

# Vegetación riparia y la calidad del recurso hídrico en la zona centro del litoral Ecuatoriano

## Riparian vegetation and the quality of water resources in the central zone of the Ecuadorian coast

Betty Beatriz González-Osorio<sup>1</sup> , Lourdes Marola Saá-Yáñez<sup>1</sup> , Luis Fernando Simba-Ochoa<sup>1</sup> , Roberto Barragán-Monroy<sup>1</sup>  y María Lorena Cadme-Arevalo<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Proyecto de investigación, FOCICYT-UTEQ. Avenida Quito, km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>‡</sup> Autora para correspondencia (bgonzalez@uteq.edu.ec)

Editor de Sección: Dr. Fernando Abasolo Pacheco

### RESUMEN

La vegetación riparia juega un rol importante en la reducción de la entrada de contaminantes a los cuerpos hídricos. La disponibilidad de agua en Ecuador es amplia, sin embargo, áreas rurales están sin acceso a agua de calidad y la expansión agrícola reduce la vegetación riparia. El objetivo es evaluar la calidad del recurso hídrico influenciado por la vegetación riparia en el área rural del cantón Mocache en Ecuador. Se empleó el método cuantitativo. Se analizaron 8 parámetros físicos, químicos y microbiológicos en 12 puntos de muestreo con y sin vegetación. Se contrastaron las concentraciones con estándares nacionales (Tulsma) e internacionales, Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (OMS y EPA). Se aplicó dos índices de calidad de agua (ICA), Dinius (1978) y NSF (1972). Los resultados demostraron alta concentración de sólidos suspendidos totales en áreas sin vegetación (52.00 mg L<sup>-1</sup>) y el agua no cumple con el estándar para uso agrícola de la EPA. La contaminación fecal es extremadamente alta, la máxima concentración de coliformes fecales es 1 538.00 NMP.100ml<sup>-1</sup> en áreas con vegetación y 23 493.33 NMP.100ml<sup>-1</sup> para coliformes totales en sitios sin flora. Los ICA mostraron diferencias en su evaluación de calidad, Dinius categoriza el agua entre regular a excelente, mientras que NSF de mala a regular. Los recursos hídricos poseen contaminación

fecal y representa un riesgo para el consumo humano. Así mismo, se determinó que la vegetación riparia no influye en la calidad del agua ( $P > 0.05$ ).

**Palabras claves:** contaminación, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, recurso hídrico.

### SUMMARY

Riparian vegetation plays an important role in reducing the input of pollutants into water bodies. Water availability in Ecuador is plenty, however, rural areas are without access to quality water and agricultural expansion reduces riparian vegetation. The aim is to assess the quality of the water resource influenced by riparian vegetation in the rural area of the canton Mocache in Ecuador. The quantitative method was used. Eight physical, chemical and microbiological parameters were analysed at 12 sampling points with and without vegetation. Concentrations were compared with national (Tulsma) and international, World Health Organization, and United States Environmental Protection Agency (WHO and EPA) standards. We applied two water quality index (WQI), such as Dinius (1978) and NSF (1972). The results indicate a high concentration of total suspended solids in unvegetated areas (52.00 mg L<sup>-1</sup>) and the water does not meet the EPA standard for agricultural use. Faecal contamination is extremely high, the maximum concentration of

#### Cita recomendada:

González-Osorio, B. B., Saá-Yáñez, L. M., Simba-Ochoa, L. F., Barragan-Monroy, R. y Cadme-Arevalo, M. L. (2022). Vegetación riparia y la calidad del recurso hídrico en la zona centro del litoral ecuatoriano. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. e1070. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1070>

Recibido: 11 de noviembre de 2021. Aceptado: 18 de enero de 2022.

Artículo. Volumen 40, noviembre de 2022.

faecal coliforms is 1 538.00 NMP.100ml<sup>-1</sup> in areas with vegetation and 23 493.33 NMP.100ml<sup>-1</sup> for total coliforms in sites without flora. The WQIs showed differences in their quality assessment, Dinius characterized the water as regular to excellent while NSF as poor to regular. The water resources have faecal contamination and represent a risk for human consumption. Likewise, riparian vegetation does not influence water quality ( $P > 0.05$ ).

**Index words:** *pollution, physico-chemical and microbiological parameters, water resources.*

## INTRODUCCIÓN

La deforestación de la vegetación riparia constituye un problema ambiental de especial interés en la protección y conservación de los ecosistemas hídricos. La introducción de una agricultura intensiva en las zonas aledañas a los cuerpos de agua causa disminución en la biodiversidad, particularmente en los trópicos, donde el cambio de bosques hacia monocultivos crece a pasos agigantados (Cornejo *et al.*, 2020). La vegetación riparia es un proveedor de servicios ecosistémicos, de la calidad biológica y un componente clave en la hidromorfología (González-Del Tánago *et al.*, 2021; Guerra-Hernández, Cruz y Etchevers, 2021). La importancia de la vegetación riparia sobre los recursos hídricos radica en la remoción de contaminantes químicos, sedimentos, nutrientes y disminuir los procesos de escorrentía que causan impactos sobre la calidad del agua (Baharudin, Kassim, Imran y Wahab, 2021).

El decrecimiento de la vegetación riparia en conjunto con la calidad del agua es influenciado por la creciente explotación de los recursos naturales, agua y suelo, con fines de consumo humano y agrícola. Ecuador posee un amplio marco jurídico de regulación del agua que ampara dar autorizaciones para su consumo como también en garantizar la seguridad hídrica, sin embargo, su control y monitorización resulta complejo. Además, existen diversos estudios en Ecuador que han identificado niveles de contaminación en los ríos y dentro de sus principales fuentes de contaminación esta la agricultura, deforestación y aguas residuales (Donoso y Rios-Touma, 2020; Villa-Achupallas, Rosado, Aguilar y Galindo, 2018; Voloshenko-Rossin *et al.*, 2015; Wingfield, Martínez, Quiroga y Ochoa, 2021).

