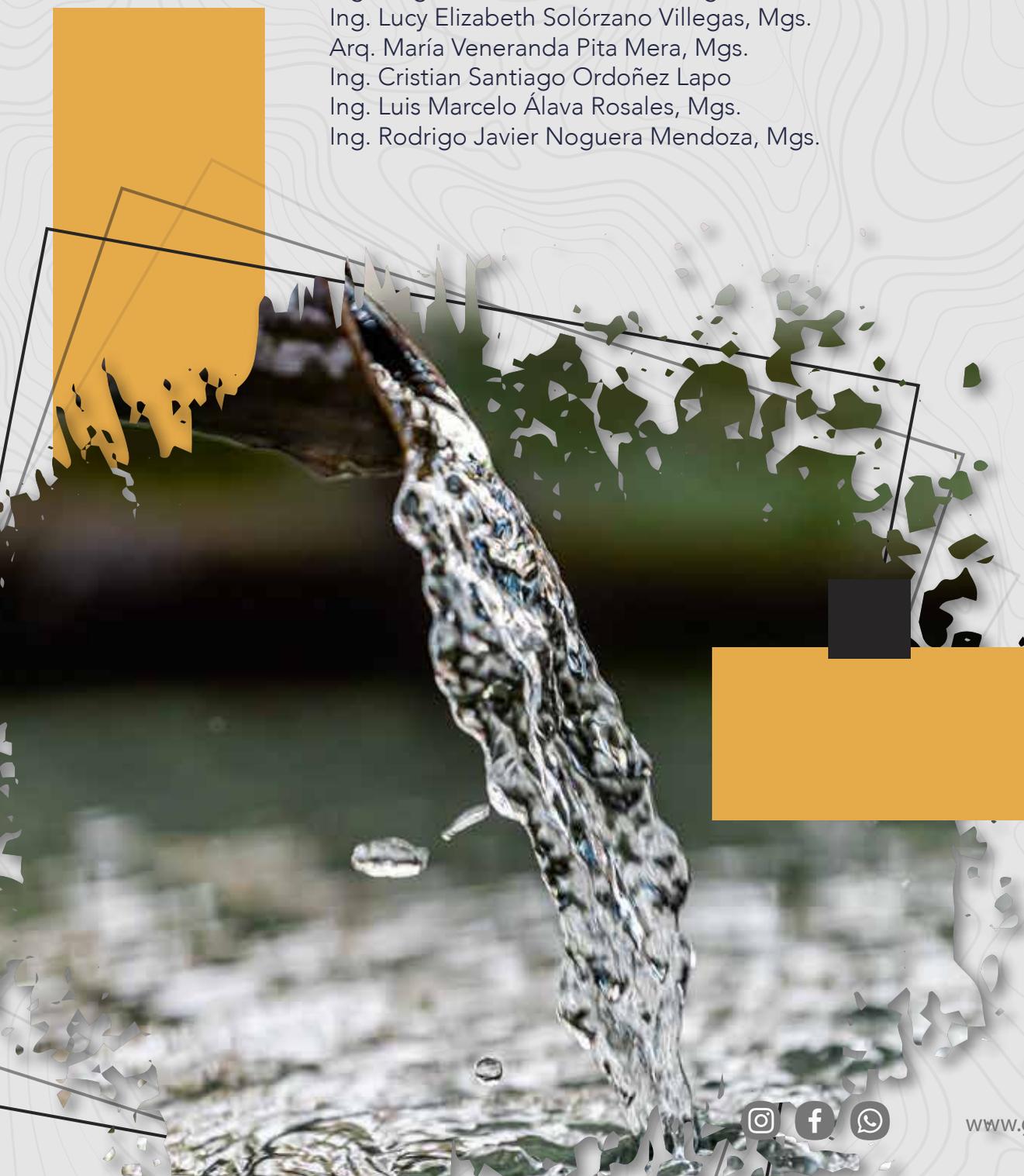


## Calidad de agua: ejemplos específicos

Ing. Julio Benito Intriago Flores, Mgs.  
Ing. Carlos Oswaldo Valarezo Beltrón, Mgs.  
Ing. Jorge Líder Macías Ramos, Mgs.  
Ing. Lucy Elizabeth Solórzano Villegas, Mgs.  
Arq. María Veneranda Pita Mera, Mgs.  
Ing. Cristian Santiago Ordoñez Lapo  
Ing. Luis Marcelo Álava Rosales, Mgs.  
Ing. Rodrigo Javier Noguera Mendoza, Mgs.





© Ing. Julio Benito Intriago Flores, Mgs.  
Ing. Carlos Oswaldo Valarezo Beltrón, Mgs.  
Ing. Jorge Líder Macías Ramos, Mgs.  
Ing. Lucy Elizabeth Solórzano Villegas, Mgs.  
Arq. María Veneranda Pita Mera, Mgs.  
Ing. Cristian Santiago Ordoñez Lapo  
Ing. Luis Marcelo Álava Rosales, Mgs.  
Ing. Rodrigo Javier Noguera Mendoza, Mgs.

© Editorial Grupo Compás, 2025  
Guayaquí, Ecuador  
[www.grupocompas.com](http://www.grupocompas.com)  
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2025

**ISBN: 978-9942-33-899-0**

Distribución online

 Acceso abierto

### **Cita**

Intriago, J., et. Al (2025) Calidad de agua: ejemplos específicos. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

## Contenido

PRÓLOGO .....	6
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
Composición Química del Agua .....	8
Geometría y polaridad .....	9
Polaridad del agua .....	9
Disolvente universal.....	10
Propiedades del agua .....	11
Viscosidad: .....	11
Tensión Superficial: .....	11
CAPITULO II. CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA.....	13
1. Importancia del recurso agua .....	14
El agua en el mundo .....	14
CAPITULO III. INDICADORES E INDICES AMBIENTALES .....	17
1. Indicador .....	17
Índice ambiental .....	17
Ventajas y desventajas de los índices ambientales .....	17
Calidad de agua y su índice. ....	18
Parámetros que conforman los ICA. ....	19
Importancia relativa de los parámetros del ICA.....	21
Metodologías para la obtención del ICA.....	22
Índice de DINIUS.....	24
Índice CETESB .....	25
Índice de Rojas (Colombia 1991) .....	26
Índice de BROWN o de la NSF (Estados Unidos, 1970) .....	26
Método de cálculo del ICA-NSF .....	31
Criterios generales del uso de agua según rangos ICA. ....	32
Para uso en pesca y vida acuática.....	32
Uso Industrial.....	32
Uso Recreativo .....	32
CAPITULO IV. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS. ....	34
1. Determinación de nitratos .....	34
Determinación de coliformes fecales [NMP]. ....	34
Determinación del pH.....	35

Determinación de la turbiedad .....	36
Determinación de la temperatura. ....	36
Determinación de fosfatos. ....	36
Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.....	37
Determinación de los sólidos totales disueltos.....	38
Determinación del oxígeno disuelto.....	38
CAPITULO V. BIOMONITOREO .....	40
1.    Macroinvertebrados.....	41
Los factores más importantes que controlan la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en cauces de agua son: .....	43
Índice IBF (Índice Biótico Familia) .....	53
Índice BMWP .....	54
Índice ABI .....	56
Índices de saprobiedad .....	57
Índice sapróbico: 1.0 a 4.0 y se obtiene mediante la siguiente ecuación: .....	57
Índices de diversidad .....	59
Índices Biológicos.....	60
CALIDAD DEL AGUA .....	61
CAPITULO VI. MUESTREOS .....	62
1.    Elementos importantes de una campaña de muestreo .....	62
Etapas de una campaña de muestreo .....	63
Visita Preliminar .....	63
Planificación .....	63
En el Campo.....	64
De regreso.....	64
Tipos de muestreos .....	65
A) Muestreo dirigido .....	65
B) Muestreo aleatorio simple .....	66
C) Muestreo aleatorio sistemático.....	66
Muestra Simple .....	67
Muestra Compuesta.....	68
Muestras compuestas por tiempo. - muestras de volumen constante, tomadas en intervalos.....	68
Muestras proporcionales al flujo. - cuando el tiempo entre muestras es constante, y el.....	68
Selección de los parámetros a evaluar: .....	68
☐ Se identifican las posibles fuentes de contaminación y posibles contaminantes. 68	
☐ Recolección de muestra representativa .....	68
☐ Calidad de la fuente: uniforme, variable.....	68
☐ Selección de puntos de muestreo .....	68
☐ Cantidad de muestra.....	68

Preservación .....	68
CALIDAD DE LA FUENTE .....	69
Selección de muestreos .....	70
Medición de campo. ....	71
Preparación de los equipos elección de los recipientes y limpieza .....	71
Protocolos de muestreos.....	75
Limpieza de los equipos.....	75
Control de calidad.....	75
Programa de aseguramiento de la calidad .....	76
Los procedimientos de muestreo .....	76
El modo de operación de los aparatos .....	76
Los procedimientos de calibración (en el campo y en el laboratorio).....	76
Las muestras de control: duplicadas y testigos. ....	76
Duplicado.....	76
Procedimiento: .....	76
Muestra "enriquecida" .....	77
2) Testigo de Transporte.....	77
Testigo de Terreno: .....	77
Testigo de lavado de equipos.....	78
Testigo de Filtro .....	78
Muestras de carácter legal .....	78
Cantidad de la muestra .....	79
Preservación .....	79
Conservación de las muestras.....	79
☒ El volumen mínimo.....	79
☒ El tipo de recipiente.....	79
☒ Los agentes de conservación requeridos.....	79
☒ Los plazos de análisis aceptables.....	79
Observaciones.....	81
<b>CAPITULO VII. CASOS ESPECÍFICOS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO .....</b>	<b>84</b>
1. Cuenca del río Portoviejo .....	84
Uso de suelo en la cuenca. ....	86
Humedad relativa y temperaturas en la cuenca.....	87
Población actual y su crecimiento proyectado en 20 años .....	87
Caso Uno - Cuenca media del Río Portoviejo .....	88
Muestreo y descripción de los trabajos .....	88
Resultados Obtenidos.....	90
Discusión de los resultados obtenidos.....	104
Caso dos- Cuenca baja del Río Portoviejo .....	105
Muestreo y descripción de los trabajos .....	105

Estrategias para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca media y baja del río Portoviejo. ....	117
Objetivo .....	118
Indicadores cualitativos y cuantitativos. ....	118
Métodos de verificación.....	119
Estrategias a realizar.....	119
Bibliografía.....	122

# PRÓLOGO

Este libro expone el tema de calidad de agua no sólo del punto de vista teórico sino también práctico, con dos ejemplos sobre el ICA en la cuenca media y baja del río Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador.

