



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i2.4323>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Comparatives of the ICA, upper, middle and lower basins of the Portoviejo River

Comparativos das bacias ICA, alta, média e baixa do rio Portoviejo

Julio Benito Intriago Flores ^I
julio.intriago@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0822-8184>

Beatriz Irene Caballero Giler ^{II}
beatriz.caballero@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2008-864X>

María Concepción Valdiviezo Intriago ^{III}
mariavaldiviezo@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-0308-7759>

José Fabián Véliz Párraga ^{IV}
fabian.veliz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5356-4537>

Abel Justiniano Cedeño Rodríguez ^V
abel.cedendor@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0052-3197>

Fabrizio Francisco Falcones Lucas ^{VI}
falconeslucas990@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0684-3776>

Correspondencia: julio.intriago@utm.edu.ec

***Recibido:** 14 de febrero de 2025 ***Aceptado:** 09 de marzo de 2025 ***Publicado:** 04 de abril de 2025

- I. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- III. Investigador Independiente, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Ecuador.
- VI. Investigador Independiente, Ecuador.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Resumen

El presente trabajo analiza y compara los índices de calidad de agua de la cuenca alta, media y baja del río Portoviejo, provincia Manabí-Ecuador, mediante el modelo de análisis de Brown (1970) propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NSF), la cual estudia nueve parámetros: demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes fecales, cambios de temperatura, fosfatos, oxígenos disueltos (%), nitratos, pH, sólidos totales disueltos, y turbidez. Esta metodología clasifica la calidad de agua en: muy mala, mala, media, buena y excelente calidad de acuerdo al índice obtenido. Se realizó el muestreo de diez puntos: cuatro de la cuenca alta, tres en la cuenca media y tres en la cuenca baja lugares escogidos de acuerdo a los contaminantes bióticos y abióticos evidenciados en la zona de influencia. Los resultados de los estudios indican que en la cuenca alta: en el punto 1 en Poza Honda posee un ICA de 61.64 %, punto dos en Ayacucho posee un ICA de 68.7%, punto tres en el puente Santa Ana con un ICA de 65.89%, punto cuatro en el puente San Ignacio un ICA de 62.20 %, cuenca media: en el punto cinco posterior al puente San Ignacio posee un índice ICA de 69.97%, punto seis en el puente Puerto Real tiene un ICA de 60.11%, en punto siete en Mejía un ICA de 43.26%. En la cuenca baja: en el punto ocho del muestreo (Sosote), tiene un ICA de 51.75%, en el punto nueve (Higuerón de Rocafuerte) el ICA dio como resultado 65.77%, y en el punto diez (Puerto Salinas, Crucita), el ICA resultó con un valor de 65.16%. Estos resultados evidencian la contaminación que se produce al ingresar el flujo a las zonas pobladas y el porcentaje de depuración que se da, por tal motivo es prioritario aplicar estrategias para aminorar esta contaminación biótica y abiótica.

Palabras claves: Calidad de agua; Cuenca; Afluentes; Depuración.

Abstract

This work analyzes and compares the water quality indices of the upper, middle and lower basins of the Portoviejo River, Manabí province, Ecuador, using the Brown analysis model (1970) proposed by the National Sanitation Foundation of the United States (ICA-NSF), which studies nine parameters: biochemical oxygen demand (BOD_5), fecal coliforms, temperature changes, phosphates, dissolved oxygen (%), nitrates, pH, total dissolved solids, and turbidity. This methodology classifies water quality into: very poor, poor, medium, good and excellent quality according to the index obtained. Sampling was carried out at ten points: four in the upper basin, three in the middle basin and three in the lower basin, locations chosen according to the biotic and abiotic contaminants evident

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

in the area of influence. The results of the studies indicate that in the upper basin: at point 1 in Poza Honda it has an ICA of 61.64%, point two in Ayacucho it has an ICA of 68.7%, point three at the Santa Ana bridge with an ICA of 65.89%, point four at the San Ignacio bridge an ICA of 62.20%, middle basin: at point five after the San Ignacio bridge it has an ICA index of 69.97%, point six at the Puerto Real bridge it has an ICA of 60.11%, at point seven in Mejía an ICA of 43.26%. In the lower basin: at point eight of the sampling (Sosote), it has an ICA of 51.75%, at point nine (Higuerón de Rocafuerte) the ICA was 65.77%, and at point ten (Puerto Salinas, Crucita), the ICA resulted with a value of 65.16%. These results demonstrate the contamination that occurs when the flow enters populated areas and the percentage of purification that occurs. Therefore, implementing strategies to reduce this biotic and abiotic contamination is a priority.

Keywords: Water quality; Watershed; Tributaries; Purification.

Resumo

Este trabalho analisa e compara os índices de qualidade da água das bacias alta, média e baixa do rio Portoviejo, província de Manabí, Equador, utilizando o modelo de análise de Brown (1970) proposto pela Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos (ICA-NSF), que estuda nove parâmetros: procura bioquímica de oxigénio (DBO5), coliformes fecais, alterações de temperatura, fosfatos, oxigénio dissolvido (%), nitratos, pH, sólidos dissolvidos totais e turbidez. Esta metodologia classifica a qualidade da água em: muito má, má, média, boa e ótima qualidade, de acordo com o índice obtido. As amostragens foram realizadas em dez pontos: quatro na bacia superior, três na bacia média e três na bacia inferior, locais escolhidos de acordo com os contaminantes bióticos e abióticos encontrados na área de influência. Os resultados dos estudos indicam que na bacia alta: no ponto 1 em Poza Honda tem um ICA de 61,64%, no ponto dois em Ayacucho tem um ICA de 68,7%, no ponto três na ponte de Santa Ana com um ICA de 65,89%, no ponto quatro na ponte de San Ignacio um ICA de 62,20%, bacia média: no ponto cinco depois da ponte de San Ignacio tem um índice de ICA de 69,97%, no ponto seis na ponte de Puerto Real tem um ICA de 60,11%, no ponto sete em Mejía um ICA de 43,26%. Na bacia inferior: no ponto de amostragem oito (Sosote), apresenta um ICA de 51,75%, no ponto nove (Higuerón de Rocafuerte) o ICA resultou em 65,77%, e no ponto dez (Puerto Salinas, Crucite), o ICA resultou num valor de 65,16%. Estes resultados demonstram a contaminação que ocorre quando o fluxo entra em áreas povoadas e a percentagem de purificação

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

que ocurre. Assim, é prioritário implementar estratégias para reduzir esta contaminação biótica e abiótica.

Palavras-chave: Qualidade da água; Bacia; Afluentes; Depuração.

Introducción

El agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del hombre, sin embargo, no toda el agua puede ser utilizada indistintamente para suplir las necesidades del ser humano; su utilización está condicionada a la calidad que esta tenga.(Julio et al., n.d.)

Los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad del agua, es necesario monitorear estos tres componentes.(Benito et al., 2024)

Importancia del recurso agua

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella el hombre no podría existir. Toda población o comunidad ha buscado asentamiento cerca de una fuente de agua.

Las fuentes de agua, aunque disponibles en mayor o menor cantidad, han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la Antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de muchas de las enfermedades que estaba padeciendo y solo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía. (Intriago-flores & Guadamud-mieles, 2024).

A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos, a deteriorar los ecosistemas, etc. Fue así como se hizo necesario implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población. Por esta razón, la calidad del agua es la rama de la Ingeniería que pretende:

Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.

Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua.

Juzgar qué variables de calidad del agua se necesita controlar y los medios o recursos disponibles para hacerlo.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

El agua en el mundo

El agua en el mundo circula naturalmente a través de los océanos, la atmosfera, lagos y ríos, glaciares y aguas subterráneas.

