



Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la contaminación

Water quality of the middle basin of the Portoviejo river. Strategies to mitigate pollution

Qualidade da água da bacia média do rio Portoviejo. Estratégias para mitigar a poluição

Julio Benito Intriago-Flores ^I

julio.intriago@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0822-8184>

Luis Santiago Quiroz-Fernandez ^{II}

santiago.quiroz@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2962-0583>

Correspondencia: julio.intriago@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 20 de abril de 2021 ***Aceptado:** 18 de mayo de 2021 * **Publicado:** 17 de junio de 2021

- I. Estudiante de la Maestría en Hidraulica Mención en Gestión de Recursos Hídricos en el Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ingeniero Civil, Portoviejo, Ecuador.
- II. Magister en Administracion Ambiental, Doctor en Ciencias Tecnicas, Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Este trabajo muestra la determinación de los parámetros de calidad de la cuenca media del río Portoviejo, en la provincia de Manabí en Ecuador. La metodología más empleada para la obtención del ICA a nivel mundial y a la cual se suscribe Ecuador, es la propuesta por Brown (1970) y desarrollada por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF). Este índice intenta clasificar la calidad del agua en una escala de 0 a 100, según el constituyente de evaluación y esto permite clasificar la calidad del agua. El ICA desarrollado considera nueve parámetros de calidad de agua: temperatura, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, pH, coliformes fecales, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos (PO₄) y nitratos (NO₃). El ICA es representativo de la calidad del agua en un área específica y el momento en que se tomó la muestra. Para los análisis se consideraron las técnicas del STANDARD METHODS FOR EXAMINATION WATER AND WASTEWATER. Se establecieron tres puntos de muestreo en periodo seco. Los estudios concluyen que la cuenca media del río Portoviejo en el punto número uno (1) del muestreo (san Ignacio), tiene un índice ICA de 69, 97%, lo que le otorga una clasificación media. En el punto dos (2) del muestreo (Puerto real), el ICA arrojó 60,11%, obteniendo una tipificación media y finalmente en el punto señalado como tres (3) para la toma de muestra, se tiene que el ICA proyectó un valor de 43,26%, lo que la categoriza como mala. Se concluye que: en los tres puntos del río Portoviejo, la calidad del agua va disminuyendo conforme avanza en el curso de su cauce, debido principalmente a los vertimientos clandestinos de aguas residuales que existen a lo largo de este afluente. Por tanto se precisa de estrategias para el control y prevención de la contaminación del agua en la cuenca media del río Portoviejo.

Palabras clave: Índice de calidad del agua (ICA); cuenca media río Portoviejo; prevención.

Abstract

This work shows the determination of the quality parameters of the middle basin of the Portoviejo river, in the province of Manabí in Ecuador, as strategies to mitigate its contamination. The methodology most used to obtain the ICA worldwide and to which Ecuador subscribes, is that proposed by Brown (1970) and developed by the National Sanitation Foundation (ICA-NSF). This index attempts to classify the water quality on a scale from 0 to 100, according to the constituent of evaluation and this allows to classify the water quality. The ICA developed considers nine water quality parameters: temperature, dissolved solids, dissolved oxygen, pH, fecal coliforms, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), phosphates (PO₄) and nitrates (NO₃). The ICA is representative

of the water quality in a specific area and the time the sample was taken. For the analyzes, the techniques of the STANDAR METHODS FOR EXAMINATION WATER AND WASTEWATER were considered. Three sampling points were established in the dry period. The studies conclude that the middle basin of the Portoviejo river at point number one (1) of the sampling (San Ignacio), has an ICA index of 69.97%, which gives it an average classification. At point two (2) of the sampling (Real Port), the ICA yielded 60.11%, obtaining an average classification and finally at the point indicated as three (3) for sampling, the ICA projected a value of 43.26%, which categorizes it as bad. It is concluded that: in the three points of the Portoviejo river, the quality of the water decreases as it progresses in the course of its course, mainly due to the clandestine discharges of wastewater that exist along this tributary. Therefore, strategies are needed to control and prevent water pollution in the middle basin of the Portoviejo river.

Keywords: Water quality index (ICA); Portoviejo river middle basin; prevention.

Resumo

Este trabalho mostra a determinação dos parâmetros de qualidade da bacia média do rio Portoviejo, na província de Manabí, no Equador, como estratégias para mitigar sua contaminação. A metodologia mais utilizada para a obtenção do ICA em todo o mundo e que o Equador subscreve é a proposta por Brown (1970) e desenvolvida pela Fundação Nacional de Saneamento (ICA-NSF). Este índice tenta classificar a qualidade da água em uma escala de 0 a 100, de acordo com o constituinte de avaliação e isso permite classificar a qualidade da água. O ICA desenvolvido considera nove parâmetros de qualidade da água: temperatura, sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido, pH, coliformes fecais, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fosfatos (PO₄) e nitratos (NO₃). O ICA é representativo da qualidade da água em uma área específica e da época em que a amostra foi coletada. Para as análises, foram consideradas as técnicas dos MÉTODOS PADRÃO PARA EXAME DE ÁGUA E RESÍDUOS. Três pontos de amostragem foram estabelecidos no período de estiagem. Os estudos concluem que a bacia média do rio Portoviejo no ponto número um (1) da amostragem (San Ignacio), tem um índice ICA de 69,97%, o que lhe dá uma classificação média. No ponto dois (2) da amostragem (Porto Real), o ICA rendeu 60,11%, obtendo uma classificação média e por fim no ponto indicado como três (3) para a amostragem, o ICA projetou um valor de 43,26%, que o categoriza tão mau. Conclui-se que: nos três pontos do rio Portoviejo, a qualidade da água diminui à medida que avança ao longo do seu curso, principalmente devido ao despejo clandestino de águas residuais

existentes ao longo deste afluente. Portanto, estratégias são necessárias para controlar e prevenir a poluição da água na bacia média do rio Portoviejo.

Palavras-chave: índice de qualidade da água (ICA); Bacia média do rio Portoviejo; prevenção.

Introducción

Los países latinoamericanos gozan de las mayores reservas de agua dulce del mundo; sin embargo, tienen muchos desafíos por delante respecto a la gestión de los recursos hídricos. Basándose en el análisis y la evaluación de los resultados de numerosas investigaciones en torno al agua, se puede afirmar que, el uso intensivo de agua, la mayor variabilidad de las precipitaciones y la contaminación son factores que se conjugan en muchos lugares transformando al agua en uno de los principales riesgos para el progreso económico, la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible. (Banco Mundial, 2019).