A pesar de estos estudios, el número de investigaciones asociadas a la calidad del agua y la vegetación riparia es escaso.

La vegetación riparia y la calidad del agua son objetivos relevantes en el desarrollo sostenible de los ecosistemas terrestres pero muy poco estudiadas en conjunto. La literatura destaca frecuentemente que la vegetación riparia preserva la calidad del agua ya que actúa en las propiedades químicas del mismo y es un agente para la mitigación de la contaminación (Dosskey *et al.*, 2010). En consecuencia, la identificación de la condición ambiental del agua requiere de una sistemática monitorización y evaluación, tanto en cantidad como de calidad (EPA, 2018; WHO, 2017). La calidad del agua es medida a través de sus parámetros físico, químicos y microbiológicos, y su desequilibrio podría tener efectos nocivos en los consumidores (Alsalmeh, Al-Zaqri, Ullah y Yaqub, 2021). Múltiples estudios seleccionan diversos parámetros de calidad de agua conforme a los objetivos y el área de estudio. Sin embargo, parámetros como temperatura (T), potencial de hidrogeno (pH), sólidos suspendidos totales (SST), cloruros (Cl<sup>-</sup>), (Nitratos), (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) y el grupo coliformes son esenciales en la evaluación del agua afectada por actividades agrícolas y contaminación doméstica (Sánchez-Salazar, Arboleda, Rivera y Valle, 2014; Seo, Lee y Kim, 2019; Zotou *et al.*, 2018).

Los parámetros físico, químico y microbiológico ayudan a identificar los problemas en los ecosistemas hídricos. Por ejemplo, los SST están asociados a la presencia de materia orgánica y a la mezcla de sustancias en el agua dado por la escorrentía, flujos terrestres, erosión y deslizamientos. El pH es un poderoso indicador de la calidad del agua (Sánchez *et al.*, 2014; Seo *et al.*, 2019; Ustaoğlu, Tepe y Taş, 2020). Las variaciones en cloruros se asocian a la contaminación antropogénica y agrícola, mientras que nitratos y cloruros están altamente correlacionadas con la magnitud y extensión del uso del estiércol de ganado y las infiltraciones del suelo (Dugan *et al.*, 2020; Kohn *et al.*, 2016). La presencia de fosfatos se debe a los fertilizantes y son indicadores de la eutrofización del agua (Pérez *et al.*, 2019). Los coliformes fecales (CF) y coliformes totales (CT) son indicadores de contaminación microbiológica y alcanzan los cuerpos de agua mediante la escorrentía agrícola, aguas residuales humanas, heces de animales domésticos y silvestres y resuspensión de los lechos de los arroyos (Jeon *et al.*, 2019).

Estudios en Ecuador y a nivel internacional emplean principalmente índices de calidad de agua (ICA) (Torres, Cruz, Patiño, Escobar y Pérez, 2010; Villa-Achupallas *et al.*, 2018; Zotou *et al.*, 2018). La aplicación de ICA constituye una metodología capaz de integrar gran cantidad de concentraciones de calidad de agua medidas en un tiempo y lugar específico. Los ICA emplean diferentes metodologías y sus resultados varían, por ejemplo, un análisis comparativo de ICA mostró discrepancias, dando muy buena calidad del agua mediante el ICA NSF y Bhargava, mientras que mediana calidad con Prati y Dinius, y muy baja calidad para CCME y Oregon (Zotou *et al.*, 2018). La finalidad de los ICA es proveer un puntaje y descripción del estatus actual del recurso hídrico, que va desde excelente a mala calidad, cuyo resultado es fundamental en gestión del agua (Bhuiyan *et al.*, 2013).

La disponibilidad y la calidad del recurso hídrico en Ecuador son condicionadas por la ubicación geográfica. El volumen de agua per cápita es el triple del promedio internacional (22 929 m<sup>3</sup> por persona al año), donde solo el 68% de la población tiene acceso a agua de alta calidad y segura para el consumo humano. Las poblaciones rurales y agricultores de este país ingenian medios muy complejos para manejar la escasez de agua en época seca e intensificar los rendimientos agrícolas, especialmente en la provincia de Los Ríos (Fresco, 2003; Nieto, Pazmiño, Rosero y Quishpe, 2018). El cantón Mocache es un área rural agrícola que ha implementado un sin número de reservorios de agua, cuya finalidad es mantener en buen estado la producción agrícola y proveer agua a las poblaciones aledañas.

Los reservorios de agua están expuestos a la escorrentía que arrastra contaminantes químicos originarios por la actividad agrícola, disposición inadecuada de residuos sólidos y lixiviados provenientes de la contaminación doméstica. El 45% de los reservorios del cantón Mocache poseen barreras naturales, es decir, vegetación riparia que ayuda a revertir áreas degradadas en sistemas diversificados de producción y mantener especies nativas de la zona. Por lo tanto, ¿Por qué es necesario realizar un estudio de la calidad del agua de los reservorios con y sin vegetación riparia? Para identificar la eficiencia de la vegetación riparia sobre la calidad del agua. El objetivo de la investigación fue realizar una evaluación físico, químico y microbiológica de la calidad del recurso hídrico influenciado por la vegetación riparia en el área rural del cantón Mocache, en Ecuador.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de Estudio

