

CALIDAD DE AGUA EN RÍO CUTUCHI MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS, LATACUNGA, ECUADOR

WATER QUALITY IN CUTUCHI RIVER THROUGH PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL ANALYSIS, LATACUNGA, ECUADOR

Jonathan Aníbal Cajas Sinchiguano, Alexandra Córdova-Mosquera, Jesús Enrique Chavarría Párraga

Programa de Maestría en Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) – Manabí

Email: jcajas9691@puce.edu.ec ; rcordova@puce.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
11/09/2023

Aceptado:
14/12/2023

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
14(2):115-123

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v14i2.413

Resumen

La calidad del agua de los ríos se deteriora, principalmente a su uso como fuente de aguas residuales procedentes de centros urbanos, zonas industriales, actividades agrícolas. Este estudio analizó el índice de calidad de agua a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el río Cutuchi provincia de Cotopaxi y se los comparó con la legislación ambiental vigente (TULSMA). Adicionalmente se determinaron sus características morfométricas. Se realizó trabajo de campo en dos periodos (noviembre-enero 2023 y febrero-abril 2023), recolectando en total 20 muestras de agua en cinco puntos de muestreo a lo largo del gradiente longitudinal del río desde las partes altas hasta su confluencia con el río Ambato. Los hallazgos muestran al río de una forma ligeramente ensanchada no propensa a inundaciones. Tres de los cinco puntos de muestreo no cumplieron con los límites permisibles máximos acorde a TULSMA para los parámetros de turbiedad (180,2 NTU), DBO5 (55,7 mg/l) y coliformes (3115,5 NMP/100 ml), especialmente en las zonas bajas del río donde se depositan todas las cargas orgánicas e inorgánicas de las actividades antropogénicas. El índice de calidad ICA-NSF mostró valores catalogados como regular en la parte alta del río y mala para las partes medias y bajas. Este estudio recomienda que se realicen propuestas de manejo y gestión de la calidad del agua a lo largo del gradiente del río Cutuchi y con ello poner en marcha acciones de mantenimiento, descontaminación y recuperación de las riberas del río.

Palabras clave: Calidad de agua, puntos de muestreo, índice de calidad, río Cutuchi, Latacunga.

Abstract

The quality of river water deteriorates, mainly due to its use as a source of wastewater from urban centers, industrial areas, and agricultural activities. This study analyzed the water quality index through physicochemical and microbiological analysis in the Cutuchi River, Cotopaxi province, and compared them with the current environmental legislation (TULSMA). Additionally, their morphometric characteristics were determined. Field work was carried out in two periods (November-January 2023 and February-April 2023), collecting a total of 20 water samples at five sampling points along the longitudinal gradient of the river from the upper parts to its confluence with the Ambato river. The findings show the river in a slightly widened shape not prone to flooding. Three of the five sampling points did not comply with the maximum permissible limits according to TULSMA for the parameters of turbidity (180.2 NTU), BOD5 (55.7 mg/l) and coliforms (3115.5 NMP/100 ml), especially in the lower areas of the river where all the organic and inorganic loads from anthropogenic activities are deposited. The ICA-NSF quality index showed values classified as regular in the upper part of the river and poor for the middle and lower parts. This study recommends that proposals be made for management and management of water quality along the gradient of the Cutuchi River and thereby implement actions for maintenance, decontamination and recovery of the river banks.

Keywords: Water quality, sampling points, quality index, Cutuchi River, Latacunga.

INTRODUCCIÓN

El suministro natural de agua proviene de manantiales naturales a lo largo de la Cordillera de los Andes, en sus diferentes fuentes como agua de lluvia, ríos, lagos, mares y aguas subterráneas (Khilchevskyi y Karamushka, 2020). En Ecuador según datos del Programa de Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA), el 81,1% del uso de agua de río, es para riego de tierras de cultivo. Además, Ecuador, presenta la gran ventaja de disponer de agua dulce para consumo humano de 22 500 m³/hab/año, lo cual es superior a los 1000 m³/hab/años considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a los 1,700 m³/hab/año por la PNUMA (SENAGUA, 2009; Soto y Reina, 2012).

Los ríos son una fuente de riqueza, proporcionando el agua esencial para el sustento y posterior desarrollo de las poblaciones humanas, haciendo que el suelo sea fértil para la producción de alimentos y facilitando la comunicación entre pueblos, ciudad y comunidades (Falkenmark, 2018). Sin embargo, la calidad del agua especialmente de los ríos se deteriora, principalmente debido a su uso como fuente de aguas residuales procedentes de centros urbanos, zonas industriales, actividades agrícolas y aguas residuales (Xiao *et al.*, 2020).

La caracterización de la calidad del agua de un río consiste en determinar la extensión, el grado o la intensidad de la contaminación, que puede ser de origen físico, químico o biológico, y la capacidad del sistema para restablecer de forma natural las características o condiciones que tenía antes de la presencia del contaminante (Al-Ghouti *et al.*, 2019). Los esfuerzos para identificar y utilizar oportunidades tecnológicas, socioeconómicas, ambientales y legales para encontrar soluciones a los problemas causados por la degradación y el mal uso del agua deben ser una prioridad nacional.