En la tabla 1. se presenta la estimación de la disponibilidad del agua en valores por Km³ y sus respectivos porcentajes con respecto al total, en este se puede apreciar que la mayor parte de agua es salada y está en los océanos y mares en un 96.5 %, seguido por casquetes y glaciares polares en un 1,74 % concentrando la mayor parte de agua dulce en nuestro planeta, y la parte de agua superficial implícitamente en ríos en un pequeño porcentaje del 0.0002 %.(Intriago-Flores, 2023).

Tabla 1. Distribución del agua en la tierra

Situación del agua	Volumen en Km ³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1,338,000,000	-	96.5
Casquetes y glaciares polares	24,064,000	-	68.7	1.74
Agua subterránea salada	-	12,870,000	-	0.94
Agua subterránea dulce	10,530,000	-	30.1	0.76
Glaciares continentales y permafrost	300,000	-	0.86	0.022
Lagos de agua dulce	91,000	-	0.26	0.007
Lagos de agua salada	-	85,400	-	0.006
Humedad del suelo	16,500	-	0.05	0.001
Atmósfera	12,900	-	0.04	0.001
Embalses	11,470	-	0.03	0.0008
Ríos	2,120	-	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	-	0.003	0.0001
Total de agua dulce	35,029,110		100	-
Total de agua en la tierra	1,386,000,000		-	100

En los distintos países los almacenamientos de agua son muy variada, a continuación, detallare mos en la tabla 2 la distribución de los recursos hídricos superficiales por países desde los más ricos a los más pobres.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Tabla 2. Distribución de los recursos hídricos superficiales por países

Los países más ricos	Cantidad Km ³ / año	Los países más pobres	Cantidad Km ³ / año
Brasil	8,233	Bahrein	Casi nada
Rusia	4,507	Kuwait	0.02
USA	3,051	Bahamas	0.02
Canadá	2,856	Maldivas	0.03
Indonesia	2,838	Qatar	0.10
China	2,830	Malta	0.10
Colombia	2,132	Barbados	0.10
Perú	1,913	Antigua y Bermudas	0.10
India	1,897	Emiratos Árabes Unidos	0.20

Los países latinoamericanos gozan de las más grandes reservas de agua dulce del mundo; sin embargo, tienen muchos desafíos por delante respecto a la gestión de los recursos hídricos. Se requieren garantizar acceso universal al agua, mejorar la eficiencia de su gestión y disminuir la contaminación de los acuíferos (Iriarte, 2018). Desde los años noventa, la contaminación de los ríos ha empeorado, de esta forma, mientras en los países desarrollados la calidad del agua mejora con el paso de los años, la contaminación de ríos empeora en países en vías de crecimiento (Iriarte, 2018). Las actividades tales como eutroficación, destrucciones del hábitat, sedimentación, vertimiento de desechos de las industrias, entre otros, provocan contaminación a lo largo de toda la cuenca del río conforme vayan pasando más a los centros poblados y a las zonas industriales (Montilla & Pacheco, 2017). Estas acciones no solo afectan a la salud propia del río sino también a la población humana (Cevallos et al., 2015). Según la Organización Panamericana de la Salud (Organización Panamericana de la Salud, 2012) los más vulnerables son los niños entre 0 -5 años, provocando 842 000 muertes anuales alrededor del mundo, por enfermedades relacionadas con la mala calidad de agua como, el colera, esquistosomiasis, la malaria, la legionelosis entre otras (Acuerdo 097A, 2015). Según Cevallos et al.(2015), el Ecuador es un país rico en cantidad de agua, más no en calidad, ya que según varias fuentes el 70% de los ríos de Ecuador se encuentran en procesos críticos de contaminación. Las principales causas de estas cifras se deben particularmente a los residuos domésticos en su mayor porcentaje, residuos industriales, malas prácticas agrícolas, erosión de suelos y la minería (Olguín et al., 2010). 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

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

provincia de Esmeraldas, el río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi, los ríos Sicalpa, Chibunga y Chambo en la provincia de Chimborazo (Cevallos et al., 2015).

Según (Macias & Diaz, 2010) indican que uno de los principales problemas ambientales que afectan a la calidad de agua en la cuenca del río Portoviejo, es el manejo inadecuado de los suelos y cultivos, además de otras fuentes de contaminación como las lubricadoras, hospitales, camales, poblaciones cercanas que descargan directamente al río sin ningún tipo de control.

Basado en estos antecedentes, resulta prioritario realizar una evaluación de la calidad de agua en la cuenca media y baja del río Portoviejo mediante la aplicación del ICA-NSF y de esta manera establecer el grado de contaminación actual de este importante curso de agua. Además de establecer estrategias que puedan controlarla.

Calidad de agua y su índice

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017), el agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del hombre. Sin embargo, no toda el agua puede ser utilizada indistintamente para suplir las necesidades del ser humano; su utilización está condicionada a la calidad que esta tenga (Instituto Nacional de Meteorología).

En cuanto a los parámetros de calidad del agua según Olgún et al. (2010) se tiene: los físicos, químicos y microbiológicos, cuyos ensayos y pruebas en laboratorio son los métodos cuantitativos utilizados.

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura (P. Torres et al., 2018).

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para regulación del recurso hídrico en el mundo, ya que está considerada criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendentes a aplicar criterios de evaluación propios de tal manera que su aplicación corresponda con sus requerimientos y necesidades (Jiménez & Barba, 2000) .

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad de agua tienen mucha historia, existe información proporcionada por Patiño (2016) de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

agua. En los últimos 130 años los países europeos han aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas, sin embargo, el desarrollo del ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad del agua en una escala prácticamente continua son relativamente recientes. Rojas et al. (2009) proponen el uso de ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática.

Otro en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad fue Liebman en el año 1969 (Valdés Bato et al., 2011). Sin embargo, estos solo fueron utilizados y aceptados por las agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta cuando los ICA tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico.

Según Patiño (2016), en el año 1982, en España se desarrolló el índice de calidad de agua (ISQA) basados en cinco parámetros fisicoquímicos y planteo una clasificación de calidad del agua para seis usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento, para el consumo humano.

Según Rojas et al. (2009), Dinius en el año 1972, replanteó un ICA conformado por 12 parámetros físico químicos y microbiológicos, pero a diferencia del ICA-NSF, cuya clasificación está orientada a aguas a ser empleadas como fuente de captación para el consumo humano, considera cinco usos del recurso: consumo humano, agrícola, pesca y vida acuática, industrial y recreación.

Parámetros que conforman los ICA.

Según C. Torres (2018), el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de “agua pura”. El agua altamente contaminada tendrá un ICA $\approx 0\%$, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA $\approx 100\%$. El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

1. La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua.
2. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.
3. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

4. Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo.
5. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Los parámetros ser incluidos en los ICA han estado marcados, desde sus inicios, por la apreciación de expertos que se han encasillados como estándares. (P. Torres et al., 2018), recomienda seleccionar los parámetros de las cinco categorías más comunes conocidas: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, caracterizaciones físicas y sustancias disueltas. Existen algunos modelos para definir los índices de calidad de agua, midiendo una serie de parámetros. En el anexo 1 se presentan los diferentes parámetros de calidad de agua contemplados por las diferentes metodologías para establecer el ICA. En el Ecuador según (Quiroz et al., 2017), la metodología a utilizar es la propuesta por Brown et al. (1970) desarrollado por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF).

De manera global son 18 los parámetros para determinar el ICA los cuales son:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno
2. Oxígeno disuelto
3. Coliformes fecales
4. Coliformes totales
5. Potencial de Hidrógeno
6. Dureza total
7. Sólidos disueltos
8. Sólidos suspendidos
9. Cloruros
10. Conductividad eléctrica
11. Alcalinidad
12. Grasas y aceites
13. Nitrógeno de nitratos
14. Nitrógeno amoniacal
15. Fosfatos totales
16. SAAM
17. Color

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

18. Turbiedad

A continuación, en la tabla 3 detallaremos sus coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA.

Tabla 3. Coeficiente de ponderación para el cálculo del ICA.