Este ejemplar, se encuentra dividido en siete capítulos que continuación detallaremos:

Capítulo I: Introducción. Aquí estaremos estudiando la composición química del agua, geometría y polaridad, disolventes, propiedades generales como viscosidad y tensión superficial.

Capitulo II: Clasificación de los cuerpos de agua. Analizaremos la importancia de este recurso hídrico, y el agua en el mundo.

Capitulo III: Indicadores ambientales. Veremos los índices ambientales, calidad de agua y su índice, parámetros ICA, diferentes metodologías a nivel mundial para la obtención del ICA, método de cálculo NSF., y los criterios de uso según rango ICA.

Capitulo IV: Metodología de medición de los parámetros de análisis. Estudiaremos la determinación de nitratos, coliformes fecales, pH, turbiedad, temperatura, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto.

Capitulo V: Biomonitorio. Macroinvertebrados, factores más importantes que controlan la distribución de los macroinvertebrados bentónicos, índice BMWP, índice ABI, índice de saprobiedad, índice de diversidad, índice biológico.

Capitulo VI: Muestreos. Elementos y etapas de una campaña de muestreos, planificación, trabajos de campo, tipos de muestreos, selección de los parámetros a evaluar, preservación de las muestras, calidad de la fuente, duplicado, cantidad de muestras entre otros.

Capitulo VII. Casos específicos sobre la calidad del agua de la cuenca del río Portoviejo. Uso de suelo de la cuenca media y baja, humedad relativa y temperaturas, resultados obtenidos, recomendaciones, estrategias para mitigar la contaminación.

## **Dedicatoria**

Dedicarle a Dios este logro sin ÉL nada pudiera ser, a la familia, Camila, Cristina, Conchita, Mónica, Félix, que son su amor y paciencia son el motor para seguir adelante, al equipo de trabajo y a ustedes lectores por el apoyo incondicional.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece (Filipense 4.13)”

# CAPITULO I

## 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.

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)

### 1. Composición Química del Agua

El agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Si bien su fórmula química  $H_2O$ , es relativamente simple, existe sin embargo muchas combinaciones posibles de los números atómicos  $z=1$  (hidrógeno) y  $z=8$  (oxígeno) según sus proporciones. El Hidrógeno y el Oxígeno contienen cada uno varios isótopos, como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del agua

Isótopo	Nombre común	Abundancia (% V/V)	
1	H	Hidrógeno	99.984
1		ligero	
2	H	Deuterio	0.016
1			
3	H	Tritio	Trazas
1			
14	O		Artificial
8			
15	O		Artificial
8			
16	O		99.76
8			
17	O		0.04
8			
18	O		0.02
8			
19	O		Artificial

## Isótopos

Son átomos de un mismo elemento que cuentan con el mismo número de protones (Z) pero diferente masa atómica (A).

Los electrones son los que intervienen en las reacciones químicas, en consecuencia, los isótopos de un mismo elemento tienen un comportamiento químico semejante.

El agua pura es entonces una mezcla de varias moléculas químicamente idénticas pero que tienen propiedades físicas distintas. Sin embargo, el agua ordinaria está constituida en gran parte de moléculas  ${}^1\text{H}_2\text{}^{16}\text{O}$

## 2. Geometría y polaridad

La **geometría y polaridad del agua** son conceptos fundamentales para comprender sus propiedades y comportamiento.

### Geometría del agua

La molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) tiene una **geometría angular** o **en forma de "V"**. Esto se debe a la disposición de los átomos en la molécula:

1. **Átomos de oxígeno e hidrógeno:** El átomo de oxígeno (O) está unido a dos átomos de hidrógeno (H) mediante enlaces covalentes. Los átomos de hidrógeno están en un ángulo de aproximadamente **104.5 grados** entre sí, lo que da como resultado la forma angular o en "V".
2. **Distribución electrónica:** El oxígeno, por ser más electronegativo que el hidrógeno, atrae más los electrones de enlace, lo que provoca una carga parcial negativa en el oxígeno y una carga parcial positiva en los hidrógenos.

## 3. Polaridad del agua

La **polaridad** del agua se refiere a la distribución desigual de las cargas eléctricas dentro de la molécula debido a la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrógeno.

1. **Carga parcial:** El átomo de oxígeno tiene una carga parcial negativa ( $\delta^-$ ), mientras que los átomos de hidrógeno tienen una carga parcial positiva ( $\delta^+$ ).
2. **Distribución asimétrica:** Debido a la forma angular de la molécula, las cargas parciales no se distribuyen uniformemente, lo que genera un **dipolo eléctrico**.

El oxígeno, siendo más electronegativo, atrae más electrones hacia sí, mientras que los hidrógenos quedan más "desprotegidos", creando un desequilibrio de cargas.

Esta polaridad es responsable de varias propiedades clave del agua, como:

- **Alta cohesión:** Las moléculas de agua se atraen entre sí debido a las fuerzas de enlace por puentes de hidrógeno.
- **Alta solubilidad:** El agua es un excelente disolvente para muchas sustancias polares e iónicas.
- **Punto de ebullición y fusión altos:** Debido a los puentes de hidrógeno, el agua tiene temperaturas de ebullición y fusión relativamente altas en comparación con otras moléculas de tamaño similar.

Se adopta para la molécula de H<sub>2</sub>O una estructura triangular, donde el ángulo formado por los tres átomos es de 104.5° y donde la longitud del enlace O-H es 0.096 nm.(García Franco & Garriz Ruiz, 2007). El Oxígeno está en el centro de un tetraedro donde los átomos de hidrógeno ocupan dos vértices. Este posee más de dos pares en solitario o no enlazados, que juegan un rol muy importante en la asociación entre moléculas de agua o con otras moléculas.

#### 4. Disolvente universal

Debido a la naturaleza polar del agua, estas moléculas rodean cationes y aniones de compuestos iónicos disueltos en ella. Los extremos negativos de las moléculas del agua se orientan a los cationes y los extremos positivos hacia los aniones y esto la convierte en un buen disolvente, como se puede ver en la figura 1.

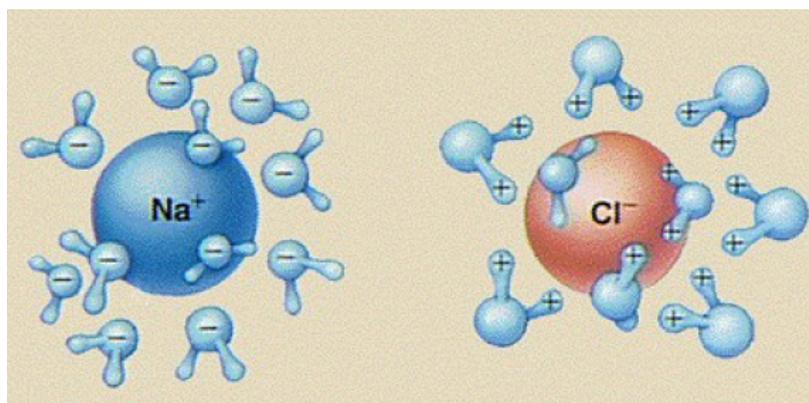


Figura 1. Interacción entre cationes y aniones

# Propiedades del agua

Están presente en la naturaleza en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

- Punto de fusión: 0°C
- Punto de ebullición: 100°C
- Calor latente de evaporación (100 °C): 540 cal/g
- Calor latente de fusión (0°C): 79.7 cal/g
- Tiene un alto calor específico: 1cal/g °C. El agua retiene el calor absorbido por largos periodos de tiempo y requiere mucho calor para elevar su temperatura.
- Densidad: El agua alcanza su densidad máxima a 4 °C

## Viscosidad:

Es la propiedad que tiene un líquido de oponer resistencia al movimiento. La viscosidad en el agua es una propiedad física que está en función de la temperatura y de la concentración de las sales disueltas en ella. La temperatura ejerce mayor acción sobre la viscosidad que la concentración de sales.

La viscosidad de estas moléculas de agua debe estar directamente relacionada con su desarrollo estructural, ya que depende del tipo de enlace y coordinación entre las moléculas. Un método, aunque indirecto, de determinar la viscosidad media del agua adsorbida puede consistir en efectuar su cálculo mediante la ecuación generalizada de la viscosidad de Ree y Eyring (2). Por esta razón, se ha abordado esta investigación determinando la curva de flujo de suspensiones de montmorillonita y de sepiolita y calculando sus parámetros reológicos, uno de los cuales es el de la viscosidad del medio dispersante(Linares & Huertas, 1970).

## Tensión Superficial:

Debido a su enlace de hidrógeno, el agua posee alta tensión superficial, la cual decrece con el aumento de la temperatura y con la cantidad de sustancias en ella disueltas. Por ejemplo, de forma artificial, la tensión superficial se ve reducida notablemente por la presencia de detergentes. En la figura 2 se puede apreciar ejemplos de esta propiedad.

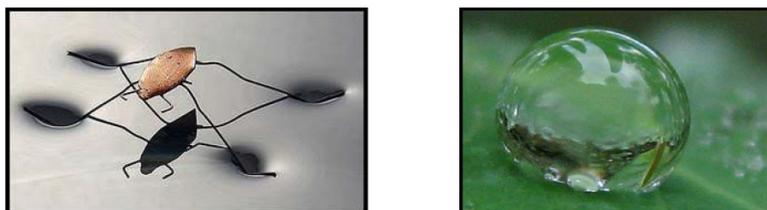


Figura 2. Ejemplo de tensión superficial en la naturaleza

Esta propiedad ayuda a:

- Alta capacidad para solubilizar compuestos orgánicos e inorgánicos.
- Participa como agente químico reactivo en la hidratación, hidrólisis y oxidación-reducción.
- Constituye del 50% al 90% de la masa de los organismos vivos.
- Es el compuesto de mayor distribución en la Biosfera
- Constituye el principal agente de transporte de muchas sustancias nutritivas en los seres vivos.
- Esencial en todos los procesos metabólicos

## CAPITULO II

### CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmósfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico. Dado que el ciclo del agua no se discute en este libro, sí es necesario definir los cuerpos de agua que componen la Tierra.

*Ríos.* Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje en su topografía. En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo.

*Lagos.* En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los períodos de estratificación.

*Aguas subterráneas.* En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre 10 y 10 m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato, la dinámica del agua en los acuíferos es bastante complicada.