Estudios realizados a nivel nacional e internacional referente a la calidad de agua de ríos demuestran que existen altos niveles en las concentraciones de fósforo, nitrógeno, plomo, cadmio, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales, debido a las actividades de origen antropogénico tales como la agricultura, ganadería, así como también a las descargas de efluentes industriales y residuos sólidos, las cuales se encuentran asociadas con el desarrollo de las poblaciones en las zonas periféricas (Pernía *et al.*, 2018; Yumbo *et al.*, 2018; Pauta *et al.*, 2019; Muñoz, 2020; Osorio-Ortega *et al.*, 2021).

El río Cutuchi, está ubicado en la provincia de Cotopaxi, ciudad de Latacunga. Sus aguas provienen de los páramos del volcán Cotopaxi, donde en su recorrido de norte a sur, atraviesa poblaciones, industrias y centros poblados del cantón Latacunga. En su paso las aguas servidas desfogan

en el río sin un tratamiento previo, continuando su recorrido por el cantón Salcedo hasta su conexión con el río Ambato (Tello *et al.*, 2019). Este río abastece a agricultores de tres ciudades principales del Ecuador (Latacunga, Salcedo y Ambato), con un caudal de 4500 litros de agua por segundo, de los 11 000 litros en total, sin embargo, este causal riegan cerca de 7500 hectáreas de cultivo con agua contaminada, producto de desechos de todo tipo, botellas, heces fecales, envases de agroquímicos, entre otras, afectando la salud tanto de la población humana como de la biodiversidad asociada del río (Tello *et al.*, 2019). Es por ello, que es necesario acciones urgentes para determinar la calidad de agua del río, con planes y proyectos de descontaminación por parte de los entes ministeriales del Ecuador.

Para la determinación de la calidad de agua, el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos Americanos (ICA-NFS), es uno de los más ampliamente utilizados a nivel mundial (Noori *et al.*, 2019). El ICA-NSF es un índice público ya que ignora tanto el tipo de uso que se le dará al agua, como el o los métodos utilizados para determinar las características fisicoquímicas y biológicas. Presenta además una cualificación general del estado del agua y resulta un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua (Mladenović-Ranisavljević y Žerajić, 2018). Este índice utiliza nueve características, como variables de respuesta, que son: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, turbiedad, coliformes fecales (de forma cuantitativa), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo total, nitratos y sólidos suspendidos totales (Oliveira *et al.*, 2019).

El río Cutuchi se encuentra en la actualidad en una situación crítica de contaminación que, en parte, se debe a la descarga de aguas residuales por parte de las poblaciones por las cuales el río transita, así como de diferentes industrias que de igual manera descargan efluentes al río. Esta contaminación genera graves inconvenientes a la población en general, debido a que el agua del río es utilizada para el riego de sembríos en zonas aledañas y hasta llega a ser utilizada para el consumo humano (Tello *et al.*, 2019).

El presente artículo evaluó la calidad de agua en la cuenca hidrográfica del río Cutuchi, por medio de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación del índice de calidad ICA-NSF, durante el periodo noviembre 2022 - abril 2023. Específicamente, se caracterizó la microcuenca del río generando información sobre el límite de la cuenca, uso del suelo, y cobertura vegetal. Se analizaron las variaciones de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos. Finalmente, se compararon las concentraciones obtenidas en las campañas de muestreo con la normativa ambiental vigente para la protección de fauna y flora acuática.

MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización del río se llevó a cabo a lo largo del gradiente longitudinal abarcando las zonas altas, medias y bajas de la zona industrial hasta la confluencia con el río Ambato con un equipo de 5 personas para la toma de muestras, mediciones, utilización de instrumentos, fotografías. Los puntos de muestreo (PM) tomados cubren las zonas altas (PM1 y PM2), zona media (PM3) y zonas bajas (PM4 y PM5) del río Cutuchi (Gráfico 1).

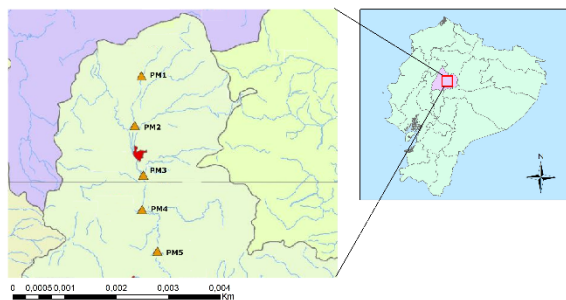


Gráfico 1. Puntos de muestreo de la zona de estudio

El cálculo de la media de los análisis de agua fue mensual realizados en el periodo seco (noviembre 2022- enero 2023) y lluvioso (febrero – abril 2023), por punto de muestreo. En total, se consideraron cinco puntos de muestreo y en cada punto de muestreo se tomaron cuatro muestras de agua con una distancia de 500 m cada una, en la parte alta, media y baja, respectivamente.