Parámetro	Importancia/ ponderación
pH	1.0
Color	1.0
Turbiedad	0.5
Grasas y aceites	2.0
Sólidos suspendidos	1.0
Sólidos disueltos	0.5
Conductividad eléctrica	2.0
Alcalinidad	1.0
Dureza total	1.0
Nitrógeno de nitratos	2.0
Nitrógeno amoniacal	2.0
Fosfatos totales	2.0
Cloruros	0.5
Oxígeno disuelto	5.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5.0
Coliformes totales	3.0
Coliformes fecales	4.0
SAAM	3.0

Importancia relativa de los parámetros del ICA

Además del ICA general, es posible calcular los valores del ICA para las categorías siguientes:

- Materia orgánica
- Bacteriológico
- Material iónico
- Material en suspensión

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

- Nutrientes.

A continuación, se agruparán en la tabla 4 los parámetros para ICA's particulares

Tabla 4. Agrupación de parámetros para ICA's particulares

<i>Parámetro</i>	<i>Clasificación</i>
<i>pH</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Color</i>	<i>Material suspendido</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>Material suspendido</i>
<i>Grasas y aceites</i>	<i>Material suspendido</i>
<i>Solidos suspendidos</i>	<i>Material suspendido</i>
<i>Solidos disueltos</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Conductividad eléctrica</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Alcalinidad</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Dureza total</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Nitrógeno de nitratos</i>	<i>Nutrientes</i>
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	<i>Nutrientes</i>
<i>Fosfatos totales</i>	<i>Nutrientes</i>
<i>Cloruros</i>	<i>Material iónico</i>
<i>Oxígeno disuelto</i>	<i>Material orgánico</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	<i>Material orgánico</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>Bacteriológico</i>
<i>Coliformes fecales</i>	<i>Bacteriológico</i>
<i>SAAM</i>	<i>Nutrientes</i>

Metodologías para la obtención del ICA

A continuación, detallaremos en la Figura 1 las diferentes metodologías que se utilizan a nivel mundial propuesta para la obtención del ICA.

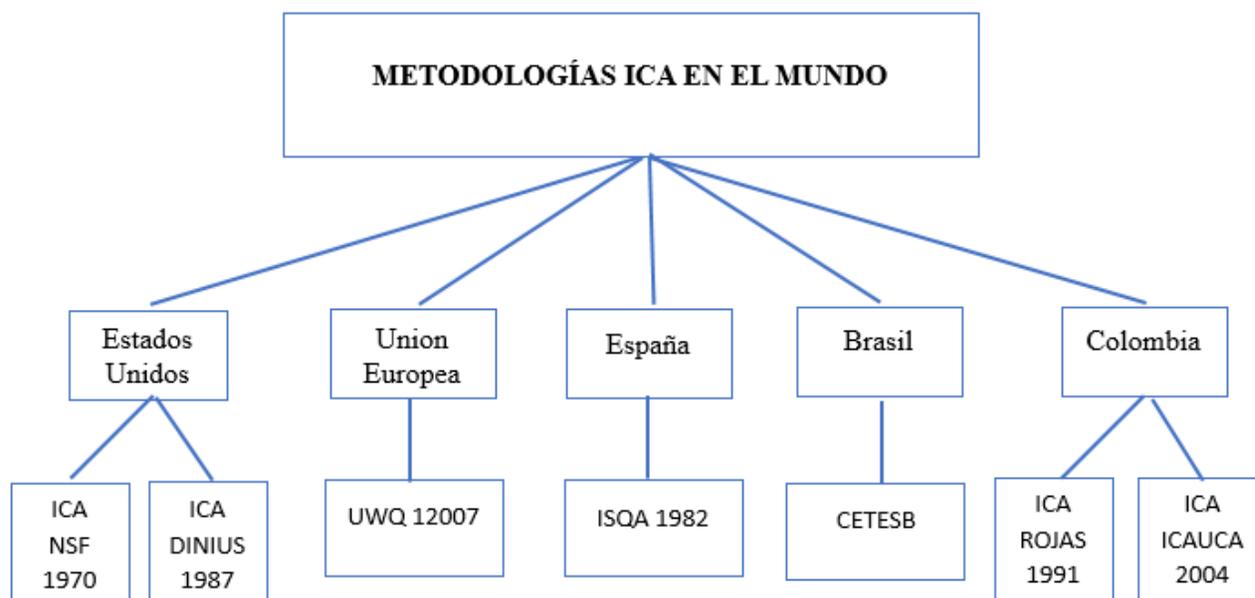


Figura 1. Diferentes metodologías a nivel mundial propuestas para la obtención de los ICA.

Índice de BROWN o de la NSF (Estados Unidos, 1970)

La metodología más empleada para la obtención del ICA a nivel mundial y en la república del Ecuador, es el propuesto por Brown et al. (1970) desarrollado por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF).

Según (Mayorga et al., 2000) el ICA-NSF fue empleado en 1970 y 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 y nitratos. se detalló el concepto de cada uno de ellos, divididos en físicos, químicos y microbiológicos a continuación.

Según Mayorga et al. (2000), las principales consideraciones para establecer la calidad del agua se basan a priori, más en las características físicas que en la química y biológica, ya que se desea un agua incolora, inodora e insípida para ser utilizada en las diferentes actividades diarias del hombre.

A continuación, se detallaron algunos conceptos de parámetros físicos:

La temperatura es una constante que tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua, por ejemplo, en la solubilidad del oxígeno (Rodríguez, 2009).

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

El incremento de la temperatura reduce la cantidad de oxígeno presente en el agua, los ecosistemas acuáticos se ven afectados, produce eutrofización y proliferación de organismos patógenos, acelera las reacciones químicas, incrementa la solubilidad de algunas sustancias, reduce la solubilidad de los gases e incrementa la actividad biológica. Usualmente las variaciones de temperatura indican contaminación por descargas de aguas residuales o descargas de las aguas utilizadas en procesos industriales con elevadas temperaturas.

Los **sólidos disueltos** es el material que perdura en el agua luego de que ella es sometida a un proceso de filtración y son producto de la acción solvente del agua, luego de que actúa sobre sólidos y gases (Gómez,2000). Conocidos como TDS son las siglas inglesas de «Total Dissolved Solids», en español, Total de Sólidos Disueltos. El Total de Sólidos Disueltos (TDS) es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, para este caso, el agua.

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.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. (Manuel et al., 2025).

El límite máximo recomendado por la OMS para el agua potable es de 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), el cual tiene un alto índice de dispersión sobre todo en algunos de los países Centro y Sur Americanos. Por encima del límite recomendado por la guía de la OMS se encuentran 10 % de los países, conformado por Guatemala con 15 UNT y Republica Dominicana con 10 UNT. Finalmente, y acogiendo la recomendación de las guías de la OMS se encuentra el 75 % demostrando gran acogida de las respectivas normas nacionales, en la apariencia del agua que las diferentes legislaciones buscan proporcionar a los consumidores (Herdiana, 2013).

En niveles altos de turbidez, debido a las altas concentraciones de partículas suspendidas, las cuales absorben calor de la luz del sol y ocasionan aumento de la temperatura del agua, por lo que se reduce la concentración de oxígeno, provocando que el agua pierda su capacidad de acoger a la diversidad de organismos acuáticos (Ramírez et al., 2011).

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Según Salinas et al. (2017), las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que alguno de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra. Algunos conceptos de parámetros químicos son mostrados:

El **oxígeno disuelto** puede considerarse como la porción de oxígeno del aire disuelto en el agua influenciado por el movimiento de las misma. Según Herdiana (2013), el oxígeno disuelto es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuan contaminada está el agua y de cuanto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua. Si los niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a que el oxígeno en el aire que queda atrapado bajo el agua en movimiento rápido se disuelve en esta, la temperatura también afecta la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua, el agua fría guarda más cantidad que la caliente.