Existe otro tipo de cuerpos de agua de carácter transitorio que están caracterizados por su variabilidad hidrodinámica. Entre ellos, los más importantes son:

- Embalses. Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos y ríos y se caracterizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación
- Ciénagas. Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático.
- Estuarios. Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.

Como se puede observar, la variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza los ríos es la

variabilidad del caudal. En los lagos y embalses lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras que en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo.

### **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 a 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.

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.

### **El agua en el mundo**

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

En la tabla 2. se presenta la estimación de la disponibilidad del agua en valores por Km<sup>3</sup> 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 2.** Distribución del agua en la tierra

Situación del agua	Volumen en Km <sup>3</sup>		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
Glasiere 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, detallaremos en la tabla 3 la distribución de los recursos hídricos superficiales por países desde los más ricos a los más pobres.

**Tabla 3.** Distribución de los recursos hídricos superficiales por países

Los países más ricos	Cantidad Km <sup>3</sup> / año	Los países más pobres	Cantidad Km <sup>3</sup> / 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 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.

# **CAPITULO III**

## **INDICADORES E INDICES AMBIENTALES**

### **Indicador**

Capacidad de un elemento para informar acerca de las condiciones y/o características del sistema al que pertenece. Se refieren a medidas simples de factores o especies biológicas, bajo la hipótesis de que estas medidas son indicativas del sistema al cual se hace referencia.

### **Índice ambiental**

Es un número o clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos o información ambiental cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil a los tomadores de decisión y al público.

De esta forma un "índice" es una jerarquización o, en general, una ordenación de "indicadores" bajo la finalidad de cuantificar una o un conjunto de características del sistema en estudio, sin necesidad de abordarlo en su totalidad.

## **5. Ventajas y desventajas de los índices ambientales**

### Ventajas

- Método simple conciso y rápido.
- Muestra la variable espacial y temporal de la calidad del agua
- Transforma gran variedad de indicadores ambientales en un sistema de fácil comunicación.
- Ayuda en la definición de prioridades con fines de gestión.
- Mejora la comunicación con el público y su concientización sobre las condiciones de calidad del agua.
- Identifica parámetros prioritarios para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.
- Útil en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.

### Desventajas

- Entrega información parcial de la calidad del agua.
- Varios índices se diseñan para ecosistemas y/o regiones específicas.
- Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
- Se basan en generalidades conceptuales que no son de aplicación universal.

- Está limitado espacial y temporalmente por lo que puede dar lecturas erráticas en un lugar y época específicos.
- Los resultados son altamente sensitivos en función de la estructura del índice.
- Evalúan parcialmente los riesgos presentes en el agua.

### **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 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.
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
18. Turbiedad

A continuación, en la tabla 4 detallaremos sus coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA.

Tabla 4. 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
- Nutrientes.

A continuación, se agruparán en la tabla 5 los parámetros para ICA's particulares

Tabla 5. Agrupación de parámetros para ICA's particulares

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

### Metodologías para la obtención del ICA

A continuación, detallaremos en la Figura 2 las diferentes metodologías que se utilizan a nivel mundial propuesta para la obtención del ICA.

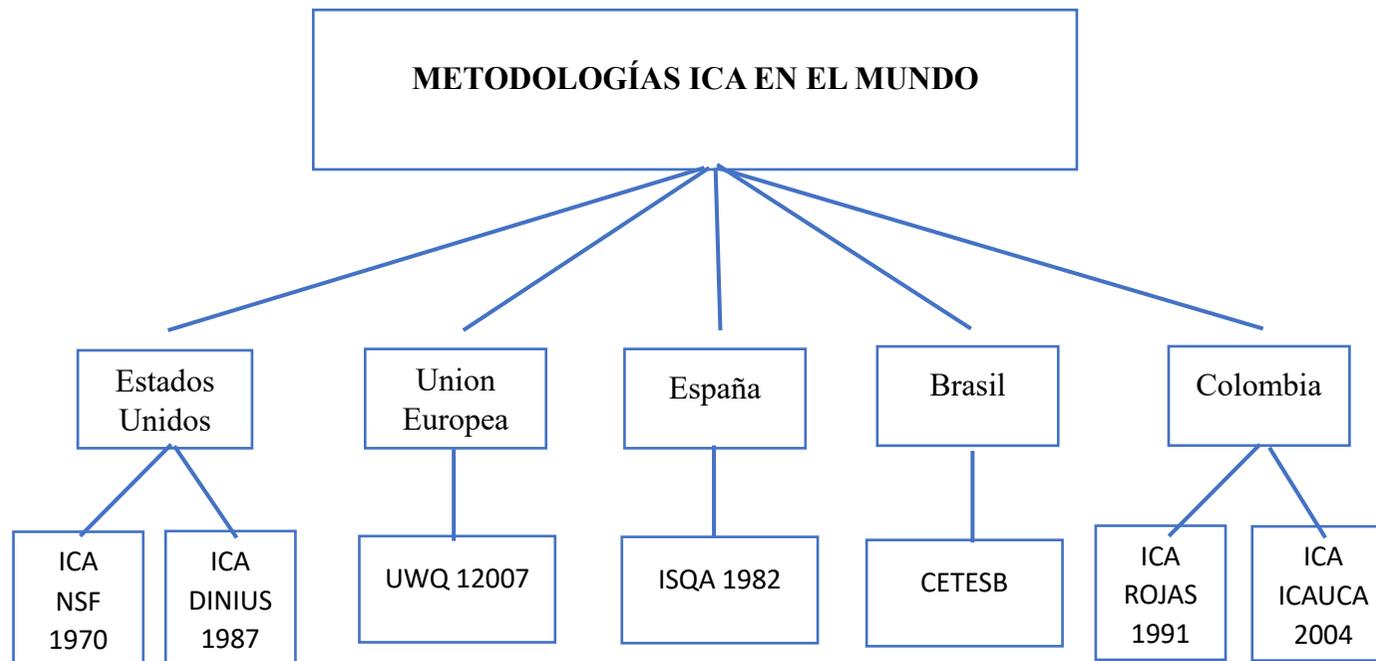


Figura 2. Diferentes metodologías a nivel mundial propuestas para la obtención de los ICA.

## 1. Índice de DINIUS

El **Índice de Calidad de Agua (ICA) DINIUS** es un indicador que se utiliza para evaluar la calidad del agua en cuerpos hídricos, como ríos, lagos o embalses. Este índice permite clasificar el estado del agua en función de una serie de parámetros:

- Oxígeno disuelto
- DBO5
- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- pH
- Alcalinidad
- Dureza
- Cloruros
- Conductividad específica
- Temperatura
- Color
- Nitratos

**DINIUS** es un acrónimo que hace referencia a un sistema de clasificación y evaluación de la calidad del agua, y se caracteriza por integrar varios indicadores de calidad en una única escala, facilitando la comprensión y comunicación de los resultados. Su objetivo es ofrecer una herramienta de monitoreo que pueda ser utilizada por autoridades ambientales y organismos de gestión del agua para tomar decisiones informadas sobre la protección y el manejo de los recursos hídricos.

El **ICA DINIUS** se calcula a partir de la combinación ponderada de los valores de los parámetros analizados, y el resultado final permite categorizar el agua en distintos niveles de calidad, desde excelente hasta deficiente que van de 0 a 100, según los umbrales establecidos.

La ecuación utilizada es la ecuación 1.1

$$IWQ = \sum_{i=1}^n I_i^{w_i} \quad (1.1)$$

Donde:

IWQ: índice de calidad del agua

$I_i$  = subíndice de la variable contaminante

$W_i$ = peso de la variable contaminante

N: número de variables

Este método contempla criterios para seis usos de agua:

- Abastecimiento público de agua
- Recreación
- Vida acuática (peces)
- Vida acuática (mariscos)
- Agricultura
- Industria

## 2. Índice CETESB

Las variables de este ICA reflejan principalmente, la contaminación de cuerpos híbridos provocada por la evacuación de aguas residuales domésticas. Fue desarrollado para evaluar la calidad del agua con miras a su utilización en el suministro público, considerando también aspectos relacionados con su tratamiento (IAEA, 2008).

Planteó una modificación al ICA multiplicativo de la NSF según las condiciones específicas de los ríos del Estado de Sao Paulo, consistente en el cambio de los parámetros Nitratos y Fosfatos por Nitrógeno Total y Fósforo Total respectivamente, manteniendo el resto de parámetro y las mismas funciones de los subíndices y los pesos de cada parámetro establecidas en el ICA-NSF.

A medida que la urbanización e industrialización de ciertas áreas en el Estado de Sao Paulo han ido avanzando, se analizó que el IQA presentaba limitaciones puesto que su único uso era el de abastecimiento público. Como consecuencia, a partir del año 2002 la CETESB ha considerado un mayor número de parámetros y usos del recurso hídrico. En la actualidad maneja los siguientes índices específicos para cada uso:

- IAP: índice de calidad de agua cruda para abastecimiento público
- IVA: índice para la preservación de la vida acuática
- IS – índice para natación

### 3. Índice de Rojas (Colombia 1991)

Para la generación de los subíndices de calidad Rojas (1991) mantuvo las funciones de calidad de la NSF, para los parámetros seleccionados. En cuanto a la clasificación, estableció una categorización, considerando el uso de esta fuente para abastecimiento humano.

Este índice ha sido empleado como referencia para la adaptación de otros índices para ríos tropicales

Entre los principales parámetros a analizar tenemos:

- Oxígeno disuelto
- DBO5
- Coliformes fecales
- pH
- Turbidez
- Sólidos totales

### 4. 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 republica 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 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 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).

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, ( $\text{NO}_3^-$ ). El nitrato es un compuesto inorgánico combinado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O) cuyo símbolo químico es  $\text{NO}_3^-$ . 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 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 CO<sub>2</sub>, 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 DBO<sub>5</sub> 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 nutrientes 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 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).

## 5. 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

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 6, 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 6.** 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 "Si" de cada parámetro, se detallan en la Tabla 7.