Las muestras se tomaron de acuerdo con la metodología establecida por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 2226-2013 incluida en las normas oficiales para la toma y análisis de calidad de agua. La calidad del agua del río se determinó mediante variables fisicoquímicas y microbiológicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables de estudio

Físicas	Químicas	Microbiológicas
Temperatura (°C)	pH	Coliformes (NMP/100 ml)
Turbiedad (NTU)	Nitratos (mg/l)	
SDT (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	
	DBO5 (mg/l)	
	Oxígeno disuelto mg O ₂ /l)	

Las variables físicas de temperatura se determinaron mediante el método de termómetro de mercurio, la turbiedad a través del método turbidimetría y SDT por medio de conductimetría. Las variables químicas de pH, nitratos, fosfatos, DBO5 y oxígeno disuelto se

determinaron por medio de potenciometría, espectrofotométrico, método de Winkler (Strickland y Parsons, 1968) y HRDO (Fecteau *et al.*, 2022). La variable microbiológica de coliformes se determinó a través del número más probable (NMP).

Por otro lado, el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos Americanos (ICA-NFS) es un índice público ya que ignora tanto el tipo de uso que se le da al agua, como el o los métodos utilizados para determinar las características fisicoquímicas y biológicas. Presenta además una cualificación general del estado del agua y resulta un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua (Aguirre *et al.*, 2016).

Utiliza una suma lineal ponderada de los efectos de las variables de respuesta y expresa los resultados en forma de números enteros en una escala de 0 a 100, donde los valores entre 0 y 25 representan una calidad muy mala, valores entre 25 y 50 representan una calidad mala, valores entre 50 y 70 representan una calidad buena, valores entre 70 y 90 representan una calidad buena y valores entre 90 y 100 representan una calidad muy buena (Coello *et al.*, 2013).

El ICA-NSF se calculó en base a los resultados obtenidos de los análisis de cada uno de los parámetros analizados a los cuales se les asignó un peso relativo (w_i) entre 0 a 1 de tal manera que la sumatoria de todos los parámetros sea igual a 1. Se empleó la ecuación propuesta por Brown (1970) como sigue:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

Donde, ICA es el Índice de calidad, Sub_i son los subíndices de la variable o parámetro i , w_i es el peso relativo asignado a cada parámetro (Sub_i). Los pesos asignados a cada parámetro se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Pesos relativos de los parámetros del ICA

i	Sub _i	Microbiológicas
1	Temperatura	0,10
2	Turbiedad	0,08
3	SDT	0,08
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	pH	0,12
7	DBO5	0,10
8	Oxígeno disuelto	0,17
9	Coliformes	0,15

Fuente: (Gil *et al.*, 2018)

Para cada parámetro existe una curva de modelado la cual correlaciona la concentración de cada variable con la calidad de esta. En base al resultado obtenido del análisis del parámetro (i) se obtiene el valor del subíndice Sub_i . Una vez obtenido los subíndices para cada parámetro se multiplica el peso asignado para el correspondiente subíndice y se realiza la sumatoria para obtener un valor general entre 0 a 100 que indica la calificación del ICA-NSF la cual se clasifican de acuerdo con las siguientes categorías propuestas por Brown (1970).

Cuadro 3. Clasificación del ICA

Calidad del ICA	Color	Rango
Excelente	Azul	91-100
Buena	Verde	71-90
Regular	Amarilla	51-70
Mala	Café	26-50
Pésima	Gris	0- 25

Fuente: (Chang, 2009)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del río Cutuchi

En el cuadro 4 se describen las características morfométricas del río Cutuchi.

Cuadro 4. Características morfométricas de la cuenca del río Cutuchi

Características morfométricas	
Área	219,20 km ²
Perímetro	74,53 km
Longitud de la cuenca	20,45 km
Longitud del cauce principal (río Cutuchi)	22,27 km
Factor de forma (Horton Kf)	0,52
Coefficiente de compacidad Kc	1,16
Longitud de los cauces de orden uno	54,05 km
Densidad de drenaje	0,42 km/km ²
Pendiente media de la cuenca	4,26%
Pendiente promedio del cauce	3,63%

Fuente: (Carrera-Molina *et al.*, 2017)

El factor de forma Kf de 0,52 representa una forma "ligeramente ensanchada". Según Caicedo *et al.* (2021), los ríos con un factor de forma menores a 0., son más propensos a inundaciones que una estructura con un factor de forma más cercanos a 1. Con un coeficiente de compacidad Kc de 1,16, el río presenta una forma redonda a oval redonda. Un valor de Kc cercano a la unidad indica una tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir, con mayor concentración de agua. Acorde a Méndez-Gutiérrez *et al.*, (2021) valores de densidad de drenaje próximos a 0,5 km/km² indican eficiencia de la red de drenaje, por lo que el valor de 0,42 km/km² representan un adecuado drenaje de la cuenca del

río Cutuchi. La pendiente promedio de la cuenca y del cauce fueron de 4,26% y 3,63%, respectivamente por lo que indican que no se encuentra fuertemente accidentado dada la ausencia de sistemas montañosos alrededor en la totalidad de la cuenca.