Es así que, el deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, puesto que cada vez más, el agua limpia escasea y escaseará aún más a medida que la demanda de la población y de la propia naturaleza aumente para sostener unos ecosistemas en grave peligro. (Ban Ki-moon, 2014). Por ello, se requiere garantizar acceso universal al agua, mejorar la eficiencia de su gestión y disminuir la contaminación de los acuíferos (Iriarte, 2019).

A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. (ONU, 2014).

Esta situación no es ajena al Ecuador, ya que según (Cevallos, Gómez, & Roldan, 2015), el Ecuador es un país rico en cantidad de agua, más no en calidad, pues, de acuerdo a varias fuentes el 70% de los ríos de Ecuador se encuentran en procesos críticos de contaminación. Estos autores también refieren que; los Ríos más contaminados a nivel nacional son el río Guayas en la provincia de Guayas, el río Machángara en la provincia de Pichincha, el río Esmeraldas en la provincia de Esmeraldas, el río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi, los ríos Sicalpa, Chibunga y Chambo en la provincia de Chimborazo. (Cevallos, Gómez, & Roldan, 2015)

En línea con lo anterior, (Macias & Diaz, 2010), han expresado que otro de los recursos hídricos del Ecuador que ha visto comprometido la calidad de sus aguas es la cuenca del río Portoviejo, se sabe que, los principales problemas de contaminación, derivan del manejo inadecuado de los suelos y

cultivos, además de otras fuentes de contaminación como las lubricadoras, hospitales, camales, y poblaciones cercanas que descargan directamente al río sin ningún tipo de control.

Frente a este panorama, se requiere asegurar un suministro de agua limpia y saludable tanto para los humanos como para otros organismos y, de este modo, asegurar la sobrevivencia de los ecosistemas terrestres y con ello, preservar la vida de las personas y del planeta. Todo lo cual está en consonancia con uno de los 17 Objetivos Globales de la nueva Agenda para el Desarrollo Sostenible, el objetivo 6, el cual tiene como meta general, a decir del Sustainable Development Goals Fund (SDGF, 2019), garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

En tal sentido, la utilización de los sistemas hídricos está condicionada a la calidad de la masa de agua que contenga. Por lo general, la calidad del agua, se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. (ONU, 2014). En cuanto a los parámetros de calidad del agua según (Olguín, González, Sánchez, & Zamora, 2010) se tienen: los físicos, químicos y microbiológicos, cuyos ensayos y pruebas en laboratorio son los métodos cuantitativos utilizados. De este modo, la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura. (Torres, Cruz, & Patino, 2018)

Para evaluar la calidad de agua se han aplicado diferentes sistemas, entre ellos se tiene el Índice de Calidad de Agua (ICA) que es una herramienta estadística para estimar la calidad de un cuerpo de agua. Sobre este particular, (Espinosa & Rodríguez, 2016) han planteado que este índice propone clasificar en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, de acuerdo con los constituyentes evaluados; y esto, a su vez, hace posible calificar el agua según su estado como: Excelente, Bueno, Medio, Malo o Muy Malo.

Tabla 1: Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general.

Clase	Calidad	Índice de calidad	Significado
I	Excelente	91-100	Aguas muy limpias
II	Buena	71-90	Aguas ligeramente contaminadas
III	Media	51-70	Aguas moderadamente contaminadas
IV	Mala	26-50	Aguas muy contaminadas
V	Muy Mala	0-25	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: (Quiroz & Menéndez, 2016)

De este modo, la metodología más empleada para la obtención del ICA a nivel mundial y a la cual se suscribe Ecuador, es la propuesta por Brown (1970) y desarrollada por la National Sanitation

Fundación (ICA-NSF). A este propósito, el ICA-NSF, comprende un rango entre 0 y 100 [unidades], que es un promedio ponderado de nueve parámetros de calidad de agua que contiene: temperatura, sólidos disueltos, oxígeno disuelto, pH, coliformes fecales, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos (PO4) y nitratos (NO3). (Mayorga, Ramírez, & Mayorga, 2000).

Finalmente, los índices por parámetros son promediados a fin de obtener el ICA-NSF de la muestra de agua. Según (González, 2019), este método se basa en un procedimiento que tiene en cuenta el promedio aritmético ponderado de nueve variables, y se determina a través de la ecuación (1)

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^9 SI_i * Wi \quad (1)$$

Dónde:

ICA-NSF: Índice de Calidad de Agua método NSF

Si: Subíndice del parámetro i

Wi: Factor de ponderación para el Subíndice i

Así, el ICA obtenido representa un valor puntual, por lo que es característico de la calidad del agua del lugar y en el momento específico donde se tomaron las muestras. (Espinosa & Rodríguez, 2016).

Sobre la base de estas afirmaciones, se tiene que el objetivo general de esta investigación fue analizar la calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo, mediante el método ICA-NSF para el establecimiento de estrategias de prevención y control de esta problemática.

Metodología

La presente investigación es de tipo experimental descriptiva, la cual se desarrolló con el objetivo de analizar la calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. La cuenca del río Portoviejo está ubicada en la provincia de Manabí. Según (Giler, Donoso, & Zaldumbide, 2020), está conformada por los cantones Portoviejo, Rocafuerte, Santa Ana y una parte del cantón 24 de Mayo, la cual consta de un área total de 2.105,07 km². A continuación se evidencia la información de la morfología básica de la cuenca media del río Portoviejo.

Tabla 2: Principales datos morfológicos de la cuenca media del río Portoviejo

Descripción	Cantidad
Área (km ²)	2.105,07
Perímetro (km)	293,58
Largo (km)	62,02
Ancho (Km)	36,30

Fuente: (Giler, Donoso, & Zaldumbide, 2020).

El principal uso del suelo de la cuenca del río Portoviejo, es agropecuario, con 105642.00 hectáreas (ha) que corresponden a cultivos, es decir el 50,56% del área total. Los pastos ocupan 63340.00 ha y corresponden al 30.31% y 36878 ha de bosques representan el 17.65%. Zonas cubiertas de agua son 714 ha que representan el 0.34 %; las áreas urbanas son 1319.00 ha, representando un 0,63%, y 1067.00 ha corresponden a otros tipos de utilización y representan el 0.51%. (Montilla & Pacheco, 2017)

Para la selección del lugar o los puntos para la toma de muestras, se realizó un recorrido a toda la cuenca del río Portoviejo, y se escogió de manera visual bajo parámetros o indicadores tanto bióticos (tipos de plantas, árboles y musgos a la orilla del río, especies contaminadas de animales que habitan en el ecosistema, restos en descomposición) y abióticos (tipos de suelo que poseen los taludes del río, desechos de químicos industriales y aguas residuales vertidas de manera directa). La imagen satelital da cuenta de las ubicaciones de los tres puntos en los cuales se realizó el muestreo y análisis de los parámetros establecidos por el ICA-NSF.