## **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 7. 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	$SI_{CF} = e^{(4,5922 - 0,1063 \text{Ln}(CF) - 0,0152 [\text{Ln}(CF)]^2)}$ Si coliformes fec. > $\frac{10^5}{100 \text{ ml}}$ , $SI_{CF} = 2$
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades(pH)	$SI_{pH} = e^{(-7,6434 \text{pH} + 18,5352 \frac{1}{\text{pH}} + 14,625 [\text{Ln}(\text{pH})]^2)}$ Si pH < 2,0 ó pH > 12,0 und, $SI_{pH} = 0$
Demanda bioquímica de Oxígeno(DBO5)	mg/L	$SI_{DBO5} = e^{(4,5824 - 0,1078 \text{DBO5} + 2,4581 \times 10^{-14} e^{\frac{1}{\text{DBO5}}})}$ Si DBO5 > 30 mg/L, $SI_{DBO5} = 2$
Fosfatos ( <b>PO<sub>4</sub></b> )	mg/L	$SI_{FT} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143 \text{PO}_4 + 0,00074(\text{PO}_4)^2}$ Si PO4 > 10mg/L, $SI_{PO4} = 2$
Nitratos ( <b>N – NO<sub>3</sub></b> )	mg/L	$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043N + 2,8813 * 10^{-5} N^2)}$ Si N > 100mg/L, $SI_N = 1$
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	$SI_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 * 10^{-5} ST + 9,265 * 10^{-8} ST^2}$ Si ST > 500 mg/L, $SI_{ST} = 20$
Turbiedad (Turb)	UNT	$SI_{Turb} = e^{(4,561 - 0,0196 \text{Turb} + 2,4167 \times 10^{-5} \text{Turb}^2)}$ Si Turb > 100 UNT, $SI_{Turb} = 5$

## CAPITULO IV

# METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS

Se pueden apreciar, las fotografías del muestreo y los equipos utilizados para la medición de los para parámetros analizados en el ICA-NSF, en los anexos del 4 al 11, tales como: nitratos, coliformes fecales, pH, turbiedad, temperatura, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto. A continuación, se detalla la metodología aplicada a cada parámetro, de acuerdo al STANDAR METHODS FOR EXAMINATION WATER AND WASTEWATER (Rice, E. W., Bridgewater, L., Association, A. P. H., Association, A. W. W., & Federation, W. E. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: American Public Health Association)(Jenkins, 1982)

### Determinación de nitratos

Una vez obtenidas las muestras, se llevaron a laboratorio tomando las medidas de custodia antes mencionadas, y se ejecutó las pruebas respectivas con el equipo Espectrofotómetro HACH, siguiendo siete pasos que a continuación se detallan, aplicando el método de referencia APHA-4500- $NO_3^-$  E.

1. Seleccionar el test.
2. Insertar el adaptador con el alojamiento para cubetas de una pulgada cuadradas y llenar la cubeta cuadrada hasta la marca de 10ml con la muestra.
3. La muestra preparada: añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta con rotación, para mezclar, y seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok. Comienza un periodo de reacción de 10minutos.
4. Preparación del blanco: después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada hasta la marca de 10ml con muestra.
5. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el equipo, cerrar la tapa, seleccionar en la pantalla cero.
6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar en el equipo. Cerrar la tapa. El resultado aparecerá en mg/L  $NO_3^-$ -N.
7. Registrar los valores obtenidos.

### 7. Determinación de coliformes fecales [NMP].

Una vez obtenidas las muestras, se llevaron a laboratorio tomando las medidas de custodia antes mencionadas, y se ejecutó las pruebas respectivas, aplicando el

método de referencia APHA 9221 F. Importante indicar que para la ejecución de la prueba se dividió en dos partes, una aprueba presuntiva y una confirmativa, que a continuación se detallan:

#### Prueba presuntiva

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

#### Prueba confirmativa

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

### **8. Determinación del pH**

La medición del pH en los tres puntos establecidos, se la realizó en situ, utilizando pH metro basados en el método de referencia APHA 4500-HB, siguiendo los siguientes pasos:

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

## **9. Determinación de la turbiedad**

Para la determinación de la turbiedad se siguen los siguientes pasos que a continuación se detallan, aplicando el método de referencia APHA 2130 B.

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

## **10. Determinación de la temperatura.**

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

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

## **11. Determinación de fosfatos.**

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

- 1) Encender el reactor de DQO (Demanda química de oxígeno). Calentar a 150°C. Colocar el escudo plástico adelante del reactor.
- 2) Ingresar el número de programa almacenado por el usuario para fósforo reactivo, Test 'N Tube. Presionar: 535 ENTER En la pantalla se leerá: Fijar nm par 890.
- 3) Girar el cuadrante de la longitud de onda hasta que la pantalla pequeña muestre: 890 nm Cuando se ajuste la longitud de onda correcta, en la pantalla aparecerá rápidamente: Muestra cero luego: mg/L PO43-TNT.

- 4) Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 5,0 ml de muestra a un tubo para fósforo total e hidrolizable con ácido.
- 5) Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de persulfato de potasio para fosfato al tubo.
- 6) Tapar herméticamente y agitar para disolver.
- 7) Calentar el tubo durante 30 minutos a 150°C.
- 8) Retirar cuidadosamente el tubo del reactor. Colocarlo en un soporte para tubos de ensayo y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- 9) Utilizar una pipeta Ten Sette para agregar 2 ml de hidróxido de sodio 1,54 N al tubo. Tapar y mezclar.
- 10) Colocar el adaptador de DQO en el soporte de la celda con el indicador a la derecha.
- 11) Limpiar el exterior del tubo con una toalla.
- 12) Colocar el tubo de muestreo en el adaptador con el logotipo de Hach de cara al frente del instrumento. Colocar la tapa en el adaptador.
- 13) Presionar ZERO en la pantalla se leerá: Puesta a cero luego: 0.00 mg/L PO<sub>4</sub> 3-TNT Con un embudo, agregar los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato Phos y ver 3 en el tubo.
- 14) Tapar herméticamente y agitar durante 10 a 15 segundos.
- 15) Presionar: SHIFT TIMER. Comenzará un período de espera de 2 minutos.
- 16) Cuando suene el cronómetro, limpiar el exterior del tubo de muestreo con una toalla.
- 17) Colocar el tubo de muestreo preparado en el adaptador con el logo de Hach de cara al frente del instrumento. Tapar el adaptador.
- 18) Presionar: READ, en la pantalla se leerá: Leyendo...luego en la pantalla aparecerán los resultados en mg/l de PO<sub>4</sub> 3.

## 12. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.

Los pasos que a continuación se detallan, se aplica el método de referencia APHA 5210D.

- 1) Preparar el agua para diluir la muestra utilizando una bolsa de solución tampón de nutriente de DBO.
- 2) Determinar el rango de los volúmenes de las muestras requeridos por la muestra.
- 3) Medir con una pipeta serológica una serie graduada de por lo menos cuatro cm, pero preferentemente cinco o seis porciones de muestra bien mezclada y transferirlas a botellas separadas de DBO de 300 ml y con tapón de vidrio. Agitarla muestra con la pipeta antes de colocar con la pipeta cada porción.
- 4) Agregar dos chorros de inhibidor de nitrificación (aproximadamente 0,16 g) a cada botella, si se desea.

- 5) Llenar cada botella exactamente hasta el pico con agua de dilución sembrada o sin sembrar. Al agregar el agua, dejar que la misma caiga lentamente por los lados de la botella para evitar la formación de burbujas.
- 6) Tapar la botella cuidando de no atrapar ninguna burbuja de aire. Apretar el tapón de la botella con el dedo, luego invertir la botella varias veces para que se mezcle.
- 7) Agregar al pico de la botella DBO agua de dilución suficiente para formar un sello de agua.
- 8) Colocar una tapa de plástico en el pico de cada botella y colocar las botellas en una incubadora a  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Incubar en la oscuridad durante cinco días.
- 9) Cuando se haya completado el período de incubación, determinar el contenido de oxígeno disuelto (mg/l de OD restante) en cada botella. Nota: Este procedimiento ha sido aprobado por la EPA (Agencia para la protección del ambiente).

### **13. Determinación de los sólidos totales disueltos.**

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

- 1) Enjuague la celda con la solución de KCl estándar y ajuste equipo al valor de 1412 de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- 2) Enjuague la celda con varias porciones de la muestra, pase la muestra a un beaker, ajuste la temperatura de la muestra a  $25^{\circ}\text{C}$  e introduzca la celda en la muestra.
- 3) Tome la lectura directamente del equipo.

### **14. Determinación del oxígeno disuelto.**

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

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

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

Acotando lo descrito, en la tabla 8, se detallan los equipos y métodos utilizados en la medición de los parámetros de análisis.

**Tabla 8.** Equipos utilizados

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

Una vez analizados los parámetros en situ y laboratorio se calculó el ICA-NSF aplicando la ecuación 1, los valores ponderados  $W_i$  y en función de los subíndices (SI).

# **CAPITULO V**

## **BIOMONITOREO**

El uso de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua comenzó hace más de cien años en Europa y sigue siendo una herramienta útil y económica para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos. A diferencia de los análisis físico-químicos, que sólo reflejan la condición del agua en el momento del muestreo, los bioindicadores permiten observar tendencias a lo largo del tiempo y detectar eventos de toxicidad que pueden no ser identificados por métodos convencionales. Aunque los macroinvertebrados son muy útiles, tienen limitaciones, como no poder detectar patógenos o sustancias químicas peligrosas para la salud humana, por lo tanto, es importante combinarlos con los análisis físico-químicos.(Springer, 2010)

Los macroinvertebrados son preferidos por su amplia distribución geográfica, su gran diversidad, su vida relativamente larga y su movilidad limitada, lo que facilita la evaluación de la contaminación en diferentes lugares. Además, sus ciclos de vida permiten observar los efectos de contaminaciones intermitentes o concentraciones variables de contaminantes. Existen diversas metodologías e índices para evaluar la calidad del agua usando macroinvertebrados, adaptados a diferentes regiones y cuencas.

Los bioindicadores se utilizan para estudios diagnósticos puntuales y de biomonitorio periódico, estos métodos pueden implicar la comparación entre diferentes sitios o la vigilancia a largo plazo, como en proyectos de construcción de represas hidroeléctricas. La mayoría de los índices y métodos están diseñados para ríos y quebradas, aunque también se aplican en lagos y humedales. Los índices bióticos, como el BMWP y el FBI, son ampliamente utilizados, y existen índices multimétricos que combinan diferentes métricas. Los métodos multivariados y los modelos predictivos, como el RIVPACS o redes neuronales, también se emplean, aunque requieren mayor complejidad técnica.