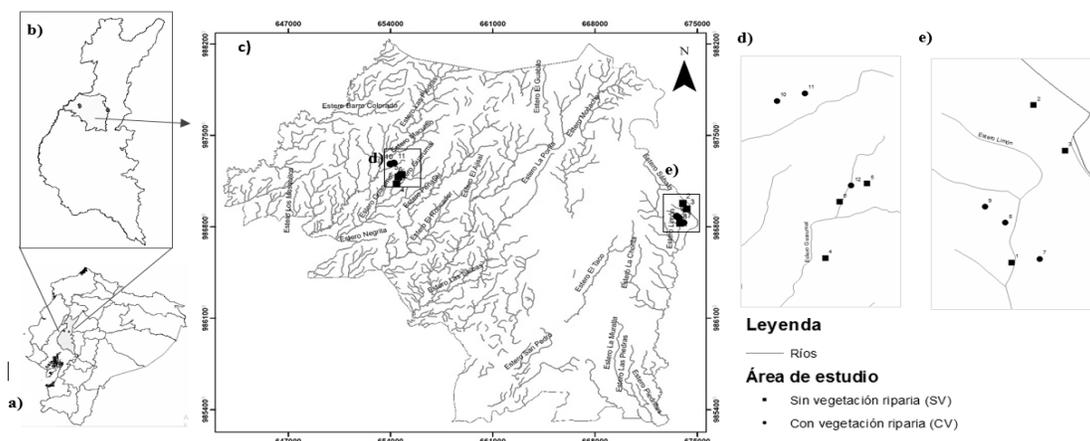
La investigación se desarrolló en reservorios de agua del área rural agrícola del cantón Mocache, provincia de Los Ríos en Ecuador. Se seleccionaron 12 reservorios de agua con y sin vegetación riparia, agrupados en tres asociaciones “La R”, “Bijagual” y “Lechugal” (Figura 1). La topografía del terreno es ondulada, ubicado a 50-150 m de altitud con una superficie de 567.99 km<sup>2</sup>. Estos cuerpos de agua constituyen la microcuenca hidrográfica de los esteros Maculillo y Guarumal. Las características climáticas promedio anual son 26.7 °C de temperatura, 87.5% de humedad relativa y 3 012.1 milímetros de precipitaciones (INAMHI, 2016).

### Diseño de Muestreo de la Calidad del Agua

La etapa de muestreo se realizó en función de los procedimientos establecidos en la norma NTE INEN 2226:2013 para la calidad del agua, muestreo y diseño de los programas de muestreo. La primera etapa consistió en la identificación del sitio y la toma de coordenadas geográficas de los cuerpos hídricos. En la segunda fase se identificaron las características del flujo, aguas estáticas sin tributarios que se interconecten al cuerpo hídrico y se observó que no hubo cambios composicionales en el agua, el diseño de muestreo consistió en 48 muestras compuestas en 12 sitios, con una frecuencia de 2 tiempos durante el día, a las 06:00 am y a las 18:00 pm con una repetición de dos muestras por cada tiempo de muestreo. En la campaña de muestreo se identificó por el método de observación que los cuerpos hídricos están influenciados por las actividades agrícolas y la presencia de asentamientos humanos que carecen de sistemas de alcantarillado y usan el agua para solventar sus necesidades de acceso al agua potable (NTE INEN 2226:2013, 2013c).

### Técnica de Muestreo del Agua

En cada fase de muestreo se utilizaron envases de polietileno de alta densidad en las determinaciones físicas y químicas conforme lo establecido en la norma NTE INEN 2176:2013 de técnicas de muestreo. Se colectaron 500 ml de muestras de agua para los parámetros físico químico y 30 ml en envases



**Figura 1.** Mapa de los reservorios de agua con y sin vegetación riparia. a) Localización del área de estudio en el mapa del Ecuador. b) Provincia de Los Ríos. c) El cantón Mocache con los puntos de muestreo de agua y los afluentes en su alrededor. d) y e) Puntos de muestreo de agua. CV = con vegetación riparia; SV = sin vegetación riparia.

**Figure 1.** Map of water reservoirs with and without riparian vegetation. a) Location of the study area on the map of Ecuador. b) Province of Los Ríos. c) The canton of Mocache with the water sampling points and the tributaries around it. d) and e) Water sampling points. CV = water with vegetation; SV = water without vegetation.

esterilizados para los análisis microbiológicos siguiendo los protocolos de la norma NTE-INEN-1105:1983 y se aplicaron las técnicas de manejo y conservación de las muestras de la norma NTE INEN 2169:2013 (NTE INEN 1105:1983, 2012; NTE INEN 2169:2013, 2013a; NTE INEN 2176:2013, 2013b).

### Análisis de las Concentraciones de Calidad de Agua

La calidad del agua se midió a través de las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Las concentraciones fueron determinadas en el laboratorio de calidad del agua del grupo químico Marcos. Se analizaron 8 parámetros de agua, entre ellos son, físicos (temperatura T y sólidos suspendidos totales SST), químicos (pH, cloruros  $\text{Cl}^-$ , nitratos  $\text{NO}_3^-$  y fosfatos  $\text{PO}_4^{3-}$ ) y microbiológicos (coliformes fecales CF y total CT). Los parámetros de temperatura y pH fueron medidos *in-situ* en los cuerpos de agua (González, Caicedo y Aguirre, 2013).

### Evaluación del Nivel de Contaminación del Agua

Los niveles de contaminación se analizaron acorde a los límites permisibles de calidad de agua. Se realizó un análisis de comparación entre el promedio de las concentraciones físico, químico y microbiológico con los límites permisibles de la normativa ambiental del

Ecuador Tulsma, Libro sexto, anexo uno e internacional como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), tanto para aguas de consumo humano y agropecuario (EPA, 2018; Wingfield *et al.*, 2021; WHO, 2017). Se utilizó la tabla de categorización de riesgos de contaminación por *E. Coli* y coliformes fecales de la OMS, que clasifica como riesgo bajo ( $1 < 10/100 \text{ mL}$ ), riesgo intermedio ( $10 < 100/100 \text{ mL}$ ), riesgo alto ( $100 < 1000/100 \text{ mL}$ ) y riesgo muy alto ( $> 1000/100 \text{ mL}$ ), (Mahmud *et al.*, 2019). En las normativas de agua no se han establecido estándares para los parámetros de fosfatos y coliformes totales medidos en este estudio (Cuadro 1).