Ilustración 1: Imagen Satelital de ubicación de los tres puntos de muestreo



De esta forma las coordenadas de la zona de muestreo, se exponen a continuación

Tabla 3: Georreferenciación de los tres puntos en la zona de muestreo

Punto	Ubicación	Coordenadas (UTM)	Observación
1	Puente San Ignacio (parroquia Colón)	565644 9877503	La toma de muestra se realizó en el mes de septiembre del 2020
2	Puente Puerto Real	561202 9882424	La toma de muestra se realizó en el mes de septiembre del 2020
3	Puente Mejía	5888995 9890571	La toma de muestra se realizó en el mes de septiembre del 2020

Fuente: Elaboración propia.

Materiales y equipos

En el desarrollo de las actividades de la toma de muestra in situ y la realización de los ensayos de laboratorio, se necesitó del uso de los siguientes equipos y materiales para la medición de los parámetros de análisis.

Tabla 4: Equipos utilizados

#	Parámetro	Sitio	Equipo	Método de referencia APHA
1	OD	In situ	Multiparámetro con 2 sondas marca HACH	4500-OG.
2	Coliformes fecales(CF)	Laboratorio	Incubadora, Cabina de flujo laminar, Mechero BUNSEN	9221 F
3	pH	In situ	pH metro marca HACH SENSON Ion1	4500-HB
4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Laboratorio	Incubadora marca HACH Espirómetro marca HACH	5210 D
5	Fosfatos (PO_4)	Laboratorio	Espectrofotómetro Kit de reactivos para fosfatos	4500-PE
6	Nitratos ($N - NO_3$)	Laboratorio	Espectrofotómetro Kit de reactivos para nitratos	4500- NO_3 E
7	Temperatura	In situ	Multiparámetro con 2 sondas marca HACH.	2550 B
8	Sólidos Totales Disueltos(STD)	In situ	Multiparámetro con 2 sondas marca HACH.	JF-AF-04
9	Turbiedad (Turb)	Laboratorio	Turbidímetro marca HACH	2130 B

Fuente: Elaboración propia

Metodología de medición de los parámetros de análisis

Determinación de nitratos

Una vez obtenidas las muestras, se llevaron a laboratorio tomando las medidas de custodia establecidas en los protocolos, y posteriormente se ejecutaron las pruebas respectivas con el equipo Espectrofotómetro HACH, siguiendo siete pasos que a continuación se detallan, aplicando el método de referencia APHA-4500- $[NO]_{-3}$ E.

1. Seleccionar el test.
2. Insertar el adaptador con el alojamiento para cubetas de una pulgada cuadradas y llenar la cubeta cuadrada hasta la marca de 10ml con la muestra.

3. La muestra preparada: añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta con rotación, para mezclar, y seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok. Comienza un periodo de reacción de 10 minutos.
4. Preparación del blanco: después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada hasta la marca de 10 ml con muestra.
5. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el equipo, cerrar la tapa, seleccionar en la pantalla cero.
6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar en el equipo. Cerrar la tapa. El resultado aparecerá en mg/L NO₃—N.
7. Registrar los valores obtenidos.

Determinación de coliformes fecales [NMP]

Una vez obtenidas las muestras, se llevaron al laboratorio tomando las medidas de custodia antes mencionadas, y se ejecutó las pruebas respectivas, aplicando el método de referencia APHA 9221 F. Importante indicar que para la ejecución de la prueba se dividió en dos partes, una prueba presuntiva y una confirmativa, que a continuación se detallan:

Prueba presuntiva

1. Tomar una batería con 15 tubos de ensayo distribuidos de 5 en 5.
2. En los primeros 5 tubos, (los que contienen caldo lactosa doble concentración) inocular con pipeta esterilizada, 10 ml de la muestra de agua a ser probada, en cada tubo (dilución 1:1).
3. En los 10 tubos restantes (los que contienen caldo lactosado simple concentración), inocular en los 5 primeros, 1 ml de la muestra (Dilución 1:10) y en los 5 últimos tubos, inocular 0,1 ml de la muestra, en cada tubo (dilución 1:100).
4. Mezclar.
5. Incubar a $35 \pm 0,5$ oC durante 24/48 horas;
6. Si al cabo de 24/48 horas, haya la formación de gas dentro del tubo de Durham, significa que la prueba presuntiva ha sido positiva. En este caso, hacer prueba confirmativa. Si no hay la formación de gas durante el período de incubación, la prueba termina en esta fase y se considera el resultado de la prueba negativo.

Prueba confirmativa

1. Tomar el número de tubos de prueba presuntiva que resultaron positivos (formación de gas) en las 3 diluciones 1:1; 1:10 y 1:100.
2. Tomar igual número de tubos conteniendo el medio de cultivo verde brillante bilis a 2%.
3. Con el asa de platina, previamente flameada y fría, retirar de cada tubo positivo una porción de muestra e inocular en el tubo correspondiente conteniendo el medio verde brillante. A este procedimiento se da el nombre de trasplante.
4. Identificar los tubos.
5. Incubar durante 24/48 horas a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
6. Si al final del período de 24/48 horas haya la formación de gas dentro del tubo de Durham, la prueba es considerada positiva, caso no haya formación de gas, la prueba es considerada negativa.

Determinación del pH

La medición del pH en los tres puntos establecidos, se realizó in situ utilizando el pH-metro o potenciómetro basado en el método de referencia APHA 4500-HB, mediante los siguientes pasos:

1. Conectar el equipo y esperar su estabilización.
2. Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente.
3. Calibrar el equipo con las soluciones estándares (pH 4 – 7 o 10).
4. Lavar otra vez los electrodos con agua destilada y secarlos.
5. Introducir los electrodos en la muestra a ser probada y hacer la lectura.
6. Lavar una vez más y dejarlos inmersos en agua destilada.
7. Desconectar el equipo.

Determinación de la turbiedad

Para la determinación de la turbiedad se llevó a cabo el procedimiento que a continuación se detalla, aplicando el método de referencia APHA 2130 B.

1. Calibrar el turbidímetro de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
2. Agitar la muestra suavemente y esperar hasta que las burbujas de aire desaparezcan y ponerla en la célula de muestra del turbidímetro; hacer la lectura de la turbidez directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada.

Determinación de la temperatura

La medición de la temperatura, se la realizó in situ, utilizando un equipo multiparámetro, basados en el método de referencia APHA 2550B, por medio de los siguientes pasos:

1. Recolectar un poco de agua en un becker de 250 ml.
2. Sumergir el termómetro en el agua.
3. Esperar hasta que el material dilatante (mercurio) se estabilice.
4. Hacer la lectura con el bulbo del termómetro aun dentro del agua.

