

ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EN EL RÍO PUYANGO- ECUADOR

Sonia L. Gonzaga Vallejo, Pablo S. Chicaiza C. y Juan C. Valarezo Ch.

Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

E-mail: slgonzaga@utpl.edu.ec, pschicaiza@utpl.edu.ec, jcvalarezo@utpl.edu.ec

Introducción

Como se sabe, las características de calidad del agua cada día se ven más afectadas por las actividades humanas, las cuales, junto con los fenómenos naturales, hacen que sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas varíen notoriamente de un lugar a otro (Gómez, Naranjo, Martínez, & Gallego, 2007). Cuya calidad y demanda es de particular importancia conocer para los diferentes usos del recurso hídrico, como por ejemplo: Consumo humano, riego de cultivos, uso industrial, acuicultura y manejo de vida silvestre en general, así como para la recreación y estética (Rivera, Encina, Muñoz, & Mejía, 2004).

A su vez en términos de cantidad, el United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) afirma que: “La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Alrededor de 1.2 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, viven en áreas de escasez física, y 500 millones de personas se acercan a esta situación. Otros 1600 millones de personas, casi una cuarta parte de la población mundial, se enfrentan a la escasez económica de agua.”

Con estos antecedentes, esta investigación tiene como objetivo desarrollar el diseño de una red de estaciones de calidad de agua en la cuenca hidrográfica del río Puyango- Ecuador, que territorialmente atraviesa las provincias de Loja y El Oro, al sureste del país. Abarca una superficie de 3662.55 Km². Posee aportes de varios sectores urbanos y productivos: Minería metálica principalmente, que son considerados críticos por el vertido de contaminantes de diferente origen que llegan al curso principal el río Puyango.

El río Puyango- Ecuador; Tumbes- Perú, es el curso principal de la cuenca hidrográfica Puyango – Tumbes. De gran importancia eco-social, geopolítica y económico-productiva, tanto para el Ecuador como para el Perú, razón principal para la decisión de desarrollar una planificación e implementación de una red monitoreo de calidad de agua a través de estaciones de calidad.

El principal propósito de la red de estaciones de monitoreo de calidad del agua es proveer un sistema que genere información suficiente (calidad y cantidad) y oportuna para una gestión adecuada del recurso hídrico. Esto se realiza en función de reducir riesgos a la salud de la población que utiliza el recurso para diferentes usos como son: agua potable, riego, industrial, recreativo, etc. (Reyes & Silva, 2012).

Se consideró aplicar el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), introducido por Thomas Saaty (1980), porque es una herramienta eficaz para hacer frente a la toma de decisiones complejas, y puede ayudar a la toma de decisiones para establecer prioridades y tomar la mejor decisión. Mediante la reducción de decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares, y luego sintetizar los resultados, el AHP ayuda a capturar los aspectos subjetivos y objetivos de una decisión. Además, el AHP incorpora una técnica útil para comprobar la consistencia de las evaluaciones del decisor, reduciendo así el sesgo en el proceso de toma de decisiones (Saaty, 1980).

Metodología

En la actualidad no existen métodos o procesos que estandaricen una técnica para el diseño de redes de monitoreo

del recurso hídrico, sin embargo, existe suficiente documentación de respaldo con sugerencias y experiencias en el tema, como es el caso de la “Guía de Prácticas Hidrológicas” (OMM, 2011).

Para la ejecución de este proyecto, se realiza la caracterización y descripción del área de estudio a través de determinar características morfométricas de la cuenca, revisar mapas de uso del suelo, información de caudales y precipitación y utilizando Sistemas de Información geográfica (SIG) así como bases de datos de concesiones mineras, y se determina las áreas con mayor susceptibilidad a la contaminación por descargas de la minería y de aguas residuales urbanas.

La calidad de agua del río Puyango, se evalúa a partir de la información existente de una base de datos de monitoreo desarrollada en el periodo 2001-2015, con puntos denominados históricos (2001) y nuevos implementados en diferentes años esencialmente en el año 2011, debidamente codificados.