El oxígeno disuelto es un parámetro clave para la evaluación de la calidad del agua en los sistemas hídricos. 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).

Según Zoppas (2018), los nitratos son compuestos químicos inorgánicos derivados del nitrógeno, (NO_3^-). El nitrato es un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O) cuyo símbolo químico es NO_3^- . Normalmente, el nitrato no es peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (Muñoz et al., 2004).

Con frecuencia la contaminación por nitratos procede, principalmente, de fuentes no puntuales o difusas. Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas) se asocian, mayormente, a actividades agrícolas y ganaderas. Aunque en determinadas áreas, también pueden estar relacionadas a ciertas actividades industriales, especialmente las del sector agrícola (Rodríguez, 2009).

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Los compuestos que contienen nitrógeno actúan como nutrientes en corrientes y ríos, por esta razón los fenómenos de eutrofización de lagos, pueden estar relacionados directamente con una elevada concentración de nitratos en el agua. Estos nutrientes generalmente provienen del escurrimiento de tierras agrícolas, pastos, aguas negras, detergentes y desechos de animales. Las reacciones de nitrato en el agua dulce pueden agotar el oxígeno y, en consecuencia, mueren los organismos acuáticos. Su presencia en altas concentraciones en agua potable es riesgosa para la salud (Muñoz et al., 2004).

Como lo indica Camilo et al. (2019) el pH, es uno de los parámetros que sirve para conocer la calidad de agua, este parámetro es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia. El pH posee un ámbito de 0 a 14 donde 7 es el valor considerado como neutral. Cuando el valor del pH es menor de 7 es ácido, mientras que si el mismo valor está sobre este pH es básico. El valor recomendado del pH en el agua es de 6.5 a 8.5. El pH de aguas no contaminadas depende del balance entre el dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato; iones que siempre están presentes en las aguas naturales y cuya variación puede ser causada por la disolución de rocas carbonatadas, cambio atmosférico de CO₂, y de la respiración de los organismos acuáticos (Rodríguez, 2009). El pH es un importante parámetro del cual dependen gran número de procesos que tienen lugar en las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida de los peces de agua dulce y los invertebrados debe estar comprendido entre 6 y 9, y debe ser constante para permitir crecer y multiplicarse a los organismos (Jiménez & Barba, 2000). Valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los compuestos químicos del agua y movilizar los contaminantes, en este caso si tenemos niveles bajos de pH puede incrementarse la toxicidad del agua debido a que aumenta la solubilidad de metales como: hierro, cobre, zinc níquel, plomo y cadmio, entre otros (Carrillo & Urgilés, 2016).

La **DBO o demanda bioquímica de oxígeno** que es la cantidad necesaria de oxígeno para la oxidación de materia orgánica por medio de bacterias aeróbicas. (Raffo & Ruiz, 2014). Las aguas superficiales son, altamente susceptibles a la contaminación; siendo el vertedero tradicional a lo largo de toda la historia de la industria y las poblaciones. En el caso de los contaminantes residuos que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas, la materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

La demanda bioquímica de oxígeno tiene una relación directa con la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, si los niveles de DBO5 son altos, existe reducción de la cantidad de oxígeno, debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta. En caso de no haber materia orgánica, no hay muchas bacterias que la descompongan y por ende la DBO5 será menor y el oxígeno disuelto será mayor. En caso de que el nivel de la DBO5 sea demasiado alta, los organismos acuáticos se verían gravemente afectados.

Los fosfatos en el agua, según lo indica Petra (2016), pueden producir la eutrofización. Tan solo 1 g de fosfato-fosforo provoca el crecimiento de hasta 100 g de alga. Estos provienen generalmente de fertilizantes, excreciones humanas y detergentes y productos de limpieza.

Según Raffo & Ruiz (2014), en ecología el término eutrofización está referido al enriquecimiento en nutriente de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes, la eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. En ecosistemas acuáticos, con la eutrofización empiezan a proliferar algas unicelulares en general algas verdes.

Diferentes cantidades de fosfatos son arrastrados por la lluvia desde los suelos agrícolas hacia cursos de agua. Las cantidades excesivas de fosfato producen un excesivo crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, las cuales consumen grandes cantidades de oxígeno (Carrillo & Urgilés, 2016). La presencia de bacterias en los abastecimientos de agua es el parámetro de calidad más sensible. Las aguas naturales poseen una amplia variedad de microorganismos que forman parte del sistema ecológico y sus características biológicas se relacionan principalmente con la población de microorganismos existente y su impacto en la calidad del agua (Iriarte, 2019).

Una contaminación biológica es expuesta principalmente por transmisión de enfermedades (microorganismos patógenos presentes en el agua), debido a la presencia en muchas ocasiones de coliformes fecales.

En cuanto a los **coliformes fecales**, se establece que son microorganismos con una estructura parecida al de una bacteria común se llama *Escherichia coli* y se encuentran en el intestino del hombre y en el de otros animales (Mora & Calvo, 2010).

La presencia de coliformes fecales es un indicador de la calidad de agua para consumo humano, en los medios acuáticos los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales, porque su origen es principalmente fecal. Al presentarse éstos en el agua indican que existe

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

contaminación de tipo microbiológica, lo que puede provocar enfermedades intestinales en personas que la consuman. Entre las enfermedades patógenas que se transmiten por el agua contaminada, podemos mencionar la fiebre tifoidea, la gastroenteritis viral o bacteriana y la hepatitis A (Carrillo & Urgilés, 2016).

Método de cálculo del ICA-NSF

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)

$$ICA-NSF = \sum_{i=1}^9 \left[\frac{S_i}{W_i} \right] \quad (1)$$

Donde:

ICA-NSF: Índice de Calidad de Agua método NSF

S_i: Subíndice del parámetro i

W_i: Factor de ponderación para el Subíndice i

En la Tabla 5, se muestra la escala utilizada por Quiroz et al. (2017), para interpretar el resultado final de la calidad de agua de acuerdo con el índice y el rango de clasificación.

Tabla 5. 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

Las ecuaciones de las curvas citadas por Torres (2018) para la obtención de los subíndices “S_i” de cada parámetro, se detallan en la Tabla 6.

Criterios generales del uso de agua según rangos ICA

Para uso en pesca y vida acuática

- 70-100 E - Pesca y vida acuática abundante.
- 60-70 A - Límite para peces muy sensitivos.
- 50-60 LC- Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
- 40-50 C - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
- 30-40 FC- Inaceptable para actividad pesquera.
- 0-30 EC- Inaceptable para vida acuática.

Uso Industrial

- 90-100 E - No se requiere purificación.
- 70-90 A - Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
- 50-70 LC- No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.
- 30-50 C - Tratamiento para mayoría de usos.
- 20-30 FC- Uso restringido.
- 0-20 EC- Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo

- 70-100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.
- 50-70 A - Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
- 40-50 LC- Dudosa para contacto con el agua.
- 30-40 C - Evitar contacto, sólo con lanchas.
- 20-30 FC- Contaminación visible, evitar cercanía
- 0-20 EC- Inaceptable para recreación.