Determinación de fosfatos

Para la determinación de la turbiedad se efectuaron los pasos que a continuación se detallan, aplicando el método de referencia APHA 4500-PE.

1. Encender el reactor de DQO (Demanda química de oxígeno). Calentar a 150°C. Colocar el escudo plástico adelante del reactor.
2. Ingresar el número de programa almacenado por el usuario para fósforo reactivo, Test 'N Tube. Presionar: 535 ENTER En la pantalla se leerá: Fijar nm par 890.
3. Girar el cuadrante de la longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 890 nm Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente: Muestra cero luego: mg/L PO₄³⁻-TNT.
4. Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 5,0 ml de muestra a un tubo para fósforo total e hidrolizable con ácido.
5. Con un embudo, agregar el contenido de una bolsa de polvo de persulfato de potasio para fosfato al tubo.
6. Tapar herméticamente y agitar para disolver.
7. Calentar el tubo durante 30 minutos a 150°C.
8. Retirar cuidadosamente el tubo del reactor. Colocarlo en un soporte para tubos de ensayo y dejar enfriar a temperatura ambiente.
9. Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.
10. Colocar el adaptador de DQO en el soporte de la celda con el indicador a la derecha.
11. Limpiar el exterior del tubo con una toalla.

12. Colocar el tubo de muestreo en el adaptador con el logotipo de Hach de cara al frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
13. Presionar ZERO en la pantalla se leerá: Puesta a cero luego: 0.00 mg/L PO₄ 3-TNT Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato Phos y ver 3 en el tubo.
14. Tapar herméticamente y agitar durante 10 a 15 segundos.
15. Presionar: SHIFT TIMER. Comenzará un período de espera de 2 minutos.
16. Cuando suene el cronómetro, limpiar el exterior del tubo de muestreo con una toalla.
17. Colocar el tubo de muestreo preparado en el adaptador con el logo de Hach de cara al frente del instrumento. Tapar el adaptador.
18. Presionar: READ, en la pantalla se leerá: Leyendo...luego en la pantalla aparecerán los resultados en mg/l de PO₄ 3.

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se llevó a efecto a través del procedimiento que a continuación se detalla. Se aplicó el método de referencia APHA 5210D.

1. Preparar el agua para diluir la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de nutriente de DBO.
2. Determinar el rango de los volúmenes de las muestras requeridos por la muestra.
3. Medir con una pipeta serológica una serie graduada de por lo menos cuatro cm, pero preferentemente cinco o seis porciones de muestra bien mezclada y transferirlas a botellas separadas de DBO de 300 ml y con tapón de vidrio. Agitar la muestra con la pipeta antes de colocar con la pipeta cada porción.
4. Agregar dos chorros de inhibidor de nitrificación (aproximadamente 0,16 g) a cada botella, si se desea.
5. Llenar cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución sembrada o sin sembrar. Al agregar el agua, dejar que la misma caiga lentamente por los lados de la botella para evitar la formación de burbujas.
6. Tapar la botella cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire. Apretar el tapón de la botella con el dedo, luego invertir la botella varias veces para que se mezcle.
7. Agregar al pico de la botella DBO agua de dilución suficiente para formar un sello de agua.

8. Colocar una tapa de plástico en el pico de cada botella y colocar las botellas en una incubadora a $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Incubar en la oscuridad durante cinco días.
9. Cuando se haya completado el período de incubación, determinar el contenido de oxígeno disuelto (mg/l de OD restante) en cada botella. Nota: Este procedimiento ha sido aprobado por la EPA (Agencia para la protección del ambiente).

Determinación de los sólidos totales disueltos

La medición de los sólidos totales disueltos, se la realizó en situ, utilizando un equipo multiparámetro, basados en el método de referencia (conductivímetro) APHA JF-AF-04, siguiendo los siguientes pasos:

1. Enjuague la celda con la solución de KCl estándar y ajuste el equipo al valor de 1412 de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
2. Enjuague la celda con varias porciones de la muestra, pase la muestra a un beaker, ajuste la temperatura de la muestra a 25°C e introduzca la celda en la muestra.
3. Tome la lectura directamente del equipo.

Determinación del oxígeno disuelto

La medición del oxígeno disuelto, se la realizó en situ, utilizando un equipo multiparámetro, basados en el método electrométrico, de referencia APHA 4500-OG.

Posterior a la calibración del instrumento proceder a hacer la medición de la(s) muestra(s) siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

1. Se calibra el equipo.
2. Introducir el electrodo previamente lavado con agua a la muestra.
3. Agitar uniformemente y leer directamente del instrumento la concentración de oxígeno.

Resultados

Una vez analizados los parámetros de las muestras de agua recogidas in situ y procesadas en el laboratorio, se calculó el ICA-NSF aplicando la ecuación 1. Los resultados obtenidos de la concentración de los nueve parámetros ICA-NSF, en los tres puntos de muestreo (P1, P2, P3) de la cuenca media del Río Portoviejo se evidencian en la siguiente tabla de datos. (Ver tabla 5).

Tabla 5: Valores de concentración de parámetros contemplados para la obtención del ICA

	Parámetro	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Wi
1	Coliformes fecales	NMP/100ml	4000,00	17000,00	1000,00	0,15
2	pH	Unidad pH	7,74	7,78	7,93	0,12
3	DBO5	mg / L	2,70	36,00	93,00	0,10
4	Nitratos	mg / L	1,00	1,60	2,40	0,10
5	Fosfatos	mg / L	0,90	0,71	2,36	0,10
6	Cambio de Temperatura	°C	0,70	0,90	1,00	0,10
7	Turbidez	NTU	6,55	20,80	7,12	0,08
8	Solidos totales disueltos	mg / L	315,00	368,00	550,00	0,08
9	Oxígeno Disuelto	% saturación	91,44	90,55	15,87	0,17

Fuente: Elaboración propia.

