agua y saneamiento inadecuados, mal administrados o que no existan, la población corre el riesgo de padecer problemas de salud que en realidad son prevenibles [5]. Esta prevención podría ser lograda, en particular, en los establecimientos de salud que ofrecen servicios de agua, saneamiento e higiene, donde el riesgo de infecciones y enfermedades disminuya [6].

En Latinoamérica, la deplorable prestación de servicios de calidad de agua potable son un hecho. El consumo humano de agua es una gran necesidad entre la población, especialmente en las zonas rurales. Sin embargo, incluso cuando se invierten grandes sumas de dinero para mejorar estos servicios, no se garantiza una buena calidad, además, en algunos casos en el que se diseñan soluciones, ni siquiera son capaces de satisfacer las necesidades o circunstancias que requiere la población [7].

El rápido y catastrófico crecimiento urbano en Ecuador ha provocado la expansión de áreas marginales y la libre disposición de aguas servidas, lo que se ha convertido en el centro de infección debido al uso de esta agua no apta. En términos de la legislación ecuatoriana, los GAD's tienen la competencia de limpiar las aguas residuales y brindar a la sociedad el servicio de agua potable y alcantarillado. Pero, de los 215 municipios del país, solamente el 62% tratan el agua residual, mientras que en los otros no realizan ningún tipo de tratamiento [8].

En la ciudad de Ambato, en algunas zonas parroquiales de la zona norte, incluida Izamba, las aguas servidas tratadas son inadecuadas. En la provincia de Tungurahua, esto ha venido siendo un problema de largo tiempo que ha causado efectos negativos en la salud, llegando incluso a la muerte, pues al consumir productos de cosechas cultivadas con aguas servidas no tratadas, ingieren químicos como plomo y cadmio, que son metales pesados y tóxicos para la salud humana [9].

La importancia de este trabajo proviene de la necesidad de lidiar con el problema crítico de la polución del agua en Ecuador, en particular en la ciudad de Ambato, pues en la actualidad, la contaminación del agua vulnera varios derechos, que son responsabilidad del Estado proteger, por ejemplo, el derecho a la salud, el derecho al agua potable y el derecho al saneamiento ambiental, entre todos conforman un solo derecho, el derecho a una vida digna [10].

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato, una problemática de salud pública y ambiental que impacta a todos los continentes.

2 Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato

La toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos de alternativas, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos [11-27]. Con respecto al concepto toma de decisiones, Schein, lo definió como el proceso de identificación de un problema u oportunidad y la selección de una alternativa de acción entre varias existentes, es una actividad diligente clave en todo tipo de organización [12-28].

Un proceso de toma de decisiones donde varían los objetos o decisiones, es considerado como un problema de toma de decisiones multicriterio [13-29-30]. La evaluación multicriterio constituye una optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un agente decisor. La ecuación 1 formaliza el problema planteado.

$$\text{Max} = F(x), x \in X \quad (1)$$

Donde:

x: es un vector $[x_1, \dots, x_n]$ de las variables de decisión.

X: es la denominada región factible. Representa el dominio de valores posible que puede tomar la variable.

F(x): es un vector $[F_1x, \dots, F_nx]$ de las P funciones objetivos que recogen los criterios.

Max: representa la función a maximizar, esta no es restrictiva.

Específicamente los problemas multicriterio discretos constan básicamente de dos tipos de datos que constituyen el punto de partida para diferentes Problemas de Toma de Decisiones Multicriterio Discreto (DMD). El método propuesto en la presente investigación está diseñado para evaluar la contaminación hídrica en Ambato, Ecuador. Basa su funcionamiento a partir de técnicas multicriterio multiexperto, y utiliza en su inferencia el método multicriterio Ponderación Lineal Neutrosófica. La Figura 1 muestra la estructura general del método propuesto:



Figura 1. Estructura del Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato.

El método está diseñado mediante una estructura de tres etapas que en su conjunto determinan la evaluación de indicadores.