Un aspecto clave en el uso de los macroinvertebrados es la resolución taxonómica. Aunque la identificación a nivel de especie es más precisa, en los países tropicales suele realizarse a nivel de familia debido a la gran diversidad y la falta de expertos. Este tipo de bioindicación es fundamental para evaluar la calidad del agua en diferentes ecosistemas, como ríos, lagos y humedales, y su aplicación en América Latina y Costa Rica está en crecimiento.

## Macroinvertebrados

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que se pueden ver a simple vista. Se llaman macro porque son grandes: miden entre 2 milímetros y 30 centímetros, invertebrados porque no tienen huesos, y acuáticos porque viven en el agua: esteros, ríos, lagos y lagunas.

Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y, al usarlos en el monitoreo, puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra.

Los macroinvertebrados incluyen larvas de insectos como mosquitos, caballitos del diablo, libélulas o helicópteros, chinches o chicaposos, perros de agua o moscas de aliso. Inician su vida en el agua y luego se convierten en insectos de vida terrestre.

Dentro de los principales macroinvertebrados tenemos:

- Las moscas de piedra sólo viven en agua muy limpia y desaparecen cuando el agua está contaminada, por el contrario, algunas larvas o gusanos de otras moscas que resisten la contaminación y abundan en agua de baja calidad. (ver figura 3)



Figura 3. Mosca de piedra.

En la figura 4 tenemos: los anfípodos (1 y 2), larva de odonato o libélula (3), hirudineos o sanguijuelas (4), adulto y larva de coleóptero de la familia Elmidae (5) y larvas de plecópteros

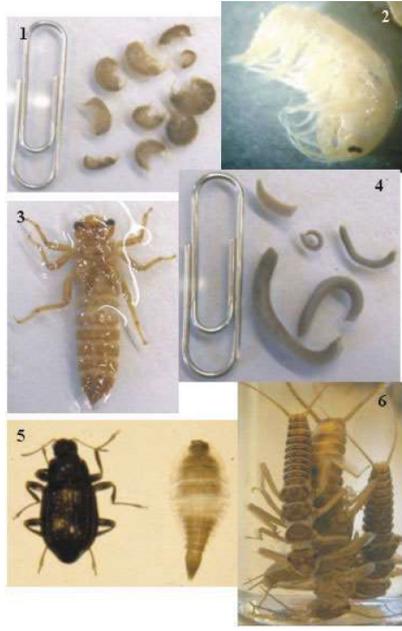


Figura 4. Macroinvertebrados

Además de los insectos, otros macroinvertebrados son: caracoles, conchas, cangrejos azules, camarones de río o manchillas, planarias, lombrices de agua, ácaros de agua y sanguijuelas o chupa-sangres, como se puede apreciar en la figura 5.



Figura 5. Otros macroinvertebrados

Los macroinvertebrados pueden vivir:

- En hojas flotantes y en sus restos,
- En troncos caídos y en descomposición,
- En el lodo o en la arena del fondo del río,
- Sobre o debajo de las piedras,
- Donde el agua es más correntosa; y,
- En lagunas, lagos, aguas estancadas, pozas y charcos.

#### 15. Los factores más importantes que controlan la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en cauces de agua son:

##### Velocidad de corriente

- Cuanto más veloz sea la corriente, más diferente será la fauna bentónica
- Con respecto a la hallada en ambientes lenticos, ello se debe a que; cuanto
- Mayor es la velocidad de flujo más delgada es la capa limítrofe o zona adyacente al fondo en la cual la velocidad se aproxima a cero. (Boltovskoy

##### Tipo de sustrato

Está relacionado con el factor anterior ya que cuanto mayor es la velocidad de la corriente, más grueso es el sedimento. En general los fondos arenosos albergan pocas especies con pocos individuos por especie. Los fondos pedregosos suelen ser más ricos tanto en biodiversidad como en biomasa, en especial cuando las rocas son grandes.

##### Factores físico-químicos

Tales como temperatura, acidez, dureza, etc. La concentración de oxígeno es alta y bastante constante en ambientes lóticos, por lo que no suele ser factor limitante. Sin embargo, si puede serlo en ambientes contaminados o remansos de un río o arroyo.

##### Factores bióticos

Los **factores bióticos en el agua** son los componentes vivos de los ecosistemas acuáticos que interactúan entre sí y con su entorno, influyendo en la calidad y salud de los cuerpos de agua. Estos factores incluyen a todos los organismos acuáticos, como plantas, animales, bacterias, hongos y otros microorganismos, y las interacciones que ocurren entre ellos. Los principales factores bióticos en el agua son:

#### 1. Productores primarios (fitoplancton y macrófitos acuáticos):

Los **fitopláctones** son organismos microscópicos que realizan la fotosíntesis y producen oxígeno, siendo la base de la cadena alimentaria acuática. Incluyen algas y cianobacterias.

Las **macrófitas acuáticas** son plantas que viven en el agua y también producen oxígeno, proporcionando hábitat y alimento a otros organismos.

## 2. Consumidores (zooplancton, peces, invertebrados acuáticos):

- El **zooplancton** está formado por pequeños animales que se alimentan de fitoplancton y otros microorganismos.
- Los **peces** son consumidores primarios, secundarios o terciarios dependiendo de su dieta y posición en la cadena trófica.
- Los **macroinvertebrados acuáticos** (como insectos acuáticos, moluscos, crustáceos) también son consumidores importantes, ya que participan en el reciclaje de nutrientes y en la descomposición de materia orgánica.

## 3. Descomponedores (bacterias y hongos):

Las **bacterias** y los **hongos** descomponen la materia orgánica muerta, reciclando nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que son esenciales para la producción primaria. Este proceso de descomposición también ayuda a mantener el equilibrio del ecosistema acuático.

## 4. Interacciones bióticas:

**Competencia:** Organismos que compiten por recursos limitados como oxígeno, nutrientes y espacio.

**Depredación:** Relación entre depredadores (como peces carnívoros) y presas (como peces pequeños o invertebrados).

**Mutualismo:** Interacciones beneficiosas para ambas especies, como las que ocurren entre ciertos peces y bacterias que limpian sus cuerpos.

**Parasitismo:** Algunos organismos acuáticos, como los peces, pueden ser hospedadores de parásitos que afectan su salud.

## 5. Flora y fauna acuática:

Las **plantas acuáticas** proveen oxígeno y refugio, además de ser fuente de alimento.

La fauna acuática, desde los insectos hasta los peces y mamíferos marinos, mantiene el equilibrio del ecosistema a través de sus interacciones alimenticias y comportamentales.

En resumen, los factores bióticos en el agua son las especies vivas y las interacciones entre ellas que afectan la estructura y función del ecosistema acuático, jugando un papel clave en el equilibrio ecológico y en la calidad del agua

Razones por las cuales se consideran los macroinvertebrados como los mejores indicadores de calidad del agua son:

- Son abundantes, de amplia distribución y fáciles de recolectar.
- Son sedentarios en su mayoría y, por lo tanto, reflejan las condiciones locales.
- Relativamente fáciles de identificar, si se compara con otros grupos menores.
- Integran los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Responden rápidamente a los cambios ambientales.

Las diferentes poblaciones de determinados invertebrados que viven en una corriente de agua se pueden dividir en dos grupos: organismos que no toleran la contaminación, por lo tanto, su presencia indica un agua de buena calidad. Y los organismos del segundo grupo son aquellos que pueden sobrevivir en un determinado nivel de contaminación, por lo tanto, son conocidos como organismos tolerantes.

Algunos de los organismos más comunes utilizados para determinar la calidad de las aguas son:

#### Orden Plecóptera

Los plecópteros sudamericanos representan un grupo pequeño y poco conocido, hasta ahora se conocen solo dos familias: Gripopterygidae y Perlidae. Las ninfas se caracterizan por tener dos cercos, largas antenas, agallas torácicas e posición ventral. Su tamaño vara entre los 10 y 30 mm y su coloración puede ser amarillo pálido, pardusco hasta café oscuro o negro. Ver figura 6.

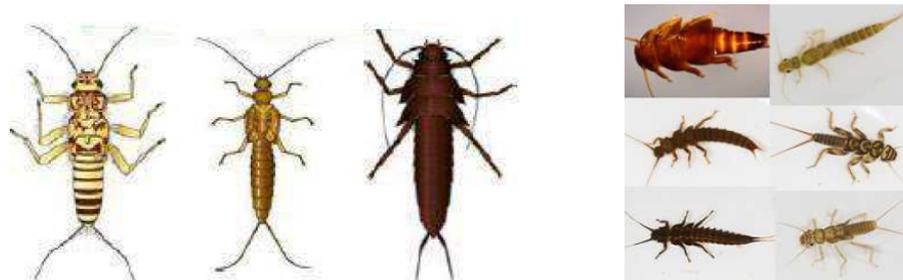


Figura 6. Plecóptero

### Orden Ephemeroptera

Reciben el nombre de efemerópteros debido a su vida corta o efímera que llevan como adultos. Algunos pueden vivir en este estado solo cinco minutos, pero la mayoría viven entre tres y cuatro días, durante este tiempo alcanzan la madurez sexual y se reproducen. Viven por lo general en aguas limpias y bien oxigenadas; solo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general son considerados indicadores de buena calidad. Ver figura 7.



Figura 7. Efemerópteros

### Orden Trichoptera

Son insectos que se caracterizan por construir en su estado larval casas de formas variadas propias de su especie, los cuales sirven a menudo para su identificación. Los refugios fijos al sustrato les sirven por lo regular de protección y captura de alimento. La mayoría de los trichópteros viven en aguas corrientes, limpias y

oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal. En general son buenos indicadores de calidad de aguas. Ver figura 8.

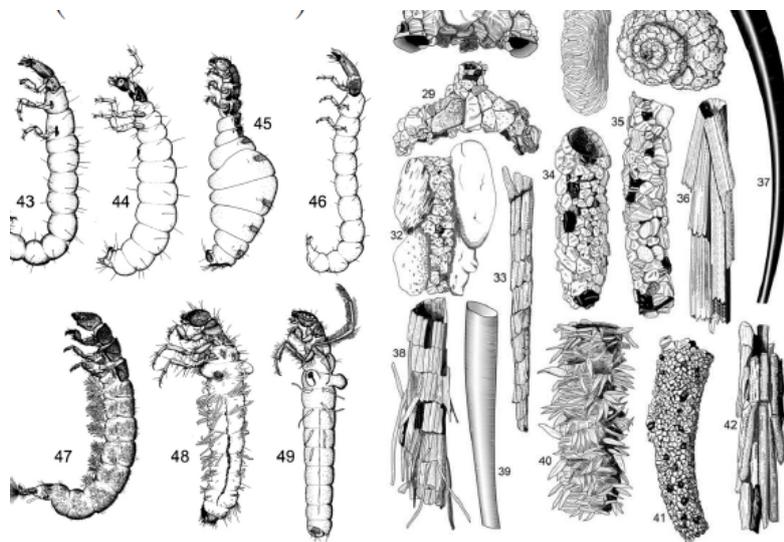


Figura 8. Trichopteros

#### Orden Tricladia

A este orden pertenecen las planarias, organismos de cuerpo alargado y plano, cuyo tamaño puede alcanzar cerca de 30 mm de longitud. La mayoría de las especies de Sudamérica se caracteriza por poseer una cabeza marcadamente triangular, con dos ojos y por llevar dos proyecciones auriculares prominentes y móviles a cada lado de la cabeza.