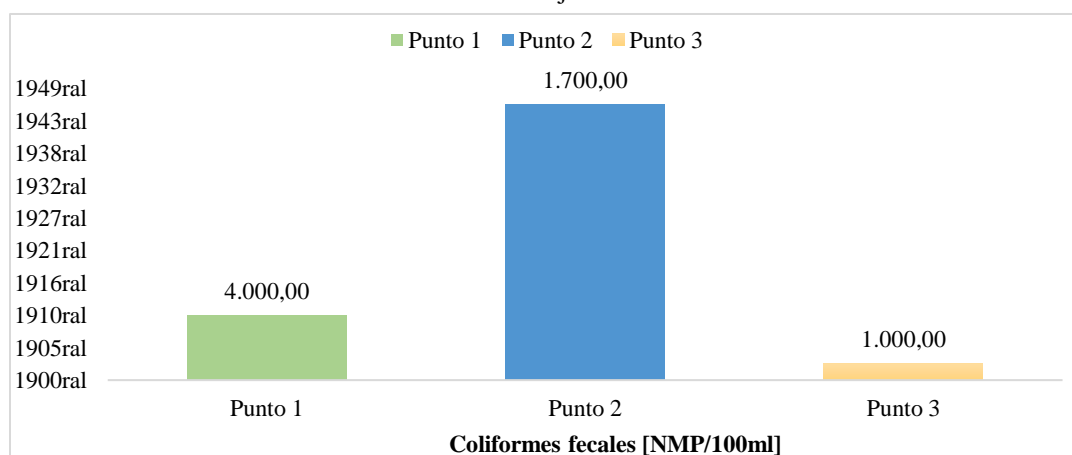
Así mismo, se realizó un análisis mediante gráficos estadísticos de los resultados obtenidos para cada parámetro:

Coliformes Fecales (CF). Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro CF, según la ilustración N° 2, el pico más alto lo tenemos en el punto dos, puente Puerto Real, lo que concuerda con las 28 conexiones clandestinas de aguas negras clausuradas en el año 2019 por el GADM Portoviejo, la mayoría en el sector de incidencia en la parroquia Andrés de Vera y Simón Bolívar. Al presentarse estos CF en el agua, indican que existe contaminación de tipo microbiológica, lo que puede provocar enfermedades de todo tipo en personas que la consuman.

Los valores obtenidos de este parámetro, de acuerdo a norma ecuatoriana vigente, NO cumplen los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

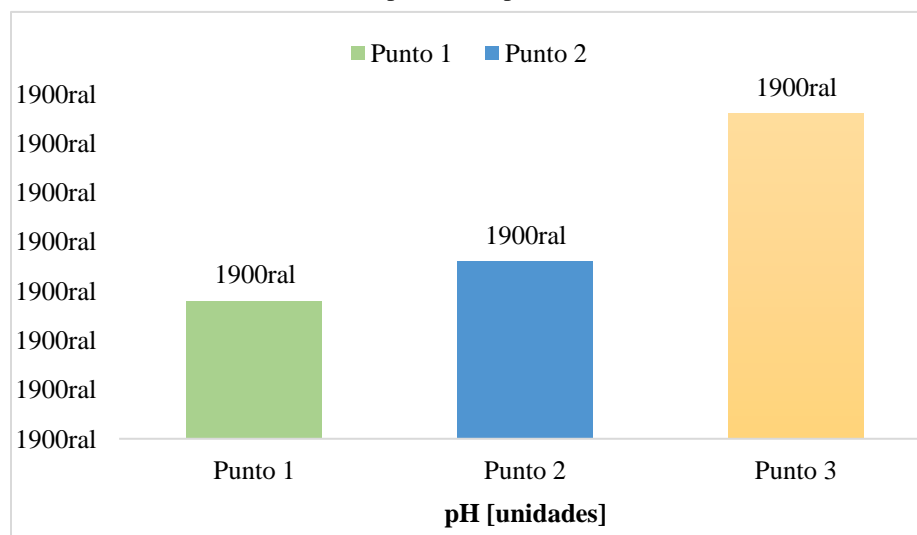
Ilustración 2: Resultados obtenidos para el parámetro Coliformes Fecales (CF) en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.



Potencial de Hidrógeno (pH): Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro pH, según la ilustración N° 3, se puede observar que va en aumento con el paso de la ciudad, del punto uno al tres, siendo el pico más alto el punto tres que es en el puente Mejía. Los valores obtenidos de este parámetro, según la norma ecuatoriana vigente, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

Ilustración 3: Concentraciones de pH en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo

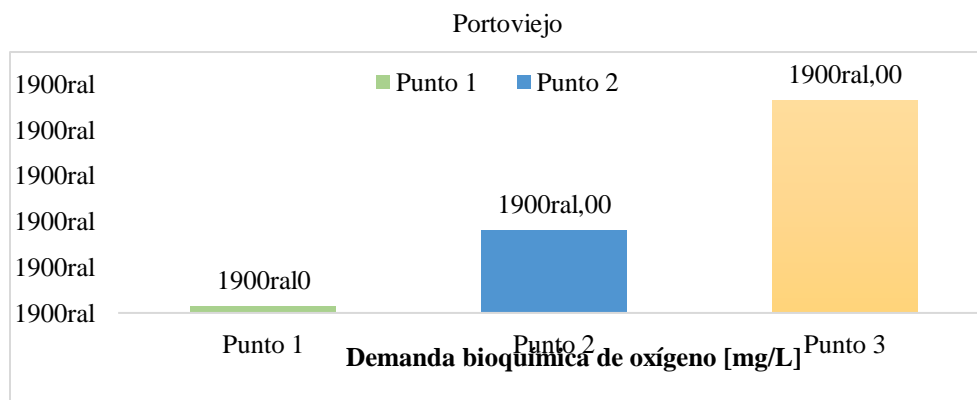


Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del parámetro (DBO5), según la ilustración N° 4, los valores más altos se tienen en el punto tres que corresponde en el puente Mejía. Además, se puede evidenciar un incremento conforme va pasando por la urbe. Los hallazgos obtenidos para los niveles de DBO5 evidencian que un incremento de este parámetro, denotan a su vez una reducción de la cantidad de oxígeno, debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta.

Los valores obtenidos de este parámetro en los puntos uno, dos y tres, según la tabla 19 del acuerdo del Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE, 2015) Acuerdo 097A, NO cumplen los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

Ilustración 4: Concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno en tres puntos de la cuenca media del río