Tabla 6. Funciones de los Subíndices (Si) del ICA-NSF Brown (1970)

Parámetro	Dimensión	Función del subíndice (i)
Oxígeno Disuelto OD (% Sat.)	% saturacion	$SI_{OD} = e^{(1,3663 + 0,063 \% \text{ sat} - 0,000303 \% \text{ sat}^2)}$ Si % Sat > 140, SI _{OD} = 50
Coliformes fecales(CF)	NMP	$Si_{CF} = e^{(4,5922 - 0,1063 \ln(CF) - 0,0152 [\ln(CF)]^2)}$ $Si \text{ coliformes fec. } > \frac{10^5}{100 \text{ ml}}, Si_{CF} = 2$

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades(pH)	$SI_{pH} = e^{(-7,6434 pH + 18,5352 \frac{1}{pH} + 14,625 [Ln(pH)]^2)}$ Si pH < 2,0 o pH > 12,0 und, SI _{pH} = 0
Demanda bioquímica de Oxígeno(DBO5)	mg/L	$SI_{DBO5} = e^{(4,5824 - 0,1078 DBO5 + 2,4581 \times 10^{-14} e^{\frac{1}{DBO5}})}$ Si DBO5 > 30 mg/L, SIDBO5 = 2
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	$SI_{FT} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143 PO_4 + 0,00074 (PO_4)^2}$ Si PO ₄ > 10mg/L, SIPO ₄ = 2
Nitratos (N – NO ₃)	mg/L	$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043N + 2,8813 \times 10^{-5} N^2)}$ Si N > 100mg/L, SIN = 1
T (ΔT:Desviación de la temperatura desde el equilibrio)	°C(ΔT)	$SI_T = 1,9619 E - 06(\Delta T)^6 - 1,3964 E - 04 (\Delta T)^5 + 2,5908 E - 03(\Delta T)^4 + 1,5398 E - 02(\Delta T)^3 - 6,7952 E - 01(\Delta T)^2 - 6,7204 E - 01 (\Delta T) + 9,0392 E + 01$
Sólidos Totales Disueltos(STD)	mg/L	$SI_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 \times 10^{-5} ST + 9,265 \times 10^{-8} ST^2}$ Si ST > 500 mg/L, SIST = 20
Turbiedad (Turb)	UNT	$SI_{Turb} = e^{(4,561 - 0,0196 Turb + 2,4167 \times 10^{-5} Turb^2)}$ Si Turb > 100 UNT, SI Turb = 5

Cuenca del río Portoviejo

La provincia de Manabí a través de su historia se ha dedicado a la agricultura y el río Portoviejo ha sido una fuente importante dentro de esta actividad. Las políticas públicas han tratado de resolver problemas de drenaje y dotación de aguas, fue así como se creó el 26 de julio 1962, el Centro de Rehabilitación de Manabí (CRM) y luego SENAGUA (Coral et al., 2006). La demarcación hidrográfica en Manabí se muestra en la figura 2 y está dividida en 55 cuencas con sus respectivas codificaciones, un área total de 11.477,26 km².

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

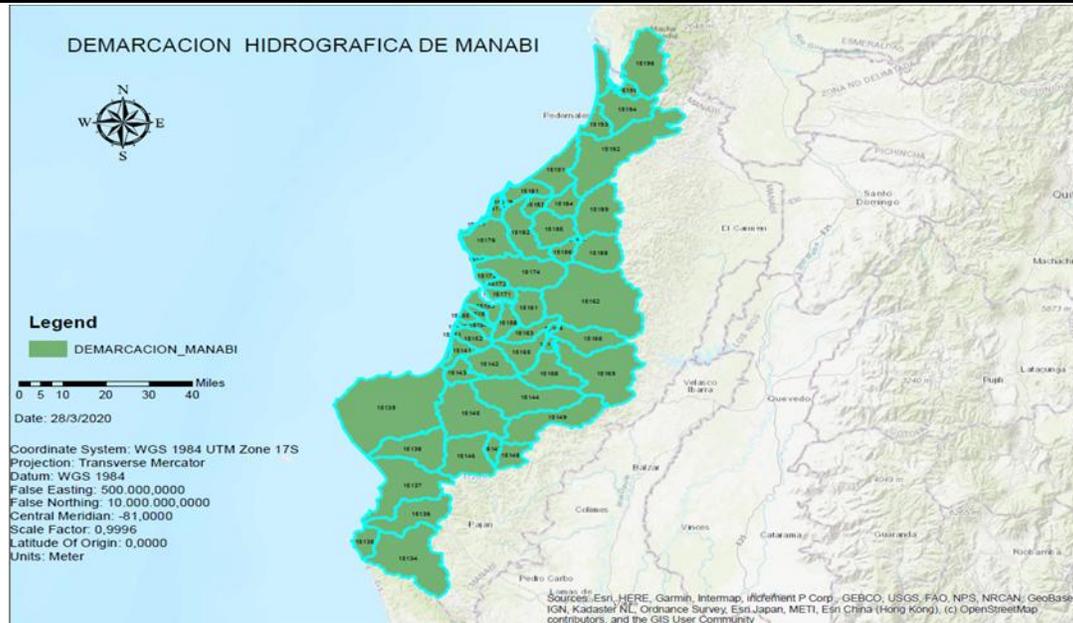


Figura 2. Demarcación Hidrográfica de Manabí

Según Quiroz et al. (2017), esta cuenca posee diversos tributarios, distribuidos en 74 esteros, 8 quebradas, 5 ríos y 3 micro cuencas principales (río Portoviejo, río Lodana y el embalse Poza Honda). La cuenca del río Portoviejo de acuerdo a Giler et al. (2020) es una de las cuencas que está dentro de la demarcación hidrográfica de Manabí. Está conformada por los cantones Portoviejo, Rocafuerte, Santa Ana y una parte del cantón 24 de mayo. La cual abarca un área total aproximada de 2.105,07 km².

La cuenca del río Portoviejo, como lo expresa Quiroz et al. (2016) posee alturas diferentes a lo largo del trazado, su cota máxima es de 707,97 msnm. con una altura mínima es de 0,00 msnm. promedio de altura de 215,70 msnm. En cuanto a la pendiente también es irregular con pendientes máximas de 59,88 m.

Uso de suelo en la cuenca

Con los datos obtenidos del geo portal del MAGAP y según (Montilla & Pacheco, 2017), el principal uso del suelo es agropecuario, con 105642.00 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% (Tabla 7). Predominando en mayor porcentaje el suelo utilizado

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

para el cultivo con un 50,56 %. En la Tabla 3 se encuentran sintetizados los usos de suelo de la cuenca en mención.

Tabla 7. Tipo de usos del suelo de la cuenca del río Portoviejo

Cultivos	Pastos	Bosques	Uso Urbano	Cuerpos de agua	Otros	Total
105642.00	63340.00	36878.00	1319.00	714.00	1067.00	208960.00
50.56%	30.31%	17.65%	0.63%	0.34%	0.51%	100.00%

La cuenca del río Portoviejo posee varios tipos de cultivos (Giler et al., 2020), el cual hace referencia al III Censo Nacional Agrícola, en el cual señala que los cultivos presentes incluyen los de tipo permanentes como el café, cacao, plátano, banano, etc., y cultivos anuales o transitorios como el arroz, maíz, fréjol, soya, trigo, etc. Además, indica que las áreas de cultivo se encuentran a lo largo de toda la cuenca, excepto al suroeste, donde hay una severa falta de lluvias. El arroz se ubica básicamente en las partes bajas, en la planicie de inundación y en las partes medias y bajas de los ríos.

Población actual y su crecimiento proyectado en 20 años

La cuenca del río Portoviejo ubicado en la provincia de Manabí, abarca una longitud de 132 km y atraviesa cuatro principales cantones: Santa Ana, 24 de mayo, Portoviejo y Rocafuerte. La densidad poblacional en el Ecuador es de 52 personas por km² y la población actual al año 2020 de estos cuatro cantones es de 459.551 habitantes. Bajo la estimación de la tasa de crecimiento poblacional del 1,837% según (INEC, 2010), se estima que en 20 años es decir en el 2040, exista 464.147 habitantes que se nutran de las aguas de la cuenca del río Portoviejo.

Calidad de agua, y su definición

En virtud de los factores y variables que determinan la calidad del agua es difícil dar una definición sencilla, no obstante, la calidad de un medio acuático se puede definir como:

- a) Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas.
- b) La composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua. La contaminación de un medio ambiente acuático se refiere a la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo implica problemas tales: danos en los organismos vivos,

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

efectos sobre la salud de los humanos, impedimentos de actividades acuáticas como la natación, buceo, canotaje, pesca, etc e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc.

Índice de calidad de agua.