El 100% de las inmediaciones de la cuenca del río Cutuchi se encuentra cubierto por áreas vegetales divididas en bosques, cultivos y pastizales. La cobertura vegetal da cuenta de la oferta hídrica y del movimiento del agua de la cuenca. Por otro lado, el uso de suelo se lo destina principalmente para cultivos de ciclo corto, pastos cultivados para la ganadería, cuerpos de agua, vegetación arbustiva y herbácea y zona antrópica. Debido a las actividades agrícolas las aguas del río Cutuchi se encuentran contaminadas especialmente en la zona baja debido al continuo uso de agroquímicos. En el cuadro 5, se describe el uso de suelo de la cuenca del río Cutuchi.

Cuadro 5. Uso y ocupación de suelo de la cuenca del río Cutuchi

Categoría	Superficie (Ha)	Porcentaje (%)
Bosque	18636,09	4,35
Cuerpos de agua	951,12	0,22
Otras tierras	15632,76	3,65
Agropecuaria (pastos)	216801,95	50,65
Vegetación arbustiva y herbácea	170784,77	39,90
Zona antrópica	5203,44	1,22

Fuente: (Zapata, 2022)

Variaciones de parámetros físicos-químicos y microbiológicos

Parámetros físicos de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos totales

En el gráfico 2a, se visualiza la variación de temperatura en los distintos puntos de monitoreo que obedece a la altitud de cada punto y hora de recolección de cada muestra. La cantidad de oxígeno que el agua puede contener cambia con la temperatura. El aumento de las temperaturas en los distintos puntos puede ser el resultado de las descargas de agua caliente de las instalaciones industriales cercanas, en particular de agua de refrigeración. Debido a que no hay demasiados árboles a lo largo de la orilla del río, no se presenta sombras por lo que el agua aumenta su temperatura.

En el gráfico 2b, se nota que existe mayor turbiedad en los puntos de muestreo 4 y 5 que representan las zonas bajas del río Cutuchi, recibiendo todas las descargas de las actividades productivas. En diciembre 2022 y enero 2023 fueron los meses donde se registraron mayor turbiedad con valores máximos de 208,26 NTU y 221,96 NTU, respectivamente, debido a un incremento del caudal, provocando el arrastre de partículas sólidas, producto de altas precipitaciones. Por el contrario, en las partes altas

del río se registra menor turbiedad alcanzando valores por debajo de los 80 NTU con un valor mínimo de 7,4 NTU en el mes de marzo. Esto obedece a que en las zonas altas del río no se tienen actividades humanas las cuales se incrementan en las zonas medias y bajas del cauce.

En el gráfico 2c, se observa el incremento de sólidos totales disueltos (STD), desde el PM1 ubicado en la parte alta del río al PM5 ubicado en la zona baja. Existe una mayor concentración de este parámetro en los meses de noviembre 2022 y marzo 2023 llegando a valores de 969,24 mg/l y 997,51 mg/l de TDS, respectivamente. Sin embargo, estos valores máximos se encuentran dentro de la escala normal para agua de riego acorde a TULSMA (0 – 2000 mg/l).

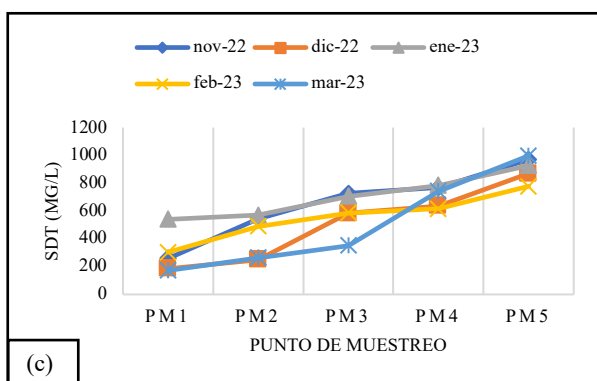
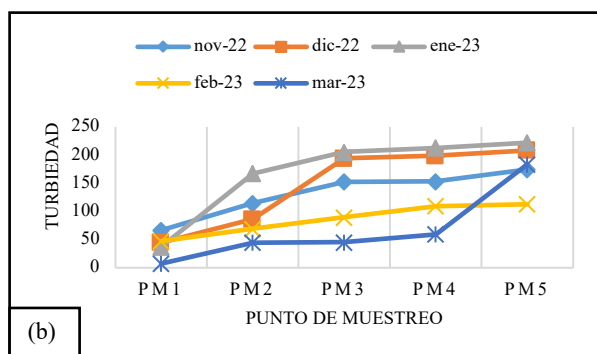
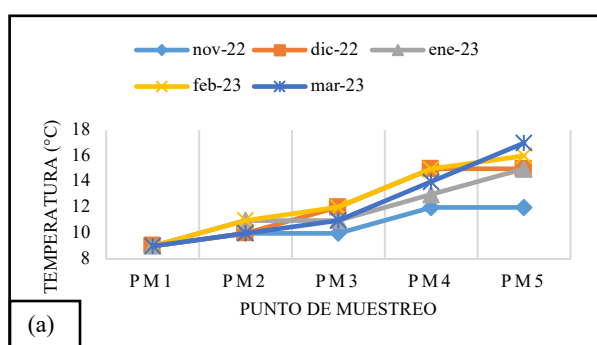


Gráfico 2. Variaciones espaciotemporales de la (a) temperatura (°C), (b) turbiedad y (c) SDT medidos en el río Cutuchi.