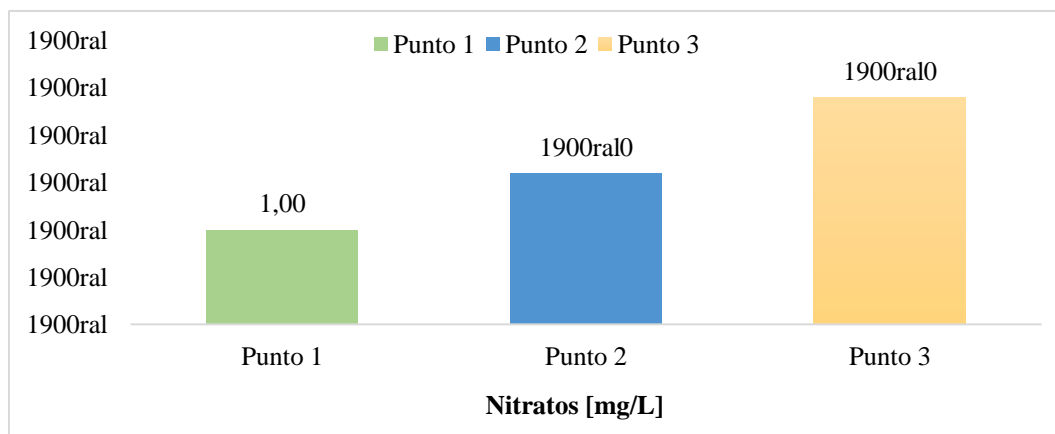


Nitratos (N – NO₃): Resultados obtenidos

La concentración de nitratos a lo largo del río va en aumento conforme avanza aguas abajo, crece desde el punto uno al tres, siendo este último su mayor pico, como se puede observar en la ilustración N° 5. La existencia de tierras agrícolas, pastos, aguas negras, detergentes y desechos de animales, evidencia el aumento de este [(N-NO)₃] y la disminución del oxígeno.

Los valores obtenidos de este parámetro en los puntos uno, dos y tres, de acuerdo a norma ecuatoriana vigente, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

Ilustración 5: Concentración de Nitratos (NO₃) en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo

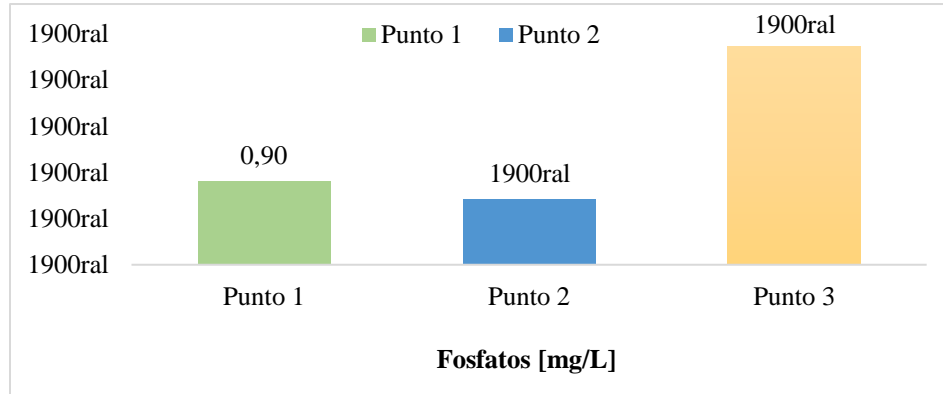


Fosfatos (PO₄): Resultados obtenidos

La concentración de Fosfato se encuentra en el punto tres, como se puede observar en la ilustración N° 6. Las cantidades excesivas de fosfato producen un excesivo crecimiento de algas y plantas en los

cuerpos de agua, lo que concuerda con lo evidenciado en el punto tres- puente Mejía. Estas algas consumen grandes cantidades de oxígeno como lo expresa. (Carrillo & Urgilés, 2016)

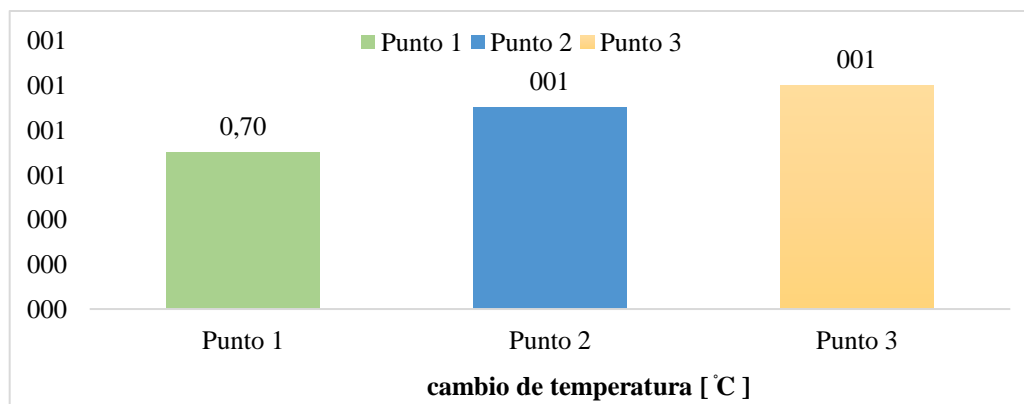
Ilustración 6: Concentración de fosfatos (PO₄) en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo



Cambio de Temperatura: Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del parámetro cambio de temperatura, según la ilustración N° 7, se puede el incremento de variación de temperatura desde el punto uno al tres, el pico más alto se encuentra en el punto tres, que es en el puente Mejía.

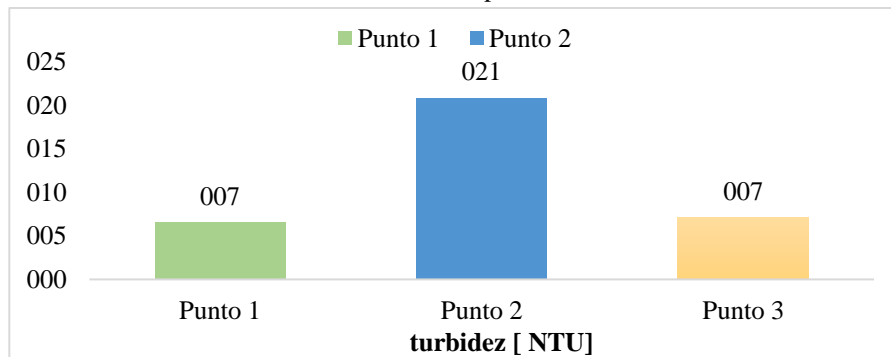
Ilustración 7: Concentración de cambio de temperatura en los tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo



Turbidez: Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos de turbidez, según la ilustración N° 8, se puede evidenciar el pico máximo que está en el punto dos. Los valores obtenidos de este parámetro, de acuerdo a norma ecuatoriana vigente, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

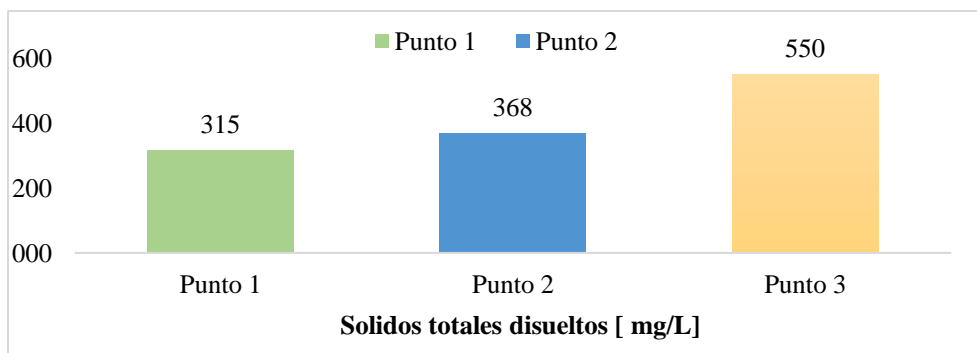
Ilustración 8: Concentraciones de turbidez en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo