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017), el agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del hombre. Sin embargo, no toda el agua puede ser utilizada indistintamente para suplir las necesidades del ser humano; su utilización está condicionada a la calidad que esta tenga (Instituto Nacional de Meteorología).

En cuanto a los parámetros de calidad del agua según Olgún et al. (2010) se tiene: los físicos, químicos y microbiológicos, cuyos ensayos y pruebas en laboratorio son los métodos cuantitativos utilizados.

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura (P. Torres et al., 2018).

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para regulación del recurso hídrico en el mundo, ya que está considerada criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendentes a aplicar criterios de evaluación propios de tal manera que su aplicación corresponda con sus requerimientos y necesidades (Jiménez & Barba, 2000).

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad de agua tienen mucha historia, existe información proporcionada por Patiño (2016) de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años los países europeos han aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas, sin embargo, el desarrollo del ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad del agua en una escala prácticamente continua son relativamente recientes. Rojas et al. (2009) proponen el uso de ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática.

Otro en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad fue Liebman en el año 1969 (Valdés Bato et al., 2011). Sin embargo, estos solo fueron utilizados y aceptados por las

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta cuando los ICA tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico.

Según Patiño (2016), en el año 1982, en España se desarrolló el índice de calidad de agua (ISQA) basados en cinco parámetros fisicoquímicos y planteo una clasificación de calidad del agua para seis usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento, para el consumo humano. Según Rojas et al. (2009), Dinius en el año 1972, replanteó un ICA conformado por 12 parámetros físico químicos y microbiológicos, pero a diferencia del ICA-NSF, cuya clasificación está orientada a aguas a ser empleadas como fuente de captación para el consumo humano, considera cinco usos del recurso: consumo humano, agrícola, pesca y vida acuática, industrial y recreación.

Parámetros que conforman los ICA

Según C. Torres (2018), el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de “agua pura”. El agua altamente contaminada tendrá un ICA $\approx 0\%$, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA $\approx 100\%$. El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

6. La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua.
7. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.
8. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro.
9. Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo.
10. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Los parámetros ser incluidos en los ICA han estado marcados, desde sus inicios, por la apreciación de expertos que se han encasillados como estándares. (P. Torres et al., 2018), recomienda seleccionar los parámetros de las cinco categorías más comunes conocidas: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, caracterizaciones físicas y sustancias disueltas. Existen algunos modelos para

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

definir los índices de calidad de agua, midiendo una serie de parámetros. En el anexo 1 se presentan los diferentes parámetros de calidad de agua contemplados por las diferentes metodologías para establecer el ICA. En el Ecuador según (Quiroz et al., 2017), la metodología a utilizar es la propuesta por Brown et al. (1970) desarrollado por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF).

Índice de BROWN o de la NSF (Estados Unidos, 1970)

La metodología más empleada para la obtención del ICA a nivel mundial y en la república del Ecuador, es el propuesto por Brown et al. (1970) desarrollado por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF).

Según (Mayorga et al., 2000) el ICA-NSF fue empleado en 1970 y 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 y nitratos. se detalló el concepto de cada uno de ellos, divididos en físicos, químicos y microbiológicos a continuación.

Según Mayorga et al. (2000), las principales consideraciones para establecer la calidad del agua se basan a priori, más en las características físicas que en la química y biológica, ya que se desea un agua incolora, inodora e insípida para ser utilizada en las diferentes actividades diarias del hombre. A continuación, se detallaron algunos conceptos de parámetros físicos:

La temperatura es una constante que tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua, por ejemplo, en la solubilidad del oxígeno (Rodríguez, 2009).

El incremento de la temperatura reduce la cantidad de oxígeno presente en el agua, los ecosistemas acuáticos se ven afectados, produce eutrofización y proliferación de organismos patógenos, acelera las reacciones químicas, incrementa la solubilidad de algunas sustancias, reduce la solubilidad de los gases e incrementa la actividad biológica. Usualmente las variaciones de temperatura indican contaminación por descargas de aguas residuales o descargas de las aguas utilizadas en procesos industriales con elevadas temperaturas.

Los sólidos disueltos es el material que perdura en el agua luego de que ella es sometida a un proceso de filtración y son producto de la acción solvente del agua, luego de que actúa sobre sólidos y gases (Gómez, 2000). Conocidos como TDS son las siglas inglesas de «Total Dissolved Solids», en español, Total de Sólidos Disueltos. El Total de Sólidos Disueltos (TDS) es una medida de las sustancias

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos, para este caso, el agua.

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.

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.

El límite máximo recomendado por la OMS para el agua potable es de 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), el cual tiene un alto índice de dispersión sobre todo en algunos de los países Centro y Sur Americanos. Por encima del límite recomendado por la guía de la OMS se encuentran 10 % de los países, conformado por Guatemala con 15 UNT y República Dominicana con 10 UNT. Finalmente, y acogiendo la recomendación de las guías de la OMS se encuentra el 75 % demostrando gran acogida de las respectivas normas nacionales, en la apariencia del agua que las diferentes legislaciones buscan proporcionar a los consumidores (Herdiana, 2013).

En niveles altos de turbidez, debido a las altas concentraciones de partículas suspendidas, las cuales absorben calor de la luz del sol y ocasionan aumento de la temperatura del agua, por lo que se reduce la concentración de oxígeno, provocando que el agua pierda su capacidad de acoger a la diversidad de organismos acuáticos (Ramírez et al., 2011).

Según Salinas et al. (2017), las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que alguno de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra. Algunos conceptos de parámetros químicos son mostrados:

El oxígeno disuelto puede considerarse como la porción de oxígeno del aire disuelto en el agua influenciado por el movimiento de las misma. Según Herdiana (2013), el oxígeno disuelto es la cantidad presente en el agua y que es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuan contaminada está el agua y de cuanto sustento puede dar esa agua a la vida animal y vegetal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua. Si los niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a que el oxígeno en el aire que queda atrapado bajo el agua en movimiento rápido se disuelve en esta, la temperatura también afecta la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua, el agua fría guarda más cantidad que la caliente.

El oxígeno disuelto es un parámetro clave para la evaluación de la calidad del agua en los sistemas hídricos. 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).

Según Zoppas (2018), los nitratos son compuestos químicos inorgánicos derivados del nitrógeno, (NO_3^-). El nitrato es un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O) cuyo símbolo químico es NO_3^- . Normalmente, el nitrato no es peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (Muñoz et al., 2004).

Con frecuencia la contaminación por nitratos procede, principalmente, de fuentes no puntuales o difusas. Las fuentes de contaminación por nitratos en suelos y aguas (superficiales y subterráneas) se asocian, mayormente, a actividades agrícolas y ganaderas. Aunque en determinadas áreas, también pueden estar relacionadas a ciertas actividades industriales, especialmente las del sector agrícola (Rodríguez, 2009).

Los compuestos que contienen nitrógeno actúan como nutrientes en corrientes y ríos, por esta razón los fenómenos de eutrofización de lagos, pueden estar relacionados directamente con una elevada concentración de nitratos en el agua. Estos nutrientes generalmente provienen del escurrimiento de tierras agrícolas, pastos, aguas negras, detergentes y desechos de animales. Las reacciones de nitrato en el agua dulce pueden agotar el oxígeno y, en consecuencia, mueren los organismos acuáticos. Su presencia en altas concentraciones en agua potable es riesgosa para la salud (Muñoz et al., 2004).