Etap 1: Identificación de los criterios evaluativos

Representa el conjunto de criterios para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato. Constituye un enfoque multicriterio formalizado como:

$$C = \{c_1, \dots, c_n\}, n \geq 2, \text{ criterios para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato.}$$

Etap 2: Determinación de los pesos

Para la determinación de los pesos asociados a los criterios se utiliza un enfoque multiexperto de modo que:

$$E = \{e_1, \dots, e_m\}, m \geq 2, \text{ donde } E, \text{ representa los expertos que intervienen en el proceso.}$$

Etap 3: Evaluación neutrosófica de los criterios sobre la contaminación hídrica en Ambato

La etapa de evaluación representa el procesamiento del método para emitir el resultado de la inferencia propuesta. Se procesan los datos empleando el método de la ponderación lineal mediante (ecuación 4). Como resultado se evalúa el impacto de la contaminación hídrica en Ambato.

Para la resolución de problemas de toma de decisiones, diversos han sido los métodos multicriterios propuestos. Cuando se desea emitir una ponderación para una determinada alternativa, los métodos de ordenamiento y agregación representan una forma viable para su aplicación. Dentro de los métodos multicriterio clásicos se encuentra la ponderación lineal. El método consiste en calcular una puntuación global r_i para cada alternativa A_i tal como expresa la ecuación 2:

$$R_i = \sum_j W_j r_{ij} \tag{2}$$

La ponderación lineal representa un método compensatorio, se aplica posterior a una normalización previa. El método es aplicado en casos donde se posee un conjunto m de alternativas y n criterios [14-16-31]. Para cada criterio j el decisor estima cada alternativa i . Se obtiene la evaluación a_{ij} de la matriz de decisión que posee una ponderación cardinal ratio. Se asigna un peso $W_j (j = 1, n)$ también del tipo cardinal ratio para cada uno de los criterios C_j .

En el contexto de los métodos multicriterio, se introducen los números neutrosóficos con el objetivo de representar la neutralidad [17]. Constituye las bases de teorías matemáticas que generalizan las teorías clásicas y difusas tales como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica [17, 18, 32, 33]. Un número neutrosófico (N) se representa de la siguiente forma [19, 20]:

Sean $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}n$, una valuación neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcionales a N , esto es que por cada sentencia p se tiene:

$$v(p) = (T, I, F) \tag{3}$$

Donde:

T: representa la dimensión del espacio que representa la verdad,

I: representa la falsedad,

F: representa la indeterminación.

Matemáticamente se puede definir un método de Ponderación Lineal Neutrosófico como una 3-tupla (R, W, r) tal como representa la ecuación 4.

$$R_{i(T,I,F)} = \sum_j W_{j(T,I,F)} r_{ij(T,I,F)} \quad (4)$$

Donde:

- $R_{i(T,I,F)}$: representa la función resultante que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .
- $W_{j(T,I,F)}$: representa el peso del criterio j , asociados a los criterios que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .
- r_{ij} : representa la evaluación de la alternativa i respecto al criterio j que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .

3 Implementación del método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato

Para la implementación del método propuesto se realizó un estudio de caso en el que se analizó el comportamiento de los indicadores de contaminación hídrica en Ambato. Según los datos proporcionados por el GAD Municipalidad de Ambato, se identificaron varios elementos presentes en el agua de la ciudad que presentan niveles alarmantes en ciertos parámetros, particularmente en compuestos raros y metales pesados. Estos contaminantes son perjudiciales no solo para la salud humana, sino también para la vida acuática y la biodiversidad local. Por ejemplo, los resultados del análisis del mes de febrero de 2024 revelaron la presencia de metales como el plomo y el cromo VI, cuyas concentraciones pueden exceder los límites seguros establecidos por las normativas de salud pública. Además, parámetros como la DBO5 y la turbidez indican problemas significativos en la calidad del agua, insinuando una posible contaminación orgánica y sedimentación, que afectan negativamente el ecosistema hídrico.