Sólidos totales disueltos (STD): Resultados Obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro STD, según la ilustración N° 9, se puede evidenciar que va en aumento con el paso de la ciudad, del punto uno al tres, siendo el pico más alto el punto tres que es en el puente Mejía. La presencia de altas cantidades de sólidos disueltos totales puede cambiar la calidad del agua, provocando que esta tenga un sabor amargo a metal o salado; además, los sólidos disueltos afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible. (Carrillo & Urgilés, 2016)

Ilustración 9: Concentraciones de sólidos totales disueltos en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo



Oxígeno Disuelto (OD): Resultados Obtenidos

Conforme a los resultados obtenidos del parámetro OD, según la ilustración 10, se puede evidenciar, que según recorre la ciudad disminuye la concentración de Oxígeno Disuelto desde el punto uno al tres, siendo el punto más bajo el punto 3 en el puente Mejía. La medida de oxígeno disuelto expresa información sobre las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren en las aguas. Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser causados por vertidos con carga orgánica como materia animal y vegetal

ya que las bacterias requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica y por lo tanto disminuyen el oxígeno del agua, alterando toda la estructura del sistema acuático. (Carrillo & Urgilés, 2016) Se hace evidente que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA-NSF se deteriora a lo largo de la sección estudiada del río. A continuación, en la tabla 6, se expone el resumen de los ICA-NSF obtenidos, en el punto 1 que corresponde al puente San Ignacio con una calidad “media”; en el punto 2, en el puente Puerto Real, una calidad “media”; y en el punto 3 una calidad “mala”

Tabla 6: Resultados del ICA en los tres puntos tomados en las muestras

	1 (San Ignacio)		2 (Puerto Real)		3 (Mejía)	
ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD	
69,97	Media	60,11	Media	43,26	Mala	

Fuente: Elaboración propia

Discusión de los resultados obtenidos

El aumento en los parámetros de nitratos y fosfatos encontrados, se debe al vertimiento de fertilizantes y pesticidas utilizados en la actividad agrícola, además de desechos de lavanderías y lubricadoras. Prácticas que son perjudiciales para la salud, que al ser ingeridos por el ser humano trae como consecuencias enfermedades de tipo gastroenteritis, cefaleas, malformaciones fetales, enfermedades de tipo vectoriales, incluso hasta la muerte.

La proliferación excesiva de lechuguinos en el puente Mejía denotan la disminución significativa del oxígeno en el agua, ya que en esa zona se encuentra un embalse artificial evitando que el agua fluya libremente, disminuyendo significativamente la velocidad del agua.

Como se puede apreciar en la tabla 6, la calidad del agua va decreciendo en el curso del cauce del río Portoviejo, en el orden de 60,97; 60,11 y 43,26 desde el punto uno al punto tres respectivamente. Se hace notorio que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA, se deterioran a lo largo de la sección estudiada, pasando por las zonas pobladas.

En ninguno de los tramos evaluados los resultados de los ICA se pueden considerar de buena calidad, a partir del punto 2 en el puente Puerto Real, el ICA pasa del rango Medio a Malo. Este deterioro tiene mucho que ver con los vertidos clandestinos y constantes de aguas negras, basuras y animales arrojados al margen del río Portoviejo. El Departamento ambiental del GADM del cantón Portoviejo, en el año 2019, clausuró 28 descargas clandestinas de aguas negras, ubicadas en las parroquias Andrés de Vera,

Simón Bolívar, y Francisco Pacheco coincidiendo con la escasa cobertura del sistema de alcantarillado sanitario, y el incremento poblacional de los cantones que se nutren con la cuenca.

Estrategias a realizar

A la luz de los resultados obtenidos sobre la calidad del agua en la cuenca media del río Portoviejo, es fundamental la implementación de estrategias para mitigar esta problemática ambiental. A este respecto, como un marco de orientación general a las acciones específicas para llegar a atenuar esta problemática, se presentan algunas consideraciones:

1. El ordenamiento territorial, planificación regional, urbana, económica y ambiental, son partes importantes para la implementación de proyectos estratégicos, y su financiamiento por parte del gobierno nacional y entes extranjeros, en los últimos quince años (López, 2015).
2. Incrementar la cobertura de alcantarillados sanitarios, primordialmente en parroquias de Portoviejo como Picoaza y Colón, con alta emisión de desechos sanitarios por su gran densidad poblacional y actividades económicas (comercio, agricultura y ganadería).
3. Mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario, cambio de colectores, emisarios, líneas de conducción, terciarias, pozos de revisión, que ya han cumplido con su vida útil principalmente en la parroquia Andrés de Vera.
4. Restauración de ecosistemas ribereños, recuperando la vegetación nativa y la remoción de pasto.
5. Protección de microcuencas y laderas con arborización, que sujeten la tierra y controlen el tema de erosión.
6. Disminución del uso de plaguicidas químicos, asesorando a los agricultores con nuevos productos amigables al medio ambiente, como lo indica Pérez et al. (2010), ya están siendo utilizados a mayor escala por la Unión Europea y Cuba, entre las opciones están: trampas cromáticas, insecticidas ecológicos en elaborados a partir de hongos, bacterias y nemátodos entomopatógenos, utilizando abono orgánico, rotar los cultivos, evitar regar en exceso, inspeccionar las plantas por lo menos una vez por semana eliminando manualmente las posibles plagas, o adaptar la siembra, poda y recolección al ciclo de las plagas y enfermedades, otros remedios “caseros” como la utilización de nicotina, azufre o agua jabonosa sirven para controlar algunas plagas.
7. Campañas de educación ambiental a todos los sectores. Dada la importancia del desarrollo de campañas de educación ambiental se ha desarrollado un plan para dar cumplimiento a esta acción dentro de la estrategia general.