Parámetros químicos de pH, nitrato y DBO5, oxígeno disuelto, fosfato

En el gráfico 3a, se visualiza la variación de pH en los distintos puntos de monitoreo los cuales oscilan entre 7,2 a 7,8. Aunque el pH en todos los puntos de muestreo a lo largo del periodo de estudio se mostró neutro, se registró en el mes de marzo el mayor índice de pH con 7,7 en el PM5 a comparación de los otros meses y de los demás puntos de muestreo. Esto puede deberse a las variaciones de los regímenes de lluvia y la época de transmisión de temporadas. Valores entre 6,5 a 8,5 son los límites permisibles para que se pueda permitir el desarrollo de procesos biológicos y preservación de vida acuática.

En el gráfico 3b se evidencia que existe una mayor concentración de nitratos en los puntos de muestreo 4 y 5. Estas concentraciones son mayores en los meses de febrero y marzo 2023, con valores de 4,6 y 5,4 mg/l, respectivamente. Acorde a Alfaro-Sandí *et al.*, (2021), enfatizan que una alta concentración de nitratos (sobre los 10 mg/l) en los cuerpos superficiales obedece a posibles actividades de origen antropogénico tales como el uso de agroquímicos, fertilizantes, o estiércoles de animales que hace que aumenten las concentraciones en las partes bajas del río. Sin embargo, en el presente caso las concentraciones se mantienen dentro del rango permisible según TULSMA (0-13 mg/l).

Durante los meses de febrero y marzo 2023 se registró mayores concentraciones de DBO5 con 60,3 mg/l y 58,5 mg/l, respectivamente (Gráfico 3c). Esto puede obedecer al aporte de materia orgánica de origen animal en los cuerpos hídricos que aumentan en las zonas bajas del río. Castillo y Chimbo (2021) enfatizan que los aportes de aguas residuales domésticas también contribuyen a que aumenten las concentraciones de DBO5. Un contenido por sobre los 20 mg/l puede afectar al oxígeno disponible para la flora y fauna acuática ya que favorece el crecimiento de hongos y bacterias. Las concentraciones de DBO5 del río Cutuchi sobrepasa el límite permisible (0-20 mg/l) con un rango entre 27,5 mg/l a 38,4 mg/l.

Por otro lado, las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) estuvieron en un rango entre 75 a 95% con un promedio general de 85%. Se registró un valor máximo de 93,8% en el mes de diciembre 2022 y 93,1% en marzo 2023 (Gráfico 3d). Intriago y Quiroz (2021) señalan que valores por debajo del 80% obedecen a vestigios causado por vertimientos con carga orgánica animal y aumentos de temperatura ambiental lo que a su vez aumenta la solubilidad de las sales y es perjudicial para la vida acuática.

Finalmente, la concentración de fosfatos en la parte alta del río mostró un promedio de 0,80 mg/l a lo largo del periodo de estudio, en las partes medias de 2,0 mg/l y en

las partes bajas de 3,0 mg/l (Gráfico 3e). A mayor concentración de fosfatos responde a mayores actividades antropogénicas (ganadería, industrial) por acción de escorrentía llega a los cuerpos superficiales.