El oxígeno disuelto, vital para la vida acuática, mostró niveles variables, con porcentajes que sugieren que algunas áreas podrían estar sufriendo hipoxia, lo que afecta la supervivencia de peces y otros organismos acuáticos. La presencia de *E. coli* también es un indicativo preocupante de la contaminación microbiológica, lo que incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas por agua. A la luz de estos hallazgos, es evidente que la calidad del agua en Ambato está comprometida, lo que destaca la urgencia de aplicar el método multicriterio neutrosófico propuesto. Este enfoque sistemático no solo facilitará la identificación precisa de los contaminantes y sus fuentes, sino que también proporcionará una base sólida para la toma de decisiones y acciones correctivas que garanticen la protección de la salud pública y el medio ambiente en la región.

Los puntos de muestreo seleccionados para el análisis de la calidad del agua en la región incluyen diversas localizaciones a lo largo del río Ambato, abarcando áreas significativas como la formación del río en Manzanhuaico, el sector de molinos Tilulum, y el sector Ficoa El Sueño. Además, se consideraron puntos en el sector El Socavón y Las Viñas, que se encuentra a 500 metros antes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), así como la descarga de la PTAR situada 200 metros más abajo y el puente colgante en Las Viñas. La mayoría de estas aguas están destinadas a usos agrícolas o de riego, garantizando la producción de cultivos en la zona. Sin embargo, algunos puntos también se destinan a fines recreativos, como las aguas para contacto primario, que se encuentran en el humedal Pichua, así como las destinadas al contacto secundario. Asimismo, se incluyen los ríos Pachanlica y Culapachan, ubicados en los puentes de la vía a Pelileo y la vía a Pillaro, respectivamente, donde también se utilizan aguas de riego para la agricultura. La diversidad en los puntos de muestreo y sus respectivos usos subraya la importancia de evaluar la calidad del agua en relación con sus múltiples aplicaciones en la comunidad.

Etapa 1: Identificación de los criterios evaluativos.

Para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato, se reunió un panel interdisciplinario de expertos compuesto por profesionales con amplia experiencia en áreas relacionadas con la gestión del agua, ecología, salud pública y química ambiental. Este conjunto de especialistas incluye ingenieros ambientales, biólogos, químicos y profesionales de la salud pública, quienes aportan una perspectiva integral sobre la complejidad de la calidad del agua y sus implicaciones para la salud y el medio ambiente. Su formación diversa y su experiencia en la búsqueda de soluciones innovadoras para problemas de contaminación hídrica permiten establecer un marco de referencia sólido para identificar y evaluar los principales criterios que afectan el índice de contaminación en la región. Los cinco criterios evaluativos identificados por el panel de expertos son:

Tabla 1: Criterios para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato.

No.	Criterios
1	Presencia de contaminantes químicos: Este criterio evalúa la concentración de sustancias químicas nocivas, como metales pesados (plomo, cromo VI, entre otros) y compuestos orgánicos, que pueden afectar gravemente la calidad del agua y, por ende, la salud de las personas y ecosistemas.
2	Calidad microbiológica: Se refiere a la detección de microorganismos patógenos, como E. coli y otros coliformes, en el agua. Este parámetro es crítico para determinar el nivel de contaminación microbiológica y el riesgo asociado a la contaminación del agua para el consumo humano y actividades recreativas.
3	Parámetros físicos: Incluye la evaluación de características como turbidez, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto, que son indicadores relevantes de la salud del ecosistema acuático y de la potabilidad del agua.
4	Aspectos ecológicos: Este criterio considera el impacto de la contaminación en la biodiversidad acuática y los hábitats relacionados, evaluando cómo la contaminación afecta a las especies de flora y fauna que dependen del agua.
5	Usos del agua: Analiza cómo la contaminación afecta los distintos usos del agua en la región, incluyendo el riego agrícola, el uso recreativo y el consumo humano. Este criterio es fundamental para entender la implicancia social y económica de la calidad del agua en Ambato.