Como lo indica Camilo et al. (2019) el pH, es uno de los parámetros que sirve para conocer la calidad de agua, este parámetro es una medida de la acidez o basicidad de una sustancia. El pH posee un ámbito de 0 a 14 donde 7 es el valor considerado como neutral. Cuando el valor del pH es menor de 7 es ácido, mientras que si el mismo valor está sobre este pH es básico. El valor recomendado del pH en el agua es de 6.5 a 8.5. El pH de aguas no contaminadas depende del balance entre el dióxido de

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

carbono, carbonato y bicarbonato; iones que siempre están presentes en las aguas naturales y cuya variación puede ser causada por la disolución de rocas carbonatadas, cambio atmosférico de CO₂, y de la respiración de los organismos acuáticos (Rodríguez, 2009). El pH es un importante parámetro del cual dependen gran número de procesos que tienen lugar en las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida de los peces de agua dulce y los invertebrados debe estar comprendido entre 6 y 9, y debe ser constante para permitir crecer y multiplicarse a los organismos (Jiménez & Barba, 2000). Valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los compuestos químicos del agua y movilizar los contaminantes, en este caso si tenemos niveles bajos de pH puede incrementarse la toxicidad del agua debido a que aumenta la solubilidad de metales como: hierro, cobre, zinc níquel, plomo y cadmio, entre otros (Carrillo & Urgilés, 2016).

La DBO o demanda bioquímica de oxígeno que es la cantidad necesaria de oxígeno para la oxidación de materia orgánica por medio de bacterias aeróbicas. (Raffo & Ruiz, 2014). Las aguas superficiales son, altamente susceptibles a la contaminación; siendo el vertedero tradicional a lo largo de toda la historia de la industria y las poblaciones. En el caso de los contaminantes residuos que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas, la materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua.

La demanda bioquímica de oxígeno tiene una relación directa con la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, si los niveles de DBO₅ son altos, existe reducción de la cantidad de oxígeno, debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta. En caso de no haber materia orgánica, no hay muchas bacterias que la descompongan y por ende la DBO₅ será menor y el oxígeno disuelto será mayor. En caso de que el nivel de la DBO₅ sea demasiado alta, los organismos acuáticos se verían gravemente afectados.

Los fosfatos en el agua, según lo indica Petra (2016), pueden producir la eutrofización. Tan solo 1 g de fosfato-fosforo provoca el crecimiento de hasta 100 g de alga. Estos provienen generalmente de fertilizantes, excreciones humanas y detergentes y productos de limpieza.

Según Raffo & Ruiz (2014), en ecología el término eutrofización está referido al enriquecimiento en nutriente de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes, la eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. En ecosistemas acuáticos, con la eutrofización empiezan a proliferar algas unicelulares en general algas verdes.

Diferentes cantidades de fosfatos son arrastrados por la lluvia desde los suelos agrícolas hacia cursos de agua. Las cantidades excesivas de fosfato producen un excesivo crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, las cuales consumen grandes cantidades de oxígeno (Carrillo & Urgilés, 2016).

La presencia de bacterias en los abastecimientos de agua es el parámetro de calidad más sensible. Las aguas naturales poseen una amplia variedad de microorganismos que forman parte del sistema ecológico y sus características biológicas se relacionan principalmente con la población de microorganismos existente y su impacto en la calidad del agua (Iriarte, 2019).

Una contaminación biológica es expuesta principalmente por transmisión de enfermedades (microorganismos patógenos presentes en el agua), debido a la presencia en muchas ocasiones de coliformes fecales.

En cuanto a los coliformes fecales, se establece que son microorganismos con una estructura parecida al de una bacteria común se llama *Escherichia coli* y se encuentran en el intestino del hombre y en el de otros animales (Mora & Calvo, 2010).

La presencia de coliformes fecales es un indicador de la calidad de agua para consumo humano, en los medios acuáticos los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales, porque su origen es principalmente fecal. Al presentarse éstos en el agua indican que existe contaminación de tipo microbiológica, lo que puede provocar enfermedades intestinales en personas que la consuman. Entre las enfermedades patógenas que se transmiten por el agua contaminada, podemos mencionar la fiebre tifoidea, la gastroenteritis viral o bacteriana y la hepatitis A (Carrillo & Urgilés, 2016).

Método de cálculo del ICA-NSF

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)

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

Donde:

ICA-NSF: Índice de Calidad de Agua método NSF

Si: Subíndice del parámetro i

Wi: Factor de ponderación para el Subíndice i

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

En el anexo 2 se muestran los pesos asignados a cada variable (González et al., 2013). En el anexo 3, aparecen las curvas de función según Brown (1970), que se utilizan para determinar por cada valor de la concentración de los parámetros contemplados en el ICA el valor Qi correspondiente.

En la Tabla 8, se muestra la escala utilizada por Quiroz et al. (2017), para interpretar el resultado final de la calidad de agua de acuerdo con el índice y el rango de clasificación.

Tabla 8. 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

Resultados ICA de la cuenca Alta, media y baja del río Portoviejo.

Para la obtención de los resultados obtenidos primero se realizó el muestreo en tres puntos de la cuenca media y tres en la baja obteniéndose los siguientes resultados en la tabla 9 y en la figura 3 la tabulación de dichos resultados:

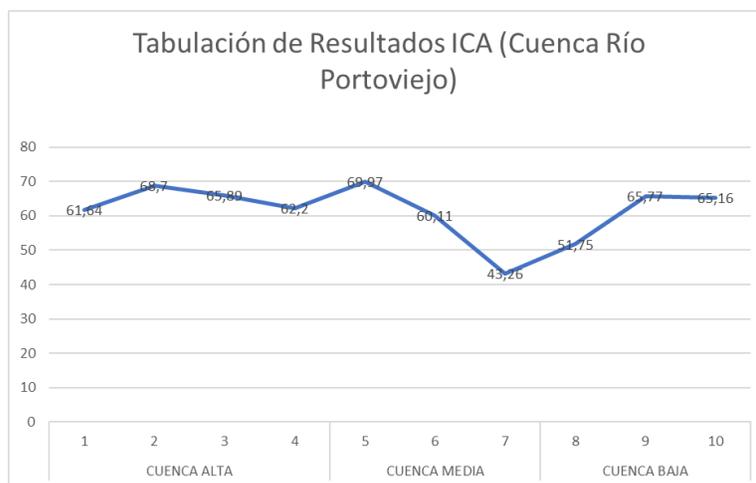


Figura 3. Tabulación de resultados

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Tabla 9. Resultados del ICA de las cuencas Alta, Media y Baja del río Portoviejo.

	CUENCA ALTA				CUENCA MEDIA			CUENCA BAJA		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9	Punto 10
LOCALIZACIÓN	Represa Poza Honda, punto de descarga Parroquia Honrató Vásquez (Cantón Santa Ana)	Puente vía Unión - Parroquia Ayacucho. (Cantón Santa Ana)	Puente de Santa Ana (Cantón Santa Ana)	Puente del Cady - Parroquia Colón. (Cantón Portoviejo)	Puente San Ignacio de la parroquia Colón. (Cantón Portoviejo)	Puente Puerto Real, centro de la ciudad (Cantón Portoviejo)	Puente Mejía, afueras de la ciudad. (Cantón Portoviejo)	Puente del sitio "Los Positos", parroquia Sosote (Cantón Portoviejo)	Puente del río "La Guayaba", El Higuerón (Cantón Rocafuerte)	Puente colgante del sitio "Puerto Salinas del Pueblito", 1 km de la Gilces de Crucita, (Cantón Portoviejo)
	$WQI = \frac{6 \sum_{i=1}^6 SI_i W_i}{6}$	68.7	65.89	62.2	69.97	60.11	43.26	51.75	65.77	65.16
Clasificación	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Media	Media	Mala	Mala	Media	Media

Según los resultados obtenidos de la tabla 5 en los puntos 1,2,3,4,5 ,6 y 10 su agua es de media calidad, mientras que en los puntos 7 (Puente Mejía, afueras de la ciudad, cantón Portoviejo), y 8 (puente del sitio "Los Positos", parroquia Sosote, Cantón Portoviejo) su ICA es malo.