### Índices de Calidad de Agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) permite dar un criterio de la calidad del recurso hídrico. La selección de los ICA se realizó en función de previos estudios en aguas superficiales, según la característica de la actividad antrópica que rodea a los cuerpos hídricos, las variaciones en el criterio de calidad que dan diferentes puntuaciones ICA y por último se consideraron los parámetros de calidad de agua que utilizan los ICA (Castro, Almeida, Ferrer y Díaz, 2014; González *et al.*, 2013; Villa-Achupallas *et al.*, 2018; Zotou *et al.*, 2018). La calidad de agua se determinó mediante dos ICA para tener un mejor criterio del status del agua.

**Cuadro 1. Estándares de concentraciones de calidad de agua.**  
**Table 1. Concentration standards of the water quality.**

Criterio	Estándares de calidad de agua
Agua para consumo humano	<i>TULSMA</i> : pH (6-9), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (50 mg L <sup>-1</sup> ), CF (1000 NMP.100ml <sup>-1</sup> ) <i>OMS</i> : pH (6.5 – 8.5), NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (50 mg L <sup>-1</sup> ), CF (0.00 NMP.100ml <sup>-1</sup> )
Agua para uso agrícola	<i>TULSMA</i> : pH (5), CF (1000 NMP.100ml <sup>-1</sup> ) <i>EPA</i> : SST (5.0 mg L <sup>-1</sup> ), pH (6.0 – 9.0), CF (0.00 NMP.100ml <sup>-1</sup> )

Las metodologías son el índice norteamericano Dinius del año 1978 y el ICA de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF, por sus siglas en inglés) de los EEUU de 1972. Se empleó la siguiente ecuación con sus respectivos pesos ponderados establecidos en cada metodología y descritos en (Abbasi y Abbasi, 2012; González *et al.*, 2013).

$$ICA (NSF, Dinius) = \left( \prod_{i=1}^n Q_i \right)^{w_i} \quad (1)$$

Donde, n = número de parámetros; Q<sub>i</sub> = Escala de calidad; i es el sub-índice del parámetro; W<sub>i</sub> = Peso ponderado asignado al parámetro i. Se emplearon clase de valores para determinar la calidad del agua (Cuadro 2), (Baque-Mite *et al.*, 2016; Castro *et al.*, 2014; Effendi, Romanto y Wardiatno, 2015; González *et al.*, 2013).

### Análisis de la Influencia de la Vegetación

La influencia de la vegetación sobre el recurso hídrico se analizó mediante análisis estadístico paramétrico y no paramétrico. Se empleo Mann–Whitney–Wilcoxon y el t-student conforme al análisis de distribución normal de los datos evaluado por medio de Shapiro-Wilk W. Los programas estadísticos usados en combinación son Minitab 18.1 (Minitab, 2017) y Past 3.22 (Hammer, Harper y Ryan, 2001).

**Cuadro 2. Pesos ponderados y criterios de calidad del agua.**  
**Table 2. Weights of the water parameters and quality criteria.**

ICAs	Pesos ponderados	Puntuación ICA
Dinius (1978)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0.090), T (0.077), pH (0.077), CF (0.116), CT (0.090), Cl <sup>-</sup> (0.074).	Excelente (91-100); Buena (81-90); Regular (51-80); Mala (41-50); Muy mala (0-40)
NSF (1972)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0.10), T (0.10), pH (0.12), CF (0.15), PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (0.10)	Excelente (91-100); Buena (71-90); Regular (51-70); Mala (26-50); Muy mala (0-25)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros de Calidad del Agua

La calidad de los recursos hídricos entre los reservorios con y sin vegetación riparia mostró diferencias en las concentraciones físico, químico y microbiológicos del agua (Cuadro 3). Los cuerpos de agua con vegetación riparia tuvieron una T promedio de 27.17 °C, SST con 3.33 mg L<sup>-1</sup>, pH 7.33, Cl<sup>-</sup> con 2.24 mg L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> con 2.81 mg L<sup>-1</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> con 1.35 mg L<sup>-1</sup>. Los parámetros microbiológicos como coliformes fecales y totales tuvieron altas concentraciones de 1 538.00 NMP.100ml<sup>-1</sup> y 20 658.77 NMP.100ml<sup>-1</sup>. Las concentraciones de los recursos hídricos sin cobertura vegetal riparia tuvieron variaciones con los reservorios cubiertos por vegetación. La T tuvo un promedio de 27.67 °C, las concentraciones de SST fueron más alta que las áreas sin vegetación con 52.00 mg L<sup>-1</sup>, un pH más básico con 6.50, Cl<sup>-</sup> ligeramente más alto con 2.92 mg L<sup>-1</sup>; y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> con PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> fueron más bajos con 1.91 mg L<sup>-1</sup> y 0.96 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. El aspecto microbiológico permitió contrastar que las concentraciones de CF fueron más bajas que los reservorios con vegetación con 646.66 NMP.100ml<sup>-1</sup>, mientras que CT fue mucho más alto con 23 493.33 NMP.100ml<sup>-1</sup>. Las concentraciones físico, químico

**Cuadro 3. Concentraciones de calidad de agua con y sin vegetación riparia.**  
**Table 3. Water quality concentrations with and without riparian vegetation.**

Variable ambiental	Unidad de medida	Concentraciones		p-valor
		CV	SV	
Temperatura (T)	°C	27.17	27.67	0.36*
Solidos Suspendedos Totales (SST)	mg L <sup>-1</sup>	3.33	52.00	0.17*
pH	---	7.33	6.50	0.34*
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	2.24	2.92	0.92*
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	2.81	1.91	0.72*
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg L <sup>-1</sup>	1.35	0.96	0.39*
Coliformes Fecales (CF)	NMP.100ml <sup>-1</sup>	1 538.00	646.66	0.37*
Coliformes Totales (CT)	NMP.100ml <sup>-1</sup>	20 658.77	23 493.33	0.81*
p-valor (Mann–Whitney–Wilcoxon)	-----	0.89*	----	----

CV = con vegetación riparia; SV: sin vegetación riparia.