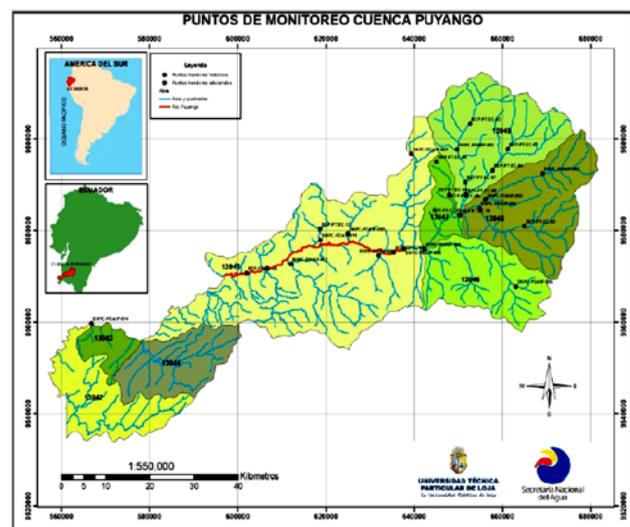


Figura 1.- Mapa de puntos de monitoreo de calidad de agua río Puyango.

Se ordena, depura y sintetiza la base de datos y los parámetros físicos, químicos y microbiológicos a analizar. Ante la dificultad de trabajar con toda la información.

Los parámetros resultantes del análisis de frecuencia y cantidad de información son: pH, conductividad, OD, SDT, turbidez, temperatura, PO4³⁻, NO3⁻, SO4²⁻, CN⁻, aceites y grasas, DBO, DQO, coliformes fecales, coliformes totales, As, Cr, Cu, Hg y Pb.

Para la aplicación del modelo de evaluación multicriterio- Analytic Hierarchy Process (AHP) se modeló el árbol de jerarquías, que nos permitió identificar el problema u objetivo en el nivel superior, en el nivel intermedio se encuentran los criterios y las alternativas (puntos de monitoreo) se ubicaron en el nivel inferior.

Una vez que se obtuvo los vectores de prioridades de los criterios, se procedió a construir el vector de prioridades de las alternativas (puntos de monitoreo); esto con el objetivo de determinar las alternativas en la que se necesita colocar una estación de calidad de agua en la zona de estudio.

Tabla 1.-Matriz de comparación de criterios.

UBICACIÓN DE ESTACIONES AUTOMATIZADAS DE CALIDAD DE AGUA	VIAS DE ACCESO	UBICACIÓN DE PLANTAS DE BENEFICIO	DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
VIAS DE ACCESO	1	1/3	1/3
UBICACIÓN DE PLANTAS DE BENEFICIO	3	1	1
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES	3	1	1
USOS DE AGUA (POTABLE, RIEGO, RECREATIVO)	1/3	1/4	1/4
LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	2	1/2	1/2
CONDICIONES PARA SEGURIDAD Y GUARDIANIA	1/2	1/3	1/3
TURBULENCIA DEL RIO	1/3	1/4	1/4

En la tabla 1, se muestra parte de la matriz de criterios de comparación. Siendo los criterios los siguientes: vías de acceso, la cercanía a la ubicación de plantas de beneficio, descargas de aguas residuales domésticas, usos del agua (potable, riego, fines recreativos), límites de vertido, condiciones de seguridad y turbulencia.

Con esta información se construye la matriz de comparación de criterios del AHP de la cuenca del río Puyango. Esta matriz nos sirve para determinar el vector de prioridades de los criterios.

Una vez que se tiene los vectores de prioridad de los criterios, se procede a construir el vector de prioridades de las alternativas (puntos de monitoreo); con el objetivo de determinar las alternativas en la que se necesita colocar una estación de calidad de agua.

Integrado con elementos como comparaciones binarias y modelación matemática, atribuyéndole valores numéricos a los juicios (preferencias) realizados por las personas respecto de la importancia relativa de cada elemento y, los sintetiza, agregando las soluciones parciales en una sola solución. Para ello, se delimitaron como factores de estudio: Vías de acceso, ubicación de plantas de beneficio, descargas de aguas residuales, usos de agua, límites permisibles de los parámetros de calidad, seguridad, turbulencia del río.