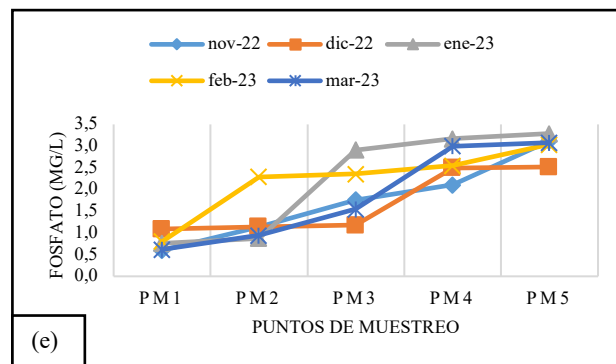
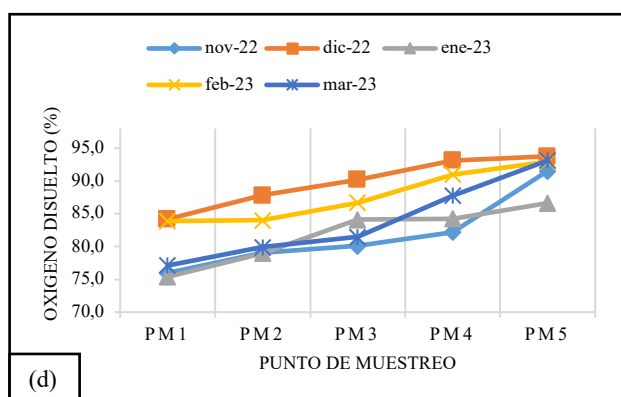
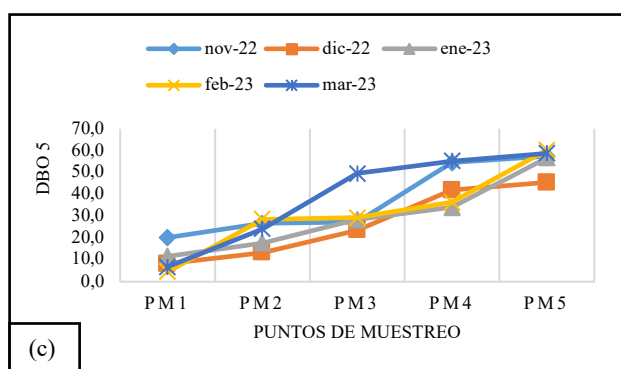
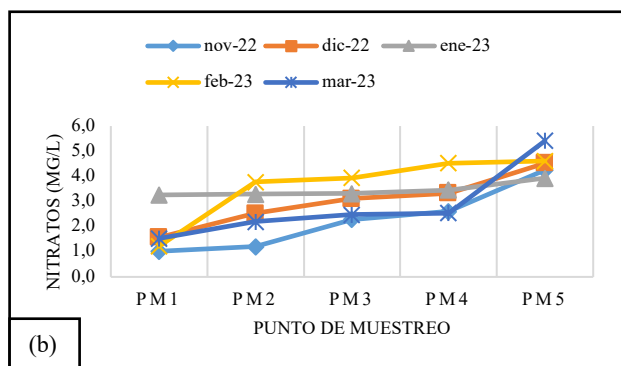
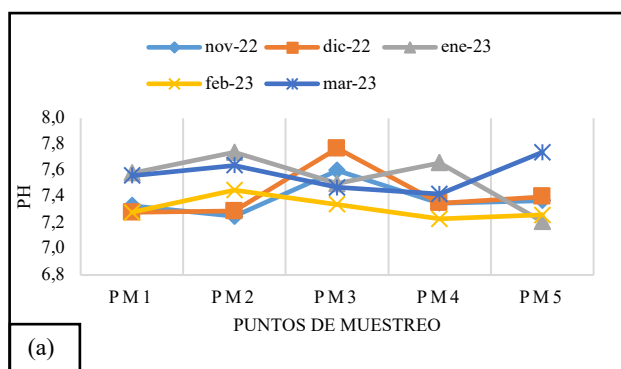


Gráfico 3. Variaciones espaciotemporales de (a) pH, (b) nitratos, (c) DBO5, (d) oxígeno disuelto y (e) fosfatos.

Parámetro microbiológico de coliformes fecales

En el gráfico 4, se aprecia el aumento de concentraciones de coliformes fecales desde las partes altas del río hacia sus partes bajas. El rango de coliformes fecales estuvieron entre 38 NMP a 2350 NMP. Las variaciones se explican a las actividades principalmente ganaderas en los alrededores de la cuenca del río y a la falta de redes de alcantarillado. En contraste en las zonas altas del río existe bajas concentraciones de coliformes fecales debido a la predominancia de bosques y vegetación arbustiva y herbácea. Valores entre 0 a 1000 NMP/100 ml son los máximos permisibles para que sea apto para riego agrícola, sin embargo, para este parámetro, no se cumple el criterio de calidad de agua.

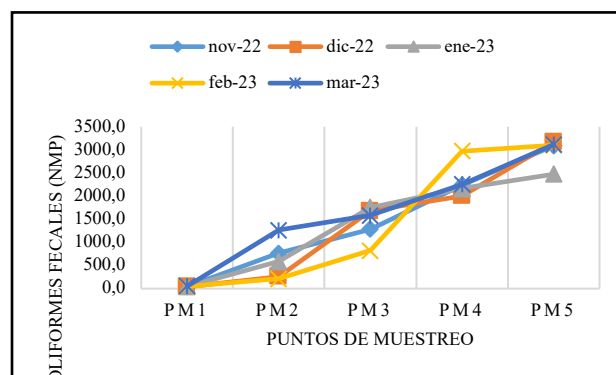


Gráfico 4. Variaciones espaciotemporales de coliformes fecales (NMP) en el río Cutuchi

Comparación de las concentraciones con la legislación vigente

Con base a la legislación ambiental acerca de la gestión integrada de recursos hídricos para prevenir el impacto del ambiente por contaminación de cuerpos de agua, se realizó la comparativa de los análisis de laboratorios de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los cinco puntos de muestreo, con los límites permisibles de

exposición para la protección de fauna y flora acuática, así como para uso y consumo doméstico.