CV = riparian vegetation; SV = sin vegetación riparia.

y microbiológico de los cuerpos de agua con y sin vegetación no poseen diferencias significativas ( $P > 0.05$ ).

El origen de los altos niveles de contaminación en los cuerpos hídricos superficiales es causado por varios factores antrópicos que son independientes a la cobertura vegetal. Según Wingfield *et al.*, (2021), indica que los cambios de uso de suelo y las cambiantes prácticas agrícolas en Ecuador causan deforestación en la vegetación natural y con ello afecta la calidad del agua para la agricultura (Wingfield *et al.*, 2021). Como antecedente se puede citar que el estudio del río Aliakmon en Grecia determinó que los puntos de contaminación focal y difusa se deben a las actividades de ganadería, agricultura, recreación y al desecho de las aguas residuales municipales no tratadas dentro de los cuerpos hídricos (Zotou *et al.*, 2018). Las diversas fuentes de contaminación en los recursos hídricos provocan la reducción de la vegetación riparia convirtiéndose en una variable independiente que no cumple un rol efectivo para contrarrestar la contaminación, ya que su principal función es detener la entrada de contaminantes (Villa-Achupallas *et al.*, 2018; Voloshenko-Rossin *et al.*, 2015; Wingfield *et al.*, 2021).

La contaminación fecal y los sólidos suspendidos totales son el principal problema ambiental en los cuerpos hídricos con y sin vegetación riparia. Los reservorios con ausencia de vegetación tuvieron mayores concentraciones de SST (52.00 mg L<sup>-1</sup>) y se debe al flujo de escorrentía que causa erosión en las laderas y arrastra residuos de los terrenos agrícolas

ubicados al lado de la fuente de agua. La evaluación al río Turnasuyu categoriza como concentración alta a 11.89 mg L<sup>-1</sup> de SST que es causada por la agricultura y la contaminación doméstica (Ustaoğlu *et al.*, 2020). En el estudio de desafíos para la gestión del agua en Ecuador, se resalta que la reforestación y la vegetación natural cerca de las riberas de los ríos ayudan a reducir el flujo de materiales hacia los cuerpos de agua ya que intervienen en la tasa de escorrentía (Nieto *et al.*, 2018).

En relación a las bacterias del grupo coliformes se identificó que tuvieron concentraciones muy altas en ambas clases de reservorios. Los CF se encuentran en 1 538 NMP.100ml<sup>-1</sup> y 646.66 NMP.100ml<sup>-1</sup>, mientras que los CT poseen las más altas concentraciones por 20 658.77 NMP.100ml<sup>-1</sup> y 23 493.33 NMP.100ml<sup>-1</sup>. Estas concentraciones de coliformes resultan interesantes al comparar con concentraciones del río Nakdong ubicado al sur de Corea del Sur, donde el máximo de CT es de 333 NMP.100ml<sup>-1</sup> y CF por 980 NMP.100ml<sup>-1</sup>. Según el estudio de relación entre las bacterias coliformes y los factores de calidad del agua en el río Nakdong demostraron que altas concentraciones fueron causadas por la contaminación difusa que traen las lluvias y las altas temperaturas de la época (Zotou *et al.*, 2018). Las temperaturas en este estudio superan los 27 °C, el cual proporciona una condición ambiental adecuada para los coliformes. Acorde a un análisis de Spearman hecho en acuíferos de Colombia identificaron una correlación positiva entre los coliformes fecales y temperatura con  $p$ -valor  $< 0.0001$ , lo que indica la característica termotolerantes de este grupo de microorganismos (Alsalmé *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2014).

## Cumplimiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y Uso Agrícola

Los niveles de contaminación del agua se evalúan por medio del cumplimiento de estándares de calidad de agua, expresados como límites permisibles. Se consideró la normativa ambiental del Ecuador (Tulsma) e internacionales como la OMS y EPA. Los valores de pH se encuentran dentro de los umbrales de aceptación para consumo humano, entre 6-9, y para uso agrícola no cumplen con el estándar requerido del Tulsma (pH=5). El pH de los cuerpos hídricos cumple los límites permisibles de la OMS y EPA. Las concentraciones de SST en los cuerpos hídricos sin vegetación no cumplen con el límite máximo de la EPA ( $5.0 \text{ mg L}^{-1}$ ) para uso agrícola debido a su alta concentración ( $52.00 \text{ mg L}^{-1}$ ). Los niveles de  $\text{NO}_3^-$  en los reservorios con y sin vegetación riparia cumplen con el criterio para consumo humano del Tulsma y OMS ( $<50 \text{ mg L}^{-1}$ ). Los cuerpos hídricos con vegetación no cumplieron los límites permisibles de CF debido a su concentración de  $1\ 538.00 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ . Sin embargo, el agua sin vegetación riparia cumplió únicamente con la normativa Tulsma ( $1000 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ ) y bajo el criterio de la OMS y la EPA el agua posee contaminación fecal ( $>0.00 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ ). El agua de los reservorios con y sin vegetación representa un alto y muy alto riesgo de contaminación para el consumo humano debido a las concentraciones de CF mayores a  $646.66 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ . Además, no existen estándares de calidad para evaluar las concentraciones de  $\text{PO}_4^{3-}$  y CT en agua.