Etapa 2: Determinación de los pesos

Para la etapa de determinación de los pesos atribuidos a los criterios para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato, se realizó la consulta a 5 expertos que expresaron sus valoraciones sobre los criterios utilizados para la evaluación. Se obtuvieron las tablas valorativas las cuales fueron agregadas en una tabla resultante. La tabla 2 muestra el resultado de la valoración de los criterios una vez realizado el proceso de agregación.

Tabla 2: Peso atribuido a los criterios a partir de la consulta a expertos.

Criterios	Valoración del criterio $W_{(T,I,F)}$
C ₁	[1,0.15,0.10]
C ₂	[1,0.15,0.10]
C ₃	[0.90,0.15,0.25]
C ₄	[1,0.15,0.10]
C ₅	[0.90,0.15,0.25]

Etapa 3: Evaluación neutrosófica sobre la contaminación hídrica en Ambato

A partir del comportamiento de los pesos atribuidos a las alternativas objeto de análisis para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato, se determina mediante un proceso de agregación el grado de pertenencia de cada criterio. La Tabla 3 muestra el resultado del cálculo realizado.

Tabla 3: Procesamiento del sistema de toma de decisiones.

Criterio	Pesos $W_{(T,I,F)}$	Preferencias	$R_{i(T,I,F)}$
C ₁	[1,0.15,0.10]	[1,0.15,0.10]	[1,0.15,0.10]
C ₂	[1,0.15,0.10]	[1,0.15,0.10]	[1,0.15,0.10]
C ₃	[0.90,0.15,0.25]	[0.90,0.15,0.25]	[0.90,0.15,0.25]
C ₄	[1,0.15,0.10]	[1,0.10,0.15]	[1,0.15,0.10]
C ₅	[0.90,0.15,0.25]	[0.90,0.15,0.25]	[0.90,0.15,0.25]
Índice			[0.96,0.25,0.25]

Para el caso de análisis se evidencia un índice de 0.96 lo que representa un índice alto para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato.

4 Discusión

La situación de la parroquia Totoras, ubicada al Sur de Ambato, refleja una grave crisis ambiental y de salud pública que ha sido denunciada por sus habitantes. Ante la proliferación de curtiembres y fábricas de jeans, los residentes han constatado un deterioro significativo de la calidad del agua, la cual, en tiempos pasados, era limpia y potable. Actualmente, la contaminación generada por los residuos químicos de estas industrias ha creado un

entorno insostenible, caracterizado por intensos malos olores y un impacto negativo en la salud de la población y en su trabajo agrícola [21]. Esta problemática ha llevado a los habitantes a solicitar la reubicación de las curtiembres a la zona industrial, tal como lo estipula el plan de gestión y uso del suelo, el cual, lamentablemente, ya ha vencido, evidenciando una falta de acción por parte de las autoridades [22].

La insistencia de los residentes en la reubicación de las curtiembres no solo se fundamenta en el deterioro de la calidad del agua, sino también en el derecho a vivir en un ambiente saludable, un principio que debería ser garantizado por el gobierno provincial [23]. Sin embargo, los conflictos entre los vecinos y los propietarios de las industrias son evidentes, ya que estos últimos argumentan cumplir con las normativas ambientales. Esta visión de cumplimiento normativo por parte de los industriales contrasta con la experiencia cotidiana de los habitantes de Totoras, quienes enfrentan una situación de deterioro ambiental tangible. La discrepancia entre las afirmaciones de los propietarios y la realidad de la población genera tensiones que obstaculizan una solución efectiva.

A pesar de la existencia de tres plantas de tratamiento de agua residual en la zona, su funcionamiento óptimo ha sido deficiente, lo que agrava la situación en lugar de mitigarla. La falta de eficacia en el tratamiento de las aguas residuales resalta la necesidad de una revisión exhaustiva y un fortalecimiento de la infraestructura existente, así como una supervisión más rigurosa de las industrias contaminantes. Además, resulta paradójico que las autoridades continúen otorgando licencias a nuevas fábricas en un entorno donde ya existe una crisis de contaminación. Este enfoque parece ignorar las preocupaciones de los aproximadamente 17,000 habitantes de Totoras, quienes exigen acciones urgentes y efectivas para mejorar la calidad del agua, restablecer su bienestar y proteger sus medios de subsistencia basados en la agricultura.