Los valores máximos permisibles para turbiedad es 100 (NTU), para SDT es de 1000 (mg/l), pH (6,5 – 8,5), nitratos (10 mg/l), DBO5 (20 mg/l), coliformes (1000 NMP/100 ml). En el cuadro 6, se presentan los valores (media aritmética) de cada parámetro por cada punto de muestreo a lo largo del periodo de estudio.

Cuadro 6. Puntos de muestreo fuera de los límites permisibles (negrita) para protección de diversidad de agua dulce (Los valores representan la media aritmética a lo largo del periodo de estudio (Nov 2022 a Abr 2023))

Parámetro	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
Turbiedad	40,6	96,3	137,5	146,7	180,2
SDT	291,6	423,0	590,2	709,6	908,1
pH	7,4	7,5	7,5	7,4	7,4
Nitratos	1,7	2,6	3,0	3,3	4,5
DBO5	10,3	22,1	31,7	44,4	55,7
Coliformes	44,8	620,3	1424,6	2327,0	3115,5

Se evidencia que las concentraciones de SDT, pH y nitratos en todos los puntos de muestreo a lo largo del gradiente del río Cutuchi en el periodo de estudio analizado se encuentran dentro del rango normal permisible para la protección de la fauna y flora acuática de agua dulce. Sin embargo, las concentraciones de turbiedad, DBO5 y coliformes fecales se encuentran fuera del rango permisible, especialmente a partir del punto de muestro 3 hacia el 5; es decir, en las zonas medias a bajas del río Cutuchi. Para un análisis más representativo se evaluó el promedio del ICA-NSF en cada uno de los puntos de muestreo comparadas entre si durante toda la campaña de muestreo.

Cuadro 7. Promedio del ICA-NSF para los puntos de muestreo

Punto de muestreo	ICA-NSF promedio	clasificación NSF
PM1	61,0	Regular
PM2	48,9	Mala
PM3	42,3	Mala
PM4	46,8	Mala
PM5	46,2	Mala

El índice de calidad ICA-NSF presentó valores catalogados como regular en el PM1 con un valor promedio de 61,0 y mala para los puntos de muestreo restantes, con valores en entre 42,3 a 48,9.

CONCLUSIONES

La caracterización del río Cutuchi en su sector industrial en la parte norte del cantón Latacunga dio a conocer que presenta una forma ligeramente ensanchada, redonda a oval redonda y que debido a ello tiene una tendencia a

concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento y no está propenso a inundaciones. Por otro lado, el sistema de drenaje que posee es catalogado como adecuado presentando un moderado grado de infiltración y debido a su pendiente baja es apta para vegetación arbustiva/herbácea y tierras agropecuarias (pastos principalmente). En la comparativa de los análisis de las muestras con la legislación ambiental vigente (TULSMA) se dio a relucir el incumplimiento durante toda la campaña de muestreo para los puntos de muestreo 3, 4 y 5 especialmente para los parámetros de turbiedad, DBO5 y coliformes, los cuales mostraron valores máximos promedios de 180,2 NTU, 55,7 mg/l y 3115,5 NMP/100 ml, respectivamente. Esto obedeció a la presencia de altas precipitaciones particularmente en los meses de febrero y marzo del 2023, que fue arrastrando material orgánico de las actividades productivas agropecuarias e industriales que a medida que avanza aguas abajo se evidencia una menor calidad de agua. El índice de calidad ICA-NSF mostró valores catalogados como regular en la parte alta del río y mala para los demás puntos de muestreo. Estos índices dan cuenta de que el agua del río Cutuchi no cumple con los criterios de calidad para conservación de la diversidad de fauna y flora acuática ni tampoco para riego o consumo humano. Especialmente en la parte media y baja del río.

Este estudio recomienda urgentemente que se realicen propuestas de manejo y gestión de la calidad del agua a lo largo del gradiente del río Cutuchi y con ello poner en marcha acciones de mantenimiento, descontaminación y recuperación de las riberas del río. Finalmente, se insta a realizar proyectos de intervención en este recurso hídrico y trabajar mancomunadamente con los Gobiernos Parroquiales y Municipales a fin de mantener y restaurar las distintas zonas del río, realizando monitoreos y análisis fisicoquímicas y microbiológicas frecuentes con el apoyo y financiamiento local o internacional.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, M. R., Vanegas, E. A., García, N. 2016. Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 25(2):39-43.
- Alfaro-Sandí, J., Piedra-Marín, G., Saravia-Arguedas, A., Piedra-Castro, L. 2021. Evaluación de los parámetros físicos y químicos del agua de mar en los alrededores de la Isla Uvita, Limón, Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha. 34(2): 88-95. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4985>
- Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., Da'na, D. A. 2019. Produced water characteristics, treatment, and reuse: A review. Journal of Water Process Engineering. 28: 222-239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>.