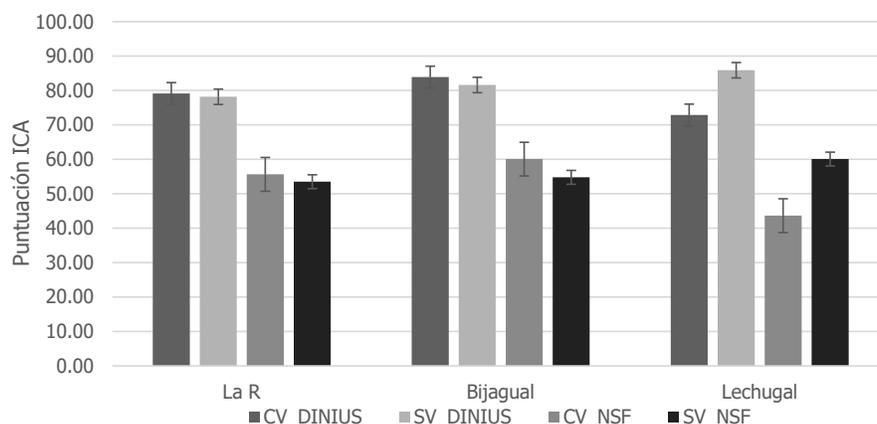
## Calidad del Agua

La valorización de la calidad de los recursos hídricos es evaluada con ICA para identificar las variaciones con y sin vegetación riparia del agua. El ICA Dinius nos dio como resultado un criterio de calidad de agua más aceptable que el ICA NSF, siendo más sensible NSF a las variaciones físico químico y microbiológico del agua. Los reservorios de agua con cobertura vegetal en sus alrededores tienen un criterio entre “regular a excelente” para el ICA Dinius, con puntajes de 79.09, 83.89 y 70.34 para las asociaciones La R, Bijagual y Lechugal, respectivamente. Mientras que los cuerpos de agua sin vegetación presentaron una mejor calidad, ya que dos asociaciones como Bijagual y Lechugal tuvieron valores altos de 81.59 y 85.89 siendo de buena calidad el agua. La asociación La R posee una calidad

regular con puntuación de 78.15. Según la aplicación de la metodología ICA NSF, demuestra que los cuerpos de agua con vegetación riparia mantienen puntajes de 55.64 (La R), 60.06 (Bijagual) y 43.65 (Lechugal) siendo de calidad “mala a regular” al igual que los cuerpos de agua sin vegetación, cuyos promedios son 53.51, 54.79 y 60.09, respectivamente (Figura 2). La evaluación del agua con ambos índices de calidad permitió identificar que el ICA NSF categoriza al agua entre “mala a regular” en comparación con Dinius, cuyos criterios van entre “regular a excelente”. El análisis estadístico t-student demostró que no existen diferencias significativas  $P > 0.05$  entre ambas áreas de estudio con y sin vegetación riparia en la calidad del agua.

Los criterios de calidad de los índices Dinius y NSF mostraron diferencias en la valorización de la calidad de agua. De acuerdo al análisis de los ICA en este estudio, se evidenció que Dinius provee un mejor criterio de calidad “regular a excelente” y NSF resultado ser más sensible a la contaminación “mala a regular”. Los resultados obtenidos en esta investigación no se asemejan con el análisis comparativo de ICA en los reservorios de agua del río Aliakmon en Grecia, donde el índice NSF da valores de calidad bajo, mientras que Dinius categoriza el agua en niveles mucho más bajos de calidad “Inaceptable” (Zotou *et al.*, 2018). Un estudio estadístico de calidad de agua realizado al sureste de Ecuador, en la zona tropical de los Andes, demostraron que los CF dan una muy baja calidad del agua, habiendo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) (Villa-Achupallas *et al.*, 2018). Otro estudio en Colombia explica que las variaciones en calidad con Dinius particularmente se dan por la influencia de las concentraciones de coliformes, aspecto interesante encontrado en esta investigación donde la calidad del agua en áreas sin vegetación fue ligeramente mejor debido a niveles más bajos de CF ( $646.66 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ ), aunque no existen diferencias significativas  $P > 0.37$  (Cuadro 3), (González *et al.*, 2013).

A pesar de la influencia de los coliformes sobre los resultados de ICA Dinius, el ICA NSF categorizó el agua en niveles de calidad más bajos debido al uso de los dos parámetros de coliformes (fecales y totales), cuyas concentraciones tienen un alto nivel de contaminación. Una de las posibles respuestas por la cual NSF categorizó en peores condiciones el agua se debe al empleo de las concentraciones de fosfatos. Estudios revelan que a mayor presencia del ión



**Figura 2. Calidad del recurso hídrico de las áreas rurales.** Las barras de error representan el error estándar (SE), CV = con vegetación riparia; SV = sin vegetación riparia. Dinius y NSF son índices de calidad de agua.

**Figure 2. Water quality in rural areas.** Error bars represent the standard error (SE); CV = riparian vegetation; SV = no riparian vegetation. Dinius and NSF are Water Quality Indices.

fosfato se incrementa el crecimiento y proliferación de las algas, las cuales al cumplir su ciclo biológico se descomponen, provocan hiperfertilización y agotan el oxígeno disuelto del agua afectando a la vida acuática (Mekonnen y Hoekstra, 2018). El contenido del fosfato en las tres asociaciones agrícolas varía de 1.35 y 0.96 mg L<sup>-1</sup>, los cuales están fuera de los valores recomendados de 0.01 a 1.00 mg L<sup>-1</sup> para agua potable. Sin embargo, las concentraciones de fosfatos varían su aceptabilidad de acuerdo a la normativa empleada. Por ejemplo, el estudio del río de Ciambulawung en Indonesia emplearon el ICA NSF, cuyos niveles de fosfatos cumplieron con el estándar  $\leq 0.2$  mg L<sup>-1</sup> y la calidad del agua es buena (Effendi *et al.*, 2015). Concentraciones altas en fosfatos están asociados a niveles de erosión del suelo y a nivel mundial la contribución de este mineral es dado principalmente por los fertilizantes con el 71%, estiércol 24% y sistemas de irrigación de agua 5%, cuyas actividades se evidencian en los alrededores de los cuerpos de agua en Mocache (Abbasi y Abbasi, 2012; Ustaoglu *et al.*, 2020).