Se determina la razón de consistencia con la expresión:

$$RC = \frac{IC}{ICA} \quad [1]$$

IC: Índice de consistencia.

ICA: Índice de consistencia aleatorio

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [2]$$

λ_{max} : Media geométrica de los valores del vector propio.

n: Número de variables pareadas (criterios, alternativas).

$$ICA = \frac{1.98(n-2)}{n} \quad [3]$$

Resultados

En el desarrollo de la matriz de priorización y jerarquización de esta investigación, se decide reducir a 16 puntos de monitoreo de 28 iniciales, que se ingresan para el AHP con 7 criterios establecidos con un grupo de expertos en el tema.

Aplicando la metodología de AHP, se obtiene la matriz de comparación de criterios y, a continuación, se desarrolla la matriz normalizada que se muestra en la Tabla 2 donde se observan los valores resultantes de 3 de los criterios de comparación:

Tabla 2.-Matriz normalizada.

PESO FACTORES	VIAS DE ACCESO	UBICACIÓN DE PLANTAS DE BENEFICIO	DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
VIAS DE ACCESO	0.098	0.091	0.091
UBICACIÓN DE PLANTAS DE BENEFICIO	0.295	0.273	0.273
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES	0.295	0.273	0.273
USOS DE AGUA (POTABLE, RIEGO, RECREATIVO)	0.033	0.068	0.068
LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	0.197	0.136	0.136
CONDICIONES PARA SEGURIDAD Y GUARDIANIA	0.049	0.091	0.091
TURBULENCIA DEL RIO	0.033	0.068	0.068

Aplicando las fórmulas que corresponden finalmente se obtiene el vector de prioridad de criterios Fig. 3.

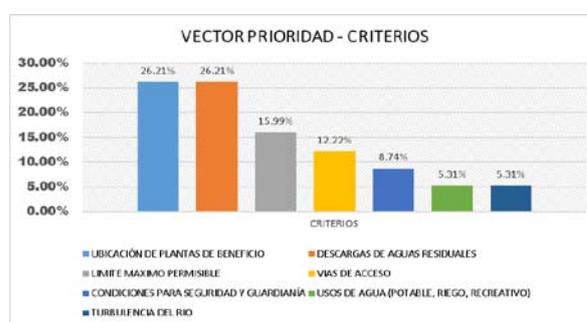


Figura 3.- Vector de prioridad-criterios-AHP.

Todo el proceso de AHP concluye con la definición de 8 puntos de monitoreo donde se instalarán las estaciones de calidad de agua que abarcarán toda la cuenca y proporcionará información suficiente para desarrollar modelos de calidad de agua en el cauce del río Puyango.

Conclusiones

Se puede advertir que respecto a la presencia y concentración de metales pesados, estos adquieren valores alarmantes en las estaciones que se ubican en las nacientes del río Puyango-Tumbes; las actividades mineras, los aportes de aguas servidas que recibe, así como la evacuación de residuos sólidos a las fuentes de agua principales o en sus afluentes, han sido considerados como puntos de vital importancia y relevantes para la toma de decisiones que permitió desarrollar las matrices de prioridad y categorización de las variables que intervienen en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Gómez, A., Naranjo, D., Martínez, A., & Gallego, D. (2007). "Calidad del Agua en la Parte Alta de las Cuencas Juan Cojo y el Salado" (*Girardota-Antioquia, Colombia*). Rev.Fac. Nal. Agr. Medellín, LX (1).
- Reyes, X., & Silva, M. (2012). "Diagnóstico Ambiental y Criterios para el Diseño de la Red Metropolitana de Calidad del Recurso Hídrico en el Distrito Metropolitano de Quito". Quito.
- Rivera, N., Encina, F., Muñoz, A., & Mejias, P. (2004). "La calidad de las Aguas en los Ríos Cautín E Imperial, IX Región-Chile". *Información Tecnológica, XV (5), 89-101*.
- Saaty, T. L. (1980). "The Analytic Hierarchy Process" (*AHP*). *Mc Graw Hill*, New York.