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

Conclusiones de los resultados

En los puntos 7 en el puente Mejía y el punto 8 en el puente del sitio Los Positos en Higuerón existe un decremento de la calidad de agua, pasa de ser Media a Mala, esto se da por varios factores, los más ponderante son: el incremento de los niveles de coliformes fecales, incremento de fosfatos, disminución de oxígeno disuelto, incremento de nitratos, aumento de sólidos totales disueltos y turbidez.

Se denota que conforme pasa el afluente por los centros poblados y en sus salidas, se incrementa la contaminación, esta se da básicamente por contaminación de medios bióticos y abióticos externos, esto concuerda con un incremento de materia orgánica producto de las conexiones clandestinas evidenciadas a lo largo de la urbe y de las malas prácticas agrícolas.

La turbidez va en aumento debido a la deforestación de las zonas riveras contiguas al río, lo que hace muy complicado el tratamiento de aguas debido a la gran cantidad de sólidos totales disueltos.

Recomendaciones

Para la recuperación de la calidad de agua de las cuencas media y baja se recomienda acciones por parte de la ciudadanía, entidades estatales, Gobiernos Autónomos descentralizados, a corto, mediano y largo plazo tales como:

1. Concientizar a los agricultores y habitantes, sobre el manejo de desechos agrícolas ricos en nitratos y fosfatos.
2. Asesorar a los agricultores sobre el manejo de fertilizantes amigables con el medio ambiente.
3. Reforestación de las cuencas riverañas, con esta acción mejoraría el tema de los sólidos totales disueltos y por ende el grado de turbidez del agua, lo que a su vez ayudaría en la potabilización de la misma.
4. Incrementar los sistemas de alcantarillados sanitario y pluvial de los cantones aportantes a la cuenca.
5. Monitorear de manera constante por parte de las autoridades sobre el vertimiento de desechos comunes y producto de las actividades relacionadas con las lubricadoras de vehículos.
6. Impulsar programas de manejo de desechos sólidos comunes.
7. Programas en medios de comunicación masivos: radio, televisión y redes sociales sobre el cuidado del río.
8. Implementar sanciones más severas a los vertimientos clandestinos de AASS.

Referencias

1. Acuerdo 097A, Registro Oficial No. 387 407 (2015).
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
2. Benito, J., Flores, I., Justiniano, A., Rodríguez, C., Iván, C., Villavicencio, P., Alfonso, P., & Mielles, G. (2024). Polo de Capacitación , Investigación y Publicación (POCAIP) hace constar que : El artículo científico : “ Cuenca media y baja del río Portoviejo , análisis comparativo de su contaminación , y estrategias para mitigarla ” Abg . Néstor Darío Suárez Montes.
3. Camilo, L., Chacon, T., Augusto, C., & Celis, D. (2019). Aplicación de tecnologías SIG en el análisis geoespacial de determinantes de calidad del agua: Oxígeno disuelto , pH y temperatura del agua. luis.toto@unillanos.edu.co
4. Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica-Nsf De Los Ríos Mazar Y Pindilí g.
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
5. Cevallos, E., Gomez, 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), 1–16.
6. Coral, B., Blanco, D., & Velasco, J. (2006). GESTIÓN PÚBLICA, PRIVADA Y ACCIÓN COLECTIVA EN LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO: VISIONES Y CONFLICTOS. *Environmental Sciences*, 8(15), 28–29. bcoral_almeida@hotmail.com
7. Giler, A., Donoso, P., Arteaga, R., & Zaldumbide, D. (2020). Manejo sostenible de inundaciones , cuencas hidrográficas y riberas en la provincia de Manabí Sustainable management of floods , catchments and river banks in Manabí province Resumen Introducción. *Revista LA TECNICA*, 1(5), 55–72. agiler@pucem.edu.ec
8. 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. In *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
9. González, V., Caicedo, O., & Ramirez, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF , DINIUS y BMWP Application of water quality indices NSF , DINIUS and BMWP. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(1), 97–108. rgya@unalmed.edu.co

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

10. Herdiana, I. (2013). VARIACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA – NSF) EN UN TRAMO DE LA QUEBRADA CRUZ DE MOTUPE. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
11. INEC. (2010). Fascículo Provincial Manabí. *Inec*, 1(5), 1–7. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf> http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos_provinciales/manabi.pdf
12. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. In Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Issue 52). http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
13. Intriago-Flores, J. B. (2023). Estrategias de aminoración de contaminantes: Calidad del agua de la cuenca baja del río Portoviejo. I, 23.
14. Intriago-flores, J. B., & Guadamud-mieles, P. A. (2024). Julio Benito Intriago-Flores. 10, 359–382.
15. 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), 51–63. maria.iriarte@fundacionlasalle.org.ve
16. Iriarte, P. (2018). Rol de las armadas latinoamericanas ante las amenazas ambientales del Siglo XXI. *Marina de Guerra Del Peru*, 60(63), 61–72. iriarte@uc.edu.pe
17. Jiménez, A., & Barba, Á. (2000). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12–19. revistaing@uc.edu.ve
18. Julio, I., Intriago, B., Carlos, I., Valarezo, O., Jorge, I., Macias, L., Lucy, I., Solórzano, E., María, A., Pita, V., Cristian, I., Ordoñez, S., Luis, I., Álava, M., Rodrigo, I., & Noguera, J. (n.d.). Calidad de agua : ejemplos específicos.
19. Macias, R., & Diaz, 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), 1–7. <https://www.redalyc.org/html/1812/181220509053/>

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

20. Manuel, A., Prado, P., Benito, J., Flores, I., & Civil, I. (2025). Keyner Joshue Pincay Proaño. 11, 1617–1641.
21. 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), 428–432. revistaing@uc.edu.ve
22. 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), 21–35. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>
23. Muñoz, H., Armienta, M., & Vera, A. (2004). NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE HUAMANTLA, TLAXCALA, MÉXICO. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 20(3), 91–97. www.radalyc.org/articulo.oa?id=3702
24. Olguín, 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. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 1(2), 178–190. eugenoa@inecol.edu.mx
25. Organización Panamericana de la Salud. (2012). Agua y saneamiento. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
26. Patiño, P. (2016). Índices De Calidad De Agua en zonas altas. *Revista Ingenierías Universidad de Bogota.*, 7(16), 8–24. camcruz@univalle.edu.co
27. Petra, P. (2016). Eliminación y determinación de fosfato. *Lange GACH*, 1(2), 1–10. www.lange.com
28. Quiroz, Izquierdo, 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), 64–70. Iquiroz@utm.edu.ec
29. Quiroz, L., Izquierdo Elena, & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XXXVIII(3), 41–51. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf>
30. Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>

Comparativos del ICA, cuenca alta, media y baja del río Portoviejo

31. Ramírez, R., Montiel, V., & Vázquez, A. (2011). Programa Cropwat Para Planeación Y Manejo Del Recurso Hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 179–195. mavp52@hotmail.com
32. 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, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134. rodriguez@uc.org
33. Rojas, L., Macias, N., & Fonseca, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista Electrónica de La Agencia de Medio Ambiente*, 18(16), 1–5. http://www.ciesas.edu.mx/cee_xalapa/Informedegestionareassustantivas/Proyectosinstitucionales/aha.pdf
34. Salinas, V., Mancini, M., Biolé, F., & Liendo, A. (2017). Características físico-químicas del agua y composición de la ictiofauna del embalse Piedras Moras (Córdoba , Argentina). *Rev. MUs. ARgentino Cienc.*, 19(2), 201–209. mmancini@ayv.unrc.edu.ar
35. Torres, C. (2018). Escuela politécnica nacional. ctorres.sath@gmail.com
36. 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), 386–423. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
37. Valdes Bato, J., Samboni-Ruiz, N. E., & Carvajal-Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *TecnoLógicas*, 26, 165. <https://doi.org/10.22430/22565337.60>
38. Zoppas, F. (2018). Purificación de agua: eliminación de nitratos , nitritos y compuestos orgánicos utilizando catalizadores en polvo y estructurados. In *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL* (Vol. 1, Issue 4). www.univeersidaddellit.com