### Influencia de la Vegetación en la Calidad del Agua

La vegetación riparia sobre los reservorios de agua superficial no influyó en la calidad del agua. El análisis estadístico t-student demostró que no existen diferencias significativas  $P > 0.05$  entre ambas áreas de estudio y el SE demostró poca dispersión de los datos

de calidad del agua con respecto a la media (Figura 2). Además, los valores de ICA son muy similares entre los dos grupos evaluados para cada índice, es decir, con y sin cobertura vegetal poseen la misma calidad, siendo regular a excelente para Dinius y de calidad mala a regular para NSF (Figura 2). Un caso similar sucede con la calidad del agua del río Yacuambi de la cuenca hidrográfica Amazónica del Ecuador que se caracteriza por ser de muy mala calidad, a pesar de estar protegida con el 60% de bosques nativos y el 44% de 57 000 ha del cantón Yacuambi conforman una reserva natural (Villa-Achupallas *et al.*, 2018). De igual forma, al norte del Ecuador en las aguas del río Guayllabamba posee una fuerte alteración de las propiedades del agua que se asocia a una degradación extrema de la vegetación riparia (Donoso y Rios-Touma, 2020). Existe poca evidencia estadística que evalúe la vegetación riparia con el agua, a pesar de ello, se identifica que áreas con degradación de cobertura vegetal poseen una calidad más pobre del agua.

Los resultados de la investigación son primicias que evidencian contaminación de aguas superficiales en Ecuador que son utilizadas para consumo humano y agrícola en las áreas rurales. La contaminación se debe principalmente por el grupo coliformes, SST y fosfatos. Las concentraciones físico, químico y microbiológico en conjunto con los valores de índices de calidad fueron insuficientes para determinar la influencia de la vegetación riparia sobre la calidad ( $P > 0.05$ ). Para proveer una mejor exactitud de la

calidad del agua con respecto a la cobertura vegetal se debería incluir en futuras investigaciones el índice de calidad de vegetación riparia (QBR), ampliar el número de muestras de agua y expandir el área de estudio (Donoso y Rios-Touma, 2020; Mahmud *et al.*, 2019; Villa-Achupallas *et al.*, 2018; Voloshenko-Rossin *et al.*, 2015). Además, existen pocos estudios realizados en aguas superficiales de Ecuador que empleen metodologías Dinius y NSF para caracterizar la calidad del agua.

## CONCLUSIÓN

En este estudio se evaluó la calidad del agua de los reservorios con y sin vegetación riparia. Las concentraciones físicas, químicas y microbiológicas y la calidad del agua no demostraron diferencias significativas en ambas áreas de estudio. Sin embargo, la literatura científica resalta la importancia de la cobertura vegetal para detener la contaminación hacia los ecosistemas hídricos. Dentro de los análisis, se identificó que los SST son altos en los cuerpos de agua sin vegetación riparia. Los recursos hídricos poseen contaminación fecal debido a las altas concentraciones de CF y CT. El agua de los cuerpos hídricos es inadecuada para el consumo humano y puede ser usada para la agricultura según la normativa del Ecuador, OMS y EPA. La valorización de la calidad del agua varía en ambos ICA, Dinius resulto ser más tolerante a la contaminación, dando de regular a excelente calidad, mientras que NSF determina una calidad de agua mala a regular.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia” en esta sección.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Idea principal de la investigación, análisis e interpretación: B.B.G.O. Análisis de datos y redacción: L.M.S.Y. Metodología, muestreo y análisis: L.F.S.O. Redacción: R.B.M. Bibliografía: M.L.C.A.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo que a través de la Dirección de Investigaciones proporciono el financiamiento mediante el proyecto FOCICYT-UTEQ, “Determinantes de contaminación del recurso hídrico, aplicación técnica de fitorremediación”.

## LITERATURA CITADA

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). *Water Quality Index*. Kidlington, Oxford, United Kingdom: Elsevier ISBN: 9780444638366
- Alsalmeh, A., Al-Zaqri, N., Ullah, R., & Yaqub, S. (2021). Approximation of ground water quality for microbial and chemical contamination. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1757–1762. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.017>
- Baharudin, F., Kassim, J., Imran, S. N. M., & Wahab, M. A. (2021). Water Quality Index (WQI) classification of rivers in agriculture and aquaculture catchments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 646(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012023>
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Osorio, B., Suatunche, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia Unemi*, 9(20), 109–117.
- Bhuiyan-Bashar, A., Mokhtar, M. B., Toriman, M., Gasim, M. B., Ta, G. C., Elfithri, R., & Razman, M. R. (2013). The Environmental Risk And Water Pollution: A Review From The River Basins Around The World. *American -Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2, 126-136.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Cornejo, A., Pérez, J., López-Rojo, N., Tonin, A. M., Rovira, D., Checa, B., ... Boyero, L. (2020). Agriculture impairs stream ecosystem functioning in a tropical catchment. *Science of the Total Environment*, 745, 140950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140950>
- Donoso, J. M., & Rios-Touma, B. (2020). Microplastics in tropical Andean rivers: A perspective from a highly populated Ecuadorian basin without wastewater treatment. *Heliyon*, 6(7), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04302>
- Dosskey, M. G., Vidon, P., Gurwick, N. P., Allan, C. J., Duval, T. P., & Lowrance, R. (2010). The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 261-277. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x>