Se reportan 17 especies para Sudamérica, viven en su mayoría debajo de las piedras, troncos, ramas, hojas y sustratos similares, en aguas poco profundas, tanto corrientes como estancadas.

La mayoría vive en aguas bien oxigenadas, pero algunas especies pueden resistir cierto grado de contaminación. Figura 9.



Figura 9. Orden Tricladia

### Orden Díptera

Son considerados junto con los trichópteros y lepidópteros uno de los grupos más evolucionados. Usualmente las hembras ponen los huevos bajo la superficie del agua, adheridos a rocas o vegetación flotante. Su hábitat es muy variado, se hallan en ríos, arroyos, quebradas, lagos a todas profundidades, incluso en las costas marinas. Existen representantes de aguas muy limpias como es el caso de la familia, Simuliidae y de aguas contaminadas como Tipulidae y Chironomidae. Su alimentación también es muy variada, unos son herbívoros en tanto que otros son carnívoros. Ver figura 10.



Figura 10. Trichópteros y lepidópteros

### Clase Oligochaeta

Son un grupo complejo y poco conocido, la mayoría bien en aguas eutrofizadas, sobre fondo fangoso y con abundante cantidad de detritus. Algunas especies buscan activamente hábitats afectados por la contaminación orgánica y bajos niveles de oxígeno disuelto. Ver figura 11.



Figura 11. Oligochaeta

Los científicos han clasificado a cada macroinvertebrado con un número que indica su sensibilidad a los contaminantes. Estos números van del 1 al 10. El 1 indica al menos sensible, y así, gradualmente, hasta el 10, que señala al más sensible. Por ejemplo, las lombrices de agua tienen una sensibilidad de 1, porque se encuentran por miles en ríos de aguas contaminadas. Los caballos del diablo, en cambio, tienen una sensibilidad de 10, porque sólo se encuentran en aguas muy limpias y cristalinas. A continuación, detallamos en la tabla 9 la clasificación de acuerdo a la sensibilidad de la calidad de agua.

Tabla 9. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo a la sensibilidad de los macroinvertebrados

Sensibilidad	Calidad de agua	Clasificación
No aceptan contaminantes	Muy buen	9-10
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	7-8
Aceptan pocos contaminantes	Regular	5-6
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	3-4
Aceptan muchos contaminantes	Muy mala	1-2

#### Procedimiento para la organización de un biomonitoreo

- Seleccionar el área donde se realizará las observaciones
- Elegir el tamaño del área que se quiere observar (al menos 500 m.)
- Decidir el número de recorridos a realizarse (al menos 2 veces al año)
- Preparar el material necesario.
- Realizar una visita de reconocimiento por la cuenca: ¿La orilla tiene abundante vegetación? ¿Hay áreas con gran variedad de especies de animales y plantas? ¿Existen cultivos cerca del río? ¿Hay ganado en la cuenca cercana? ¿Existen áreas del río canalizadas, represadas o desviadas para riego? ¿El agua es correntosa y transparente? ¿Tiene olores extraños? ¿Hay basura, plantas o troncos cortando el flujo del agua y creando pozas?

¿Se arrojan al río desechos sólidos o industriales? ¿Existen derrumbes en los bancos? ¿El río tiene muchas corrientes, pozas y rápidos, una a continuación de otra?

- Elegir la técnica apropiada para la recolección de muestras:
  - Condiciones del río
  - Facilidades del medio.
  - Posibilidad y habilidad para elaborar herramientas propias
- Se debe utilizar la técnica elegida en todas las áreas seleccionadas, en igual tiempo y superficie
- Identificar los grupos presentes de macroinvertebrados (orden, familia)
- Analizar la calidad del agua en función de los macroinvertebrados presentes.
- Elaborar un informe y plantear soluciones.

#### Recolección en Piedras y Hojarasca

- Se buscan macroinvertebrados en piedras y hojas que se encuentran en el fondo, en la superficie y en la orilla de los ríos.
- Se puede realizar en cualquier río de fondo pedregoso y con vegetación flotante.
- Se recomienda aplicar esta técnica en ríos torrentosos y con piedras grandes.
- No es aconsejable hacerlo en ríos que tienen fondo arenoso o arcilloso y que no tienen hojarasca en las orillas.

#### Red de Patada

Consiste en atrapar macroinvertebrados, removiendo el fondo del río. Se llama 'de patada' porque mientras uno de los miembros de la pareja da 'patadas', removiendo el fondo, la otra coloca la red río abajo para atraparlos.

Se utiliza en ríos medianamente torrentosos por los que se puede caminar, y poseen cualquier tipo de sustrato: fango, hojas, troncos, piedras, etcétera.

#### Red Surber

Consiste en atrapar macroinvertebrados con una red sujeta a un

marco metálico, removiendo el fondo del río. Se utiliza en ríos de poca profundidad, con corrientes más o menos torrentosas y fondo de piedras pequeñas, donde el agua no supere los 45 centímetros o el borde superior de una bota de caucho. No es recomendable realizar este muestreo en ríos donde el agua esté tranquila y el fondo sea de arena o lodo.

Muestreadores Hess (A) y Surber (B), varios tipos de substratos artificiales contruidos con materiales naturales (C) y una manga o red de mano (D). Los tres primeros son métodos de muestreo cuantitativos en los que se puede cuantificar el número de ejemplares de cada especie por unidad de superficie, mientras que el último se emplea para conocer el número de especies presentes en un tramo fluvial. Ver figura 12



Figura 12. Tipos de muestreadores

#### Identificación de Macroinvertebrados

Se necesita frascos con muestras, pinzas, lámina de identificación, hojas de campo, lupa y plato pequeño o tapa blanca.

Sacar los macroinvertebrados de cada uno de los frascos, sin mezclarlos, y colocarlos en un recipiente plano y limpio con un poco de alcohol o agua, para que los pueda distinguir mejor.

Con la ayuda de una lámina de identificación agrupe los individuos que se parecen entre sí, identifique a qué grupo pertenecen y cuente cuántos individuos tiene cada grupo.

#### Índices

Las ventajas de usar la comunidad biológica en la bioevaluación de los cuerpos de agua son:

- Capacidad de reflejar la condición ecológica de un sitio
- Integrar los efectos de los impactos de diferentes factores de perturbación.
- Acumular en el tiempo el resultado de las tensiones que le han afectado

- Ser sensibles al impacto de factores difusos no puntuales, que no pueden ser detectados por otros métodos.

El uso de índices de diversidad como el de los índices bióticos, constituyó una evolución conceptual importante en la bioindicación.

El concepto de organismo indicador fue sustituido por el de comunidad indicadora.

Pocos países tropicales tienen índices bióticos propios para sus ríos, pero es posible de obtener buenos resultados aplicando índices de países en zonas templadas, en los países tropicales, debido a que la mayor parte de las familias de macroinvertebrados están repartidas

en todo el mundo.

Al tener en cuenta a toda una comunidad se minimizan los errores y se multiplica la capacidad

de detección de alteraciones.

### Índices EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)

Este índice utiliza los tres grupos de macro invertebrados más sensibles a la contaminación orgánica, son los órdenes: Ephemeroptera, Plecóptera, y Trichóptera.(Ver figura 13)



Figura 13. Índices EPT

El cálculo consiste en dividir el número de EPT presentes en la muestra para la cantidad total de organismos de la muestra:

$$IEPT = \left( \frac{NEPT}{N} \right) \times 100$$

Donde:

IEPT = índice EPT

NEPT = Número total de individuos EPT en la muestra

N = Número total de individuos en la muestra

Después se compara el valor obtenido con los valores detallados en la tabla 10

Tabla 10. Valores método IEPT

Clase	Índice EPT (%)	Calidad del agua	Color
1	75 – 100	Muy buena	Azul
2	50 – 74	Buena	Verde
3	25 – 49	Regular	Naranja
4	0 – 24	Mala	Rojo

Una vez que haya identificado los grupos presentes en cada área, anote en la columna de abundancia de Individuos de la hoja de campo. Si algún grupo no corresponde a ninguno de los grupos que constan en la lista, anote el número de individuos frente a la fila de otros grupos.

Sume todos los números de la columna de abundancia de individuos y anote el resultado en

el cuadro de Total.

Copie los mismos números que están en las filas de abundancia siguiendo las flechas a la

columna de EPT y sumar dichos valores.

## 16. Índice IBF (Índice Biótico Familia)

### Ventajas:

1. Bajo costo
2. Fácil de entender
3. Posee alta sensibilidad a la calidad de agua

4. Además el resultado que entrega es confiable ya que por medio de un cálculo matemático (fórmula) se obtienen los datos necesarios para poder clasificar las características

Ambientales, la ecuación principal es:

$$IBF = \sum n_i \times \frac{a_i}{N}$$

Donde:

$n_i$  = es el número de individuos de cada especie

$a_i$  = es el valor indicador de la tolerancia asignado a cada especie

$N$  = es el número total de individuos en la muestra

Por cada familia se determina un valor de tolerancia que va desde 0 (menos tolerante a la contaminación), a 10 (más tolerante a la contaminación orgánica). Teniendo así valores tales que se pueden ver en la tabla 11.

Tabla 11. Valores del Índice IBF.

Clase de Calidad	Valores del Índice IBF	Calidad de Agua	Color
1	< 3,75	Excelente	
2	3,76 – 4,25	Muy Buena	
3	4,26 – 5,00	Buena	
4	5,01 – 5,75	Regular	
5	5,76 – 6,50	Relativamente malo	
6	6,51 – 7,25	Mala	
7	7,26 – 10	Muy mala	

Es importante tener presente que el uso de índices de otras regiones debe ser de las mismas características locales, lo cual es poco factible.