- Brown, R. (1970). A water quality index – Do we dare?, Water Sewage Works 11, 339-343.
- Caicedo, M. D., Cabrera, E., Zambrano, X. A., Rodríguez, M. E., Intriago, P. E. 2021. Estudio de características morfológicas de la cuenca “Cañitas” y su relación con el riesgo de inundaciones repentinas. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores. 8(SPE2). DOI: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2605>
- Carrera-Molina, D., Parra, G., Marín, K., Herrera, R. 2017. Determinación y cálculo del volumen de agua producido por la sub-cuenca del río Cutuchi del Cantón Latacunga mediante Teledetección. UTCiencia. 3(2):144-153.
- Castillo, J. G., Chimbo, J. E. 2021. Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. Enfoque UTE. 12(2): 80-99. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Chang, J.V. 2009. Índices de calidad del agua—Ica. Tesis. Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. ESPOL. Guayaquil. EC. p 89.
- Coello, J., Ormaza, R., Déley, Á., Recalde, C., Ríos, A. 2013. Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuíña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. 16(31): 1-10. DOI: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v16i31.11281>
- Falkenmark, M. 2018. Shift in Water Thinking Crucial for Sub-Saharan Africa’s Future. En A. K. Biswas, C. Tortajada, & P. Rohner (Eds.), Assessing Global Water Megatrends (pp. 147-177). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6695-5_9
- Fecteau, K. M., Boyd, E. S., Lindsay, M. R., Amenabar, M. J., Robinson, K. J., Debes II, R. V., Shock, E. L. 2022. Cyanobacteria and Algae Meet at the Limits of Their Habitat Ranges in Moderately Acidic Hot Springs. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 127(1): e2021JG006446. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021JG006446>
- Gil, J. A., Vizcaino, C. del V., Montañó, N. J. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. Anales Científicos. 79(1): 111-119.
- Intriago, J. B., Quiroz, L. S. 2021. Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la contaminación. Polo del Conocimiento: Revista científico – profesional. 6(6): 1172-1195.
- Khilchevskiy, V., Karamushka, V. 2020. Global Water Resources: Distribution and Demand. En W. Leal Filho, A. M. Azul, L. Brandli, A. Lange Salvia, & T. Wall (Eds.), Clean Water and Sanitation (pp. 1-11). Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_101-1
- Mladenović-Ranisavljević, I. I., Žerajić, S. A. 2018. Comparison of different models of water quality index in the assessment of surface water quality. International Journal of Environmental Science and Technology. 15(3): 665-674. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1426-8>
- Méndez-Gutiérrez, A. G., Corral-Rivas, S., Nájera-Luna, J. A., Cruz-Cobos, F., Pompa-García, M. 2021. Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. Terra Latinoamericana. 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.641>
- Muñoz, H. A. C. 2020. Análisis de los parámetros de calidad del agua del efluente del río muerto para su posible reutilización del Cantón Manta, Ecuador. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 5(2):579-604.
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., Abyaneh, M. R. 2019. A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. Environmental Pollution. 244: 575-587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.076>
- Oliveira, M. D. de, Rezende, O. L. T. de, Fonseca, J. F. R. de, Libânio, M. 2019. Evaluating the surface Water quality index fuzzy and its influence on water treatment. Journal of Water Process Engineering, 32: 100890. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100890>
- Osorio-Ortega, M. A., García-González, J., Saquicela-Rojas, R. A., Cadme, M. L. 2021. Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Ingeniería del agua, 25(2), 115-126. DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. 2019. Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., Zambrano, J. 2018. Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. Enfoque UTE. 9(2): 89-105. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>

- SENAGUA. 2009. Informe de rendición de cuentas. Quito-Ecuador. 10-19 p. Secretaría Nacional del Agua.
- Soto, C., Reina, E. 2012. Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del río Coca. Estudio técnico: DNCA – DHN – 12 – 01. Coca, Ecuador: Secretaría Nacional del Agua.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. 1968. Determination of reactive nitrite, in: A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. 167: 71–75.
- Tello, L. L. G., Trinchet, K. C., Arias, J. P. S., García, M. B. 2019. Enfoque Bioético en la gestión de las políticas ambientales para la conservación del río Cutuchi, Cotopaxi, Ecuador. Revista Científica Agroecosistemas. 7(1): 146-153. DOI: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/259>.
- Xiao, L., Zhang, Q., Niu, C., Wang, H. 2020. Spatiotemporal Patterns in River Water Quality and Pollution Source Apportionment in the Arid Beichuan River Basin of Northwestern China Using Positive Matrix Factorization Receptor Modeling Techniques. International Journal of Environmental Research and Public Health. 17(14): 5015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17145015>.
- Yumbo, K., Iler, V., Espinoza, W., Campos, D., Castro, R., & Chirinos, D. 2018. Determinación de la Calidad de Aguas Mediante Indicadores Biológicos y Físicoquímicos en el Río Paján, Manabí, Ecuador. *INVESTIGATIO*, 10, 32-40. DOI: <https://doi.org/10.31095/irr.v0i10.184>