- Dugan, H. A., Skaff, N. K., Doubek, J. P., Bartlett, S. L., Burke, S. M., Krivak-Tetley, F. E., ... Weathers, K. C. (2020). Lakes at risk of chloride contamination. *Environmental Science and Technology*, 54(11), 6639-6650. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07718>
- Effendi, H., Romanto., & Wardiatno, Y. (2015). Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>
- EPA (Environmental Protection Agency). (2018). *2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Consultado el 08 de noviembre, 2021, desde <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-01/dwtable2018.pdf>
- Fresco, A. (2003). Manejo del agua en el antiguo Ecuador. *Revista Española de Antropología Americana*, 33, 245-257.
- González-Del Tánago, M., Martínez-Fernández, V., Aguiar, F. C., Bertoldi, W., Dufour, S., García-de Jalón, D., ... Rodríguez-García, P. M. (2021). Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines. *Journal of Environmental Management*, 292, 112730. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112730>
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayura, Antioquia, Colombia. *Revista de Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108.
- Guerra-Hernández, E. A., Cruz-Flores, G., & Etchevers-Barra, J. D. (2021). Soil organic carbon and particulate carbon in water in riparian systems under different land use. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.1249>
- Hammer, Øyvind., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2016). *Boletín Climatológico Anual 2015*. Consultado el 08 de noviembre, 2021, desde <https://docplayer.es/30230915-Boletín-climatológico-anual-2015.html>
- NTE INEN 1105:1983 (Norma Técnica Ecuatoriana). (2012). Aguas. Muestreo para examen microbiológico, publicada el 29 de octubre de 2012. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito, Ecuador: INEN
- NTE INEN 2169:2013 (Norma Técnica Ecuatoriana). (2013a). Agua. Calidad de agua, muestreo manejo y conservación de muestras, publicada junio de 2013. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito, Ecuador: INEN
- NTE INEN 2176:2013 (Norma Técnica Ecuatoriana). (2013b). Agua. Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo, publicada junio de 2013. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito, Ecuador: INEN
- NTE INEN 2226:2013 (Norma Técnica Ecuatoriana). (2013c). Agua, calidad del agua, muestreo, diseño de los programas de muestreo, publicada junio de 2013. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Quito, Ecuador: INEN
- Jeon, D. J., Ligaray, M., Kim, M., Kim, G., Lee, G., Pachepsky, Y. A., ... Cho, K. H. (2019). Evaluating the influence of climate change on the fate and transport of fecal coliform bacteria using the modified SWAT model. *Science of the Total Environment*, 658, 753-762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.213>
- Kohn, J., Soto, D. X., Iwanyshyn, M., Olson, B., Kalischuk, A., Lorenz, K., & Hendry, M. J. (2016). Groundwater nitrate and chloride trends in an agriculture-intensive area in southern Alberta, Canada. *Water Quality Research Journal of Canada*, 51(1), 47-59. <https://doi.org/10.2166/wqrjc.2015.132>
- Mahmud, Z. H., Islam, M. S., Imran, K. M., Hakim, S. A. I., Worth, M., Ahmed, A., ... Ahmed, N. (2019). Occurrence of Escherichia coli and faecal coliforms in drinking water at source and household point-of-use in Rohingya camps, Bangladesh. *Gut Pathogens*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13099-019-0333-6>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2018). Global Anthropogenic Phosphorus Loads to Freshwater and Associated Grey Water Footprints and Water Pollution Levels: A High-Resolution Global Study. *Water Resources Research*, 54(1), 345-358. <https://doi.org/10.1002/2017WR020448>
- Minitab (2017). *Minitab Statistical Software User's Guide. Version 18.1*. State College, PA, USA: Minitab Inc.
- Nieto, C., Pazmiño, E., Rosero, S., & Quishpe, B. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *Siembra*, 5(1), 51-70.
- Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 175-182. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>
- Sánchez-Salazar, A. M., Arboleda-Valencia, J. W., Rivera-Gutierrez, H. F., & Valle-Molinares, R. H. (2014). Análisis de coliformes y bacterias reductoras de sulfato en reservorios acuíferos de corrales de San Luis Beltrán, Atlántico, Colombia. *Medicina & Laboratorio*, 20(9-10), 1-14.
- Seo, M., Lee, H., & Kim, Y. (2019). Relationship between Coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong River, South Korea. *Water*, 11(6), 1171. <https://doi.org/10.3390/w11061171>
- Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua -ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.
- Ustaoglu, F., Tepe, Y., & Taş, B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113, 105815. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>
- Villa-Achupallas, M., Rosado, D., Aguilar, S., & Galindo-Riaño, M. D. (2018). Water quality in the tropical Andes hotspot: The Yacuambi river (southeastern Ecuador). *Science of the Total Environment*, 633, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.165>
- Voloshenko-Rossin, A., Gasser, G., Cohen, K., Gun, J., Cumbal-Flores, L., Parra-Morales, W., ... Lev, O. (2015). Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: Discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro-Guayllabamba-Esmeraldas rivers. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 17(1), 41-53. <https://doi.org/10.1039/c4em00394b>

- 
- 
- Wingfield, S., Martínez-Moscoso, A., Quiroga, D., & Ochoa-Herrera, V. (2021). Challenges to water management in Ecuador: Legal authorization, quality parameters, and socio-political responses. *Water*, 13(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w13081017>
- WHO (World Health Organization). (2017). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. En *WHO* (4<sup>th</sup> ed.). Genève, Switzerland: WHO. ISBN: 978-92-4-154995-0
- Zotou, I., Tsihrintzis, V. A., & Gikas, G. D. (2018). Comparative Assessment of Various Water Quality Indices (WQIs) in Polyphytos Reservoir-Aliakmon River, Greece. *Proceedings*, 2(11), 611. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110611>