Valores de Tolerancia a los contaminantes de los diferentes Órdenes y Familias (IBF). Valores de tolerancia 0, menos tolerante a la contaminación a valores tolerancia 10, más tolerante a la contaminación.

## 17. Índice BMWP

- Método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores.
- Requiere llegar hasta el nivel de familia
- Los datos son cualitativos (ausencia o presencia).

- Las puntuaciones son determinadas en función de la sensibilidad o la tolerancia de diferentes grupos o familias a la contaminación orgánica, en un rango de 1 a 10.
  - Las familias más sensibles como Perlidae (Plecoptera) y Oligoneuriidae (Ephemeroptera) presentan un puntaje de 10, en cambio las más tolerantes a la contaminación por ejemplo Tubificidae (Oligochaeta), tienen una puntuación de uno
  - La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP y en la siguiente tabla se encuentran las cinco clases de calidad de agua resultantes de la suma de las puntuaciones obtenidas por las familias encontradas en un ecosistema dado.
- A continuación, en la tabla 12 se puede evidenciar la clasificación del índice BMWP en función de los rangos y su significado

Tabla 12. Valores BMWP

Clase	Calidad	Valores de BMWP	Significado
1	Buena	>150, 101 - 120	Aguas muy limpias
2	Aceptable	61 – 100	Aguas no alteradas
3	Dudosa	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas
4	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas
5	Muy Crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas

A continuación, en la tabla 13 mostramos los puntajes de acuerdo a la familia de macroinvertebrados.

Tabla 13. Puntaje de acuerdo a los diferentes macroinvertebrados

Familias	Puntaje
Anamalopsychidae, Atriptectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Ghomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymessiidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrimidae, Hydraenidae, Hydroboscidae, Leptophlebiidae, Phylopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simulidae, Veliidae	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Notoceridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophylidae, Physidae, Tipulidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

## 18. Índice ABI

Índice basado en el índice BMWP, aplicado para las estribaciones de los Andes sobre

los 2.000 msnm.

Debido a que la altura restringe la distribución de muchas familias, este índice cuenta

con menos familias de macro invertebrados que en otras partes del mundo.

Además, varias consideraciones como el tipo de vegetación, el factor limitante como la

altitud, no han sido tomadas en cuenta al momento de realizar adaptaciones del índice

BMWP.

El índice ABI se ha probado en dos cuencas de Ecuador y Perú, para comparar con otras adaptaciones de BMWP usadas anteriormente en el área. Se asignaron como en las otras adaptaciones, valores a cada familia y la suma total de esos valores da el índice ABI.

En la tabla 14 se observa el puntaje para calidad del agua según el índice ABI

Tabla 14. Puntaje para Índice calidad según ABl.

Calidad de agua	Puntuación
Muy bueno	> 96
Bueno	59 - 96
Regular	35 - 58
Malo	14 - 34
Pésimo	< 14

## 19. Índices de saprobiedad

Capacidad que tienen ciertos organismos de vivir en determinados

niveles de contaminación, este método se basa en la presencia de ciertas especies indicadoras, a las cuales se les asigna un valor saprobico basado en la tolerancia a la polución.

Existen tres niveles o zonas de saprobiedad:

- a) Zona polisapróbica: predominantemente de procesos reductivos
- b) Zona mesosapróbica: parcialmente reductiva con procesos predominantemente oxidativos.
- c) Zona oligosapróbica: exclusivamente procesos oxidativos.

En este sistema se utilizan todos los organismos acuáticos como indicadores de calidad del agua. La ventaja del sistema saprobio es que incluye gran variedad de taxones y es aplicable a todo tipo de ríos. La desventaja, es que los bioindicadores deben emplearse a nivel de especie.

Índice saprobico: 1.0 a 4.0 y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\sum_1^n (n Si) (Ai) (Gi)}{\sum_1^n (Ai) (Gi)}$$

Donde:

S = índice saprobico

n = número de taxones

i = número de orden de los taxones

Si = valor de saprobiedad de los taxones

G = peso indicativo de los taxones

A: abundancia de taxones

Tabla 15. Especies indicadoras del método saprobiedad

Saprobiedad	Especies indicadoras	
POLISAPROBIOS	Bacterias	Bacillus subtilis, B. mesentericus, Proteus spp, Escherichia coli, Pseudomonas spp, Sphaerotilus natans, Beggiatoa alba, etc.
	Flagelados incoloros	Bodo caudatus, Pleuromonas jaculans, etc.
	Ciliados	Colpoda cucullus, Vorticella microstoma, etc
	Rotíferos	Rotaria neptunia
	Dípteros	quironómidos, psicódidos, sirfidos. Oligoquetos tubificidos
MESOSAPROBIOS (Alfa-mesosaprobios)	Bacterias y hongos	Sphaerotilus dichotomus, Fusarium spp
	Algas	Oscillatoria tenuis, Euglena proxima, Nitzschia palea, Navicula cryptocephala
	Protozoos	Amoeba radiosa.
	Ciliados	Paramecium caudatum, Stentor coeruleus, Carchesium polypinum.
	Tubificidos y larvas de quironómidos y ceratopogónidos.	

MESOSAPROBIOS (Beta-mesosaprobios)	Algas	Merismopedia punctata, Scenedesmus spp, Pediastrum spp, Achnanthes minutissima, Gomphonema constrictum, Rhoicosphaenia curvata
	Ciliados	Hemiophrys bivacuolata, Stylonychia pustulata.
	Rotíferos	Brachionus falcatus, B. budapestinensis
	Oligoquetos	Stylaria lacustris
	Algunas larvas de odonatos y efemerópteros	
OLIGOSAPROBIOS	Algas	Chamaesiphon spp, Mallomonas spp, Dynobryon spp, Sphaerocystis schroeteri.
	Protozoos	Euglypha acanthophora
	Ciliados	Nassula gracilis, Stentor mulleri.
	Rotíferos	Collotheca spp, Monommata spp, Trichocerca spp
	Crustáceos	Varias especies de cladóceros y copépodos
	Larvas de tricópteros y coleópteros	

## 20. Índices de diversidad

Consideran tres componentes de la comunidad, que son la riqueza, la uniformidad y la abundancia.

Generalmente la comunidad natural sin perturbación presenta una gran diversidad de especies, equitativa en la distribución y moderado a alto número de individuos por especie

La contaminación del agua provoca que comunidades muy sensibles desaparezcan y otras más resistentes aumenten en número.

Se han desarrollado varios índices para medir la calidad del agua; uno de los más conocidos es el de Shannon-Weaver (1949) expresada en la ecuación como:

$$H' = \sum_l^S (\sum p_i)(Ln p_i)$$

Donde:

H' = índice de diversidad de Shannon & Weaver

S = número de taxones

i = número de orden de los taxones

p<sub>i</sub> = indicador de abundancia relativa (densidad relativa o biomasa relativa son los más comunes)

n<sub>i</sub> = número de individuos por taxón en la muestra.

n = número total de individuos en la muestra.

Ln = logaritmo natural.

## 21. Índices Biológicos

Basado en la capacidad de los organismos de reflejar las características o condiciones ambientales del medio en el que se encuentran.

Utilizando la abundancia y diversidad de grupos de macroinvertebrados acuáticos. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes.

Mediante la utilización de los índices biológicos se puede obtener un valor numérico que expresa el efecto de la contaminación sobre una comunidad biológica

Beck (1955) propuso el índice biótico en los Estados Unidos basado en la relación entre especies intolerantes y tolerantes a la contaminación; los valores se encuentran entre 0 y 10. Este índice se expresa como la ecuación 2.2 :

$$I = 2 S_i - 2 S_1 \quad (2.2)$$

Donde:

$S_i$  = número de especies intolerantes

$S_1$  = número de especies tolerantes

Cualquier índice tiene su utilidad y valor de acuerdo con el criterio con que se use y con el conocimiento que se tenga de la fauna local.

## 22. CALIDAD DEL AGUA

### DESVENTAJAS de Organismos utilizados como indicadores de la calidad del agua

<b>Macroinvertebrados</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dificultades cuantitativas de muestreo e identificación a nivel de especie. Sustrato importante para las muestras. Efecto de deriva aguas abajo. Conocimiento necesario de su ciclo de vida.</li></ul>	<b>Macrófitas</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Respuesta a la contaminación no bien documentada. Presencia estacional y poca variedad.</li></ul>	<b>Peces</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Las especies pueden migrar para evitar la contaminación. Muestreo difícil</li></ul>
<b>Bacterias</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Células que no han sido originadas en el punto de muestreo. Tiempos de vida cortos. Se requiere equipo especial para el manejo de muestras</li></ul>	<b>Protozoarios</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Problemas de taxonomía. Células que no han sido originadas en el punto de muestreo (efecto deriva).</li></ul>	<b>Algas (Fitoplancton)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Problemas de taxonomía y muestreo. Poco usado para contaminación orgánica o fecal, pesticidas o metales.</li></ul>

# CAPITULO VI

## MUESTREOS

En el Ecuador se presentan tres normas para la realización de una campaña de muestreo:

- 1) NTE INEN 2226:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.
- 2) NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.
- 3) NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

### 1. Elementos importantes de una campaña de muestreo

- 1) Destacar los objetivos de la campaña de muestreo
- 2) Reunir toda la información necesaria.

Ejemplo para una industria: procedimiento de fabricación, materias primas, contaminantes

emitidos, planos, reglamentación vigente, informes de inspección, permisos, certificados, reseña histórica de los terrenos...

- 3) Escoger el tipo muestreo;
- 4) Establecer la lista de los parámetros que hay que vigilar, el tipo y el número de recipientes, agentes de conservación y análisis a efectuarse en campo.
- 5) Determinar los puntos de muestreo con la ayuda de planos, mapas, fotos. El modelo debe ser flexible para adaptarse en el mismo sitio
- 6) 7) Determinar los momentos oportunos de muestreo según los ciclos de actividad (producción, limpieza, apagado, estación). ¿Qué? ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo? ¿Por quién?...

La preparación de muestras tiene diferentes componentes y etapas: la planificación, la toma propiamente dicha, la manipulación y el transporte de las muestras.