El clamor de los habitantes de Totoras por atención urgente pone de manifiesto la necesidad de una gestión ambiental más responsable y el cumplimiento de las normativas que protegen la salud pública y el medio ambiente. Es crucial que las autoridades escuchen a la comunidad y prioricen una respuesta adecuada a sus preocupaciones, no solo como un acto de justicia social, sino como un imperativo ético en la protección de la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. La situación en Totoras es un llamado de atención que subraya la urgencia de reevaluar las políticas industriales y ambientales en la región, teniendo en cuenta la voz de aquellos que se ven directamente afectados por la contaminación.

Recientes estudios han revelado que en varios cantones del Centro Sur de la Provincia de Manabí se han detectado compuestos biológicos en el agua, lo que representa un riesgo grave para la salud de los habitantes si este recurso llega a su consumo. La presencia de estos contaminantes es responsable de diversas enfermedades en las comunidades afectadas. Según [24], este fenómeno se puede atribuir a cambios morfológicos significativos en los espacios rurales, particularmente evidentes en el cantón Ambato, que han modificado no solo aspectos culturales, sino también sociales de la región. Esta situación resalta un preocupante desinterés tanto por parte del Estado como de la ciudadanía, quienes no han llevado a cabo acciones efectivas frente a estas vulneraciones. A pesar de que los mecanismos para actuar están disponibles, su falta de uso implica que los derechos reconocidos en la Constitución de la República del Ecuador no se materializan en la práctica.

Asimismo, las industrias textiles en Ambato contribuyen al problema de la contaminación, generando un porcentaje del 20% relacionado con el uso de productos químicos altamente tóxicos, como colorantes y aditivos textiles no biodegradables. Esto tiene un impacto considerable en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores de estas fábricas. La propuesta de [9] sobre la implementación de plantas de tratamiento y purificación de aguas contaminadas resulta innovadora, ya que permitiría la reutilización de agua para el riego agrícola, lo que podría mejorar la calidad de vida de los habitantes y proporcionar una fuente renovable de recursos hídricos. Sin embargo, este proceso conlleva riesgos significativos, dado que el tratamiento de aguas contaminadas es un método complejo que requiere supervisión exhaustiva debido a los altos niveles de toxicidad de los compuestos involucrados.

Otro aspecto crucial a considerar es la gestión y distribución del agua, tema del que habla [25] al referirse a la crisis ambiental y climática que afectan a los ecosistemas globalmente. Analizando el sistema de riego en Tumbaco, [26] señala que no hay una distribución equitativa del agua, lo que se debe al estado de la infraestructura, que ha superado su vida útil y necesita ser reconstruida para ajustarse a las regulaciones actuales. Esta realidad deja en evidencia que el Estado no está cumpliendo con su deber de proteger los derechos de las personas, especialmente de aquellos que enfrentan problemas de contaminación o que viven cerca de fábricas que desprenden contaminantes tóxicos.

Ante este panorama, las medidas a implementar deberían incluir la reubicación de estas industrias a áreas no pobladas, buscando minimizar la perturbación de las comunidades afectadas y protegiendo su bienestar. Además, es imperativa la construcción de sistemas de purificación de agua, especialmente en los ríos donde las fábricas depositan sus residuos. Estas acciones no solo son necesarias para restaurar la calidad del agua, sino también para garantizar un futuro más saludable y sostenible para la población de Ambato y sus alrededores.

5 Conclusión

La implementación del Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación de la contaminación hídrica en Ambato ha revelado un índice de 0.96, lo cual señala un nivel elevado de contaminación en las fuentes de agua de

la región. Este resultado resalta la urgencia de abordar los problemas de contaminación hídrica, ya que la calidad del agua afecta directamente la salud de la población y la sustentabilidad de los ecosistemas locales.