Las medidas de prevención y control de la contaminación pasan por un tema de incremento de infraestructura pública, ordenamiento territorial y recuperar el ecosistema degradado. Sin embargo, un factor primordial que va a darle la sostenibilidad de esta propuesta a largo plazo está enmarcada en la participación ciudadana, en su capacidad de involucrarse no sólo en reconocer la problemática, en participar en las soluciones, sino también en intervenir en el seguimiento y monitoreo de las medidas, con esto será fundamental mantener estrategias permanentes de educación ambiental a los diversos actores, según Macías (2010) se propone:

Educación Ambiental al sector Institucional o Gubernamentales

- Eventos de sensibilización de la relación existente entre la calidad del agua en el río y el desarrollo de la región.
- Gremios o sectores organizados. Programas de sensibilización de la relación río con sus representados.
- Sector Educativo Formal. Fortalecimiento de las actividades establecidas por parte del Ministerio de Educación en los programas de educación ambiental, implementando e incrementando el conocimiento sobre las agresiones al río y las medidas que se puedan poner en práctica para evitarlas.

Buenas Prácticas Ambientales (BPA) en el sector Productivo

- Difundir las Buenas prácticas Ambientales en los sectores: ganaderos, agrícolas, forestales, transporte, entre otros.
- Implementar un sistema de incentivos y reconocimientos a actividades productivas que implementan BPA en sus negocios.
- Desarrollar e implementar la responsabilidad social y ambiental hacia el entorno, en la recuperación de ecosistemas.

Educación Ambiental al sector Ciudadano

- Fortaleciendo el rescate de las tradiciones culturales. o incentivando el reconocimiento del ecosistema hídrico como parte del desarrollo y bienestar local.
- Utilizando medios de comunicación masivos informando sobre las acciones que cada ciudadano puede implementar para contribuir con las soluciones.

- Creándose espacios de participación, veedurías, o discusión donde el tema de la contaminación del río se trate tanto en sus fuentes, como en las alternativas de solución.

Conclusiones

Los parámetros Coliformes Fecales y $[[DBO]]$ $_5$, superan los límites permisivos establecidos por la autoridad ambiental reguladora, producto de la contaminación por aguas negras vertidas en el río, debido a la deficiente cobertura de alcantarillado sanitario, y el vertimiento de fertilizantes y pesticidas producido por la agricultura y ganadería.

En función de los resultados obtenidos del ICA-NSF, en los tres puntos del río Portoviejo, se puede observar que la calidad del agua va disminuyendo conforme avanza en el curso de su cauce, debido principalmente a los vertimientos clandestinos de aguas residuales que existen a lo largo de este afluente.

A la luz de los resultados obtenidos, se precisa del establecimiento de medidas para el control y prevención de la contaminación del agua en la cuenca media del río Portoviejo, así, las medidas de prevención y control de la contaminación pasan por un tema de incremento de infraestructura pública, ordenamiento territorial y recuperar el ecosistema degradado; también es importante la participación ciudadana y; el seguimiento y monitoreo de las medidas implementadas, entre otras; como forma de contribuir al fortalecimiento de la gestión ambiental de las cuencas hidrográficas del país en general y de esta provincia en particular.

Referencias

1. Ban Ki-moon. (2014). Decenio Internacional para la Acción "El Agua Fuente de Vida" 2005-2015. Secretario General de Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU- DAES).
2. Banco Mundial. (2019). Agua I. Panorama General. Práctica global de Agua del Banco Mundial. worldbankwater@worldbank.org.
3. Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica-Nsf De Los Ríos Mazar y Pindilig. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>.
4. Cevallos, E., Gómez, L., & Roldan, A. (2015). Análisis De Los Problemas Ambientales En El Cantón La Concordia, Provincia Santo Domingo De Los Tsáchilas, Ecuador. Revista

- Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes. 4 (1).
<https://www.redalyc.org/html/1812/181220509053/>, pp. 1-16.
5. Espinosa, T., & Rodríguez, C. (2016). Nota técnica: Índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Aroa y Yaracuy de los estados de Falcón y Yaracuy, en Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*. Vol. 23. Núm. 3. Universidad de Carabobo. Estado Carabobo, Venezuela, pp. 381-386.
 6. Giler, A., Donoso, P., & Zaldumbide, D. (2020). Manejo sostenible de inundaciones, cuencas hidrográficas y riberas en la provincia de Manabí. *Revista La Técnica*. 1 (5). agiler@pucem.edu.ec, pp. 55-72.
 7. González, A. (2019). Evaluación de la Calidad de Agua captada para el abastecimiento a la ciudad de Baños de Agua Santa mediante el ICA-NSF. Universidad Central del Ecuador. Vol. 8. Issue 2. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>.
 8. Iriarte, M. (2019). Indicadores de calidad del agua residual doméstica descargada en la franja litoral de la Laguna de Punta de Piedras, Isla de Margarita, Venezuela. *Memoria La Salle*. 77 (185). maria.iriarte@fundacionlasalle.org.ve, pp. 51- 63.
 9. López, M. (2015). El sistema de planificación y el OT en Ecuador. 19.
 10. Macías, R., & Díaz, S. (2010). Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 41 (50), pp. 1-7.
 11. MAE. (2015). Registro Oficial. Edición Especial. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Año III - N° 387. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
 12. Mayorga, O., Ramírez, M., & Mayorga, J. (2000). Índice de calidad de agua de los ríos Albarregas y Milla del Estado Mérida, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 24 (3). revistaing@uc.edu.ve, pp.428- 432.
 13. Montilla, A., & Pacheco, H. (2017).). Comportamiento temporal y espacial del bosque ribereño en el curso bajo del río Portoviejo y la quebrada Chilán, provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33 (1). <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>, pp. 21-35.

14. Olgúin, E., González, R., Sánchez, G., & Zamora, J. (2010). Contaminación de ríos urbanos : El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México Resumen. *Resumen. Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 1 (2). eugenoa@inecol.edu.mx, pp.178–190.
15. ONU. (2014). Decenio Internacional para la Acción "El Agua como Fuente de Vida" 2005-2015. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (ONU-DAES).
16. Pérez, N., Infante, C., & Rosquete, C. (2010). Disminuyendo la relevancia de los plaguicidas. Alternativas a su uso. *Agroecología*, 5(0), 79–87.
17. Quiroz, E., & Menéndez, C. (2016). Modelación Matemática de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales. Caso de estudio: Río Portoviejo, Ecuador. *Revista cubana de ingeniería* 6 (2). Iquiroz@utm.edu.ec, pp. 64-70.
18. Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual*, 9 (12). rodriguez@uc.org, pp. 125-134.
19. SDGF. (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. Sustainable Development Goals Fund (SDGF). <https://www.sdgfund.org/es/objetivo-6-agua-limpia-y-saneamiento>.
20. Torres, P., Cruz, C., & Patino, P. (2018). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *RSC Theoretical and Computational Chemistry Series*, 2018-Janua(13). <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>, pp.386–423.