Toda campaña de muestreo debe ser planificada, los factores claves son:

- El contexto en el cual efectúa este procedimiento, es decir la gestión.
- El fin para el cual se toma la muestra

## 2. Los contextos

- Vigilancia de rutina
- Control de la eficacia de un sistema de depuración
- Caracterización para fines de concepción de un sistema de tratamiento
- Accidente (vertimiento)
- Inspección, encuesta
- Control después de acciones de restauración

## 3. Los objetivos

- Verificar el respeto de un reglamento (multas)
  - Caracterizar el medio (lago, río, sitio contaminado, etc)
  - Estudiar la distribución espacial de contaminantes
  - Estudiar la variación de concentraciones vertidas en el tiempo
  - Encontrar la fuente de contaminación
- Según el objetivo aludido, la amplitud de la campaña de muestreo es muy variable.

## 4. Etapas de una campaña de muestreo

### 5. Visita Preliminar

Es generalmente requerida para la logística:

- Accesos y medios de transporte: avión, bote, a pie.
- Topografía de los lugares: geología, red hidrográfica, nivel freático, vientos dominantes y corrientes de agua (río), proximidad de medios sensibles.
- Equipos en campo: acceso a puntos visibles, puntos de muestreo acondicionados o habilitados, pozos de observación.
- Electricidad, agua potable disponible.
- Equipos de seguridad necesarios, de comunicación.
- Servicios de primeros auxilios.
- Transporte de las muestras (correo, servicio de mensajería, autobús).
- Local para almacenar equipos, efectuar calibraciones, etc.

### 6. Planificación

Elección del tipo de muestreo: i) dirigido, ii) aleatorio simple, iii) aleatorio sistemático.

- Elección del tipo de muestras (y del número): i) Instantáneas, ii) Compuestas
- Elección de los parámetros a evaluarse

- Presupuesto del muestreo
  - Elección de los recipientes: i) material, ii) volumen
  - Elección de Equipos:
- Muestreadores: i) para los líquidos: muestreadores manuales y automáticos ii) para los sólidos, los sedimentos: palas, muestreador excavador
  - Bombas manuales
  - Caudalímetros
  - Instrumentos portátiles
    - Aspectos salud / seguridad:
  - Los riesgos
  - La protección individual
  - Descontaminación del material.

## 7. En el Campo

- Mediciones de Campo (pH, temperatura, turbiedad, OD...)
- Muestreo (métodos, protocolos)
- Aseguramiento de la calidad (submuestras, testigos, muestras enriquecidas)
- Identificación de las muestras
- Conservación de las muestras (preservación, duración de la muestra, almacenamiento, transporte)
- Apuntes en campo.

## 8. De regreso

Análisis

Cadena de confianza

Redacción de informe

En la figura 14 se puede evidenciar trabajos en situ y en laboratorio.



Figura 14. Trabajos en situ y en laboratorio

## 9. Tipos de muestreos

La magnitud del muestreo depende de objetivos de la campaña, de la precisión requerida y el enfoque, entre los principales tenemos:

### 10. A) Muestreo dirigido

Consiste en tomar una muestra:

- Dónde se sospecha la presencia de contaminantes,
- Dónde se piensa que la contaminación es máxima
- Dónde se piensa que la contaminación es mínima

- Dónde se piensa que hay ausencia de contaminación (para determinar las condiciones originales).

La elección se hace a partir de indicios y la información preliminar es suficiente.

### **Indicios:**

Pueden ser visuales, olfativos, correspondientes a quejas y a buen sentido común, a la experiencia.

Es una aproximación que destaca los altos (o bajos) niveles de contaminación pero que

informa poco sobre el valor medio de un sector.

Es válida para una caracterización preliminar, identificar los contaminantes mayores y el orden

de su concentración.

### **B) Muestreo aleatorio simple**

Un muestreo aleatorio consiste en tomar las muestras en lugares o momentos escogidas al azar, sin ideas preconcebidas; es decir, todos los puntos tienen una probabilidad igual de ser seleccionados.

#### **Medio estático**

Las muestras son tomadas en lugares escogidos al azar en un medio relativamente estable (estático).

#### **Medio dinámico**

Las muestras son tomadas en los MOMENTOS escogidos al azar cuando el medio es dinámico (cambiante).

Es una aproximación que informa sobre la contaminación promedio del medio. Es una

aproximación que se presta bien a un tratamiento estadístico simple.

### **C) Muestreo aleatorio sistemático**

Se trata de escoger el primer punto al azar luego de añadir una distancia (o el tiempo)

datos, fijados para determinar los puntos siguientes.

Es una aproximación que informa sobre la contaminación media pero no tiene en cuenta la periodicidad o eventos contaminantes importantes.

En la figura 15 podemos observar los muestreos a criterio, sistemático y aleatorio.

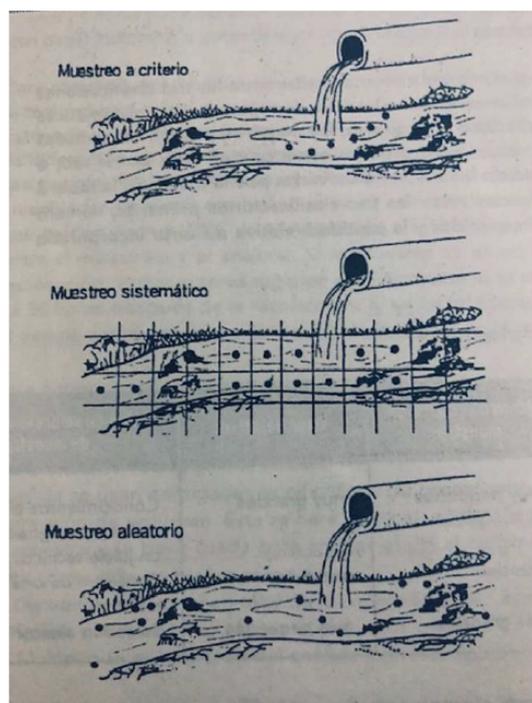


Figura 15. Tipos de muestreos

## 11. Muestra Simple

Muestra recogida de una masa de agua de forma aleatoria en un lugar específico y en un

período de tiempo que no exceda 15 min.

El volumen total de la muestra se extrae de una sola vez.

Son útiles para determinar la composición del agua en un momento determinado.

Es representativa cuando no existe una variación significativa de la composición del

agua en espacios y tiempos mayores.

## 12. Muestra Compuesta

Es una combinación de muestras individuales tomadas a intervalos de tiempo definidos en un día de operación de un sistema.

**Muestras compuestas por tiempo. - muestras de volumen constante, tomadas en intervalos**

constantes de tiempo.

**Muestras proporcionales al flujo. - cuando el tiempo entre muestras es constante, y el**

volumen de cada muestra es proporcional al flujo en ese momento o cuando se toma

volúmenes constantes para cada caudal en intervalos de tiempo inversamente proporcionales al caudal.

### **Selección de los parámetros a evaluar:**

- **Se identifican las posibles fuentes de contaminación y posibles contaminantes.**
  - **Recolección de muestra representativa**
  - **Calidad de la fuente: uniforme, variable**
    - **Selección de puntos de muestreo**
      - **Cantidad de muestra**

## 13. Preservación

Los parámetros más frecuentemente medidos en las diferentes muestras de agua se muestran en la tabla 16 a continuación:

Tabla 16. Parámetros medidos en las diferentes muestras de agua

Parámetro	Abastecimiento	De consumo	Residual cruda	Residual tratada
pH	x	x	x	x
Temperatura	x	x	x	
Color	x	x		
Turbiedad	x	x		
Sabor		x		
Olor	x	x		
Sólidos Totales disueltos	x	x		
Sólidos sedimentables			x	
Sólidos suspendidos			x	x
Conductividad	x	x		
Alcalinidad	x	x	x	x
Acidez	x	x	x	x
Dureza	x	x		
OD	x	x		
DBO	x		x	x
DQO o COT	x		x	x
Nitrógeno orgánico			x	x
Nitrógeno amoniacal	x		x	x
Nitrógeno de nitritos	x		x	x
Nitrógeno de nitratos	x		x	x
Cloruros	x			
Fosfatos	x		x	x
Detergentes	x		x	x
Grasas y aceites			x	x
Coliformes	x	x	x	x

#### 14. CALIDAD DE LA FUENTE

Una fuente de agua puede ser de calidad uniforme o variable en función de la carga contaminante.

En aguas residuales la concentración en el tiempo es variable.

La variación del caudal de descarga para aguas residuales; y, caudal de flujo o variación de nivel, en cuerpos de agua, son parámetros importantes a considerar dentro de la programación del muestreo.

Estudiar los planos del sistema de alcantarillado: localización de pozos de registro.

Identificar las descargas puntuales.

Las muestras deben ser tomadas en los puntos en donde las características del flujo favorezcan al máximo las condiciones de mezcla de las aguas.

En el punto de muestreo se debe tener suficiente velocidad, tal que, no se sedimenten los sólidos.

En canales estrechos y profundos la muestra debe realizarse a un tercio del calado medio.

## 15. Selección de muestreos

Las guías proporcionan la naturaleza de las botellas de muestreo:

**De vidrio** estos pueden ser:

- V Claro o ámbar
- VA Con corcho cubierto de Aluminio
- VT Con corcho cubierto de teflón

Estos son más frágiles, pero más fáciles de inspeccionar que el plástico.

**De plástico:** P

- PE: polietileno de baja densidad
- PP: polipropileno
- PVC: Cloruro de polivinilo
- PPS: polipropileno esterilizado

**De teflón:** T

- PTFE: botella y revestimiento del corcho

## Medición de campo.

- Los aparatos portátiles deben ser manipulados cuidadosamente.
- Se debe verificar que estén debidamente calibrados y con baterías (pilas) antes de salir al campo.

## Preparación de los equipos elección de los recipientes y limpieza

### A) Equipos

Bombas, caudalímetros, muestreadores, etc.

Para los líquidos:

- Muestreadores manuales
- Muestreadores Automáticos

En la figura 16 se evidencia un muestreo manual



Figura 16. Muestreo manual.

En la figura 17 mostramos una vara de apoyo llamada también pértica



Figura 17. Toma de muestra con pértica.

A continuación, en las figuras 18 al 22, se evidencia alguno de los equipos para la obtención del ICA.



Figura 18. Determinación de Oxígeno Disuelto, Sólidos Totales Disueltos, Temperatura, en situ.



Figura 19. Determinación de Nitratos y Fosfatos en laboratorio.



Figura 20. Determinación del  $DBO_5$  en laboratorio.



Figura 21. Determinación de Coliformes Fecales, en laboratorio.



Figura22.Determinación de Turbidez, en laboratorio.

## 16. Protocolos de muestreos

Los muestreos deben ser tal que se asegure la calidad de cada muestra en los lugares