El alto índice de contaminación evidenciado en el análisis pone de manifiesto la necesidad de desarrollar e implementar políticas adecuadas que garanticen la protección de los recursos hídricos y la salud pública. Es fundamental que las autoridades competentes tomen medidas efectivas para mitigar las fuentes de contaminación, especialmente aquellas relacionadas con la actividad industrial, y promuevan prácticas sostenibles que aseguren el acceso a agua potable de calidad para todos los habitantes de Ambato.

Además, se concluye que es imperativo fomentar la sensibilización y participación de la comunidad en la gestión del agua, así como la necesidad de inspecciones y monitoreos constantes de la calidad del agua en la región. La investigación también sugiere que la aplicación de este método puede ser una herramienta valiosa para futuras evaluaciones de la contaminación hídrica, facilitando la toma de decisiones informadas en la protección y gestión de los recursos acuáticos en Ambato. La implementación de esta metodología podría contribuir significativamente a la mejora de la calidad del agua y, en consecuencia, a la salud y bienestar de la población.

Referencias

- [1] R. Guadarrama, J. Kido, G. Roldan, and M. Salas, "Contaminación del agua," *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, 2016.
- [2] E. E. L. Baque, M. G. M. Cevallos, and B. A. C. Macías, "Agua limpia y saneamiento, un vistazo al cumplimiento del objetivo de desarrollo Sostenible 6 en Jipijapa," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 7, pp. 400-409, 2023.
- [3] J. S. Espinoza-Vaca, J. G. Solis-Llerena, A. A. Muñoz, and J. V. F. Pinto, "Sostenibilidad y sustentabilidad agronómico y pecuario," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 7, no. 1, pp. 134-139, 2025.
- [4] R. S. J. Marín, "Factores que Contribuyen a la Escasez del Agua en Etiopía y Somalia," *Saber, ciencia y libertad*, vol. 14, no. 2, pp. 63-74, 2019.
- [5] M. J. C. Guaiña, A. I. R. Basantes, E. G. O. Valencia, and L. M. J. Orna, "Calidad de agua embotellada de consumo humano en el Ecuador y su impacto en la salud de la población," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 6, no. 5, pp. 187-193, 2024.
- [6] Y. Liu, P. Wang, B. Gojenko, J. Yu, L. Wei, D. Luo, and T. Xiao, "A review of water pollution arising from agriculture and mining activities in Central Asia: Facts, causes and effects," *Environmental Pollution*, vol. 291, pp. 118209, 2021.
- [7] M. G. Nogueira, G. Perbiche-Neves, D. de Oliveira Naliato, S. M. C. Casanova, J. R. Debastiani-Júnior, and E. G. Espíndola, "Limnology and water quality in La Plata basin (South America)—Spatial patterns and major stressors," *Ecological Indicators*, vol. 120, pp. 106968, 2021.
- [8] A. G. Acosta Rivera, "Caracterización ecológica y composición de comunidades de macroinvertebrados en la cuenca del río Ambato provincia de Tungurahua para elaborar un plan de biomonitoreo y gestión de la calidad del agua," Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2023.
- [9] M. G. A. Miranda, "Incidencia de las aguas servidas afectando a los habitantes y productores, Parroquia Izamba-Ambato-Tungurahua," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 5, pp. 10663-10686, 2023.
- [10] W. J. Núñez Chávez, "El derecho fundamental al agua dentro del marco del servicio público de agua potable en el Ecuador," Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, 2018.
- [11] O. M. Cornelio, A. R. Rodríguez, W. L. S. Álava, P. G. A. Mora, L. M. S. Mera, and B. J. P. Bravo, "La Inteligencia Artificial: desafíos para la educación," *Editorial Internacional Alema*, 2024.
- [12] E. SCHEIN, "Process consultation," 1988.
- [13] B. Bron Fonseca, and O. Mar Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [14] S. D. Álvarez Gómez, A. J. Romero Fernández, J. Estupiñán Ricardo, and D. V. Ponce Ruiz, "Selección del docente tutor basado en la calidad de la docencia en metodología de la investigación," *Conrado*, vol. 17, no. 80, pp. 88-94, 2021.
- [15] J. E. Ricardo, V. M. V. Rosado, J. P. Fernández, and S. M. Martínez, "Importancia de la investigación jurídica para la formación de los profesionales del Derecho en Ecuador," *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2020.
- [16] J. E. Ricardo, J. J. D. Menéndez, and R. L. M. Manzano, "Integración universitaria, reto actual en el siglo XXI," *Revista Conrado*, vol. 16, no. S 1, pp. 51-58, 2020.
- [17] F. Smarandache, "Neutrosófia y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [18] F. Smarandache, "Significado Neutrosófico: Partes comunes de cosas poco comunes y partes poco comunes de cosas comunes," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 1-14, 2025.

- [19] M. L. Vázquez, and F. Smarandache, *Neutrosofía: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre*: Infinite Study, 2018.
- [20] H. Wang, F. Smarandache, R. Sunderraman, and Y. Q. Zhang, *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing: Theory and Applications in Computing*: Hexis, 2005.
- [21] Z. Z. G. Nicole, T. I. V. Castro, A. N. Z. Hoppe, and V. A. J. Mora, "Infección por salmonella, complicaciones y resistencia antibiótica," *Revista Científica de Salud BIOSANA*, vol. 4, no. 2, pp. 223-236, 2024.
- [22] C. X. P. de Aparicio, and J. C. L. Mendoza, "Impacto del desarrollo local en la salud comunitaria. Caso: sabanilla cantón Daule," *Revista Científica de Salud BIOSANA*, vol. 4, no. 4, pp. 20-29, 2024.
- [23] A. N. Zavala-Hoppe, C. S. Olmedo-Vera, G. F. Saavedra-Peña, and K. R. Tamayo-Navarro, "Epidemiología y factores de riesgo de toxoplasmosis en los países de Latinoamérica," *Revista Científica de Salud BIOSANA*, vol. 4, no. 4, pp. 328-339, 2024.
- [24] M. S. Grijalva, M. S. Salazar, and D. M. Godoy, "Transformaciones de los patrones de la vivienda rural y su impacto en el territorio. El caso de Ambato, Ecuador," *Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial*, no. 18, pp. 139-154, 2020.
- [25] L. F. Villegas Bayas, "Dossier: Gestión del Agua y del Riego," *Siembra*, vol. 11, no. 1, 2024.
- [26] R. S. Ortiz Calle, "Dinámica de la distribución del agua en el sistema de riego Tumbaco en Ecuador," *Siembra*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [27] Vásquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2024.
- [28] Romero, A. V., Sánchez, F. M., & Estupiñán, C. P. "Inteligencia artificial en gestión hotelera: aplicaciones en atención al cliente". *El patrimonio y su perspectiva turística*, pp. 409-423, 2024.
- [29] Márquez Carriel, D. C., Oña Garcés, L., Vergara Romero, A., & Márquez Sánchez, F. "Assessing the need for a feminist foreign policy in Ecuador through a sentiment analysis based on neutroAlgebra". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, num. 1, pp. 16, 2024.
- [30] Vergara-Romero, A., Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., & Arencibia-Montero, O. "Child Labor, Informality, and Poverty: Leveraging Logistic Regression, Indeterminate Likert Scales, and Similarity Measures for Insightful Analysis in Ecuador". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol 66, pp 136-145, 2024
- [31] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In *Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies*", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025.
- [32] von Feigenblatt, O. F. "Immediacy and Sustainable Development: The Perspective of Youth". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, vol. 19, num 2, 2024
- [33] de León, E. R., Marqués, L. L., Poleo, A., & von Feigenblatt, O. F. "El estilo del liderazgo educativo en el proceso de enseñanza: una revisión de la literatura". In *Anales de la Real Academia de Doctores*. vol. 9, num. 2, pp. 289-308, 2024

Recibido: febrero 23, 2025. Aceptado: marzo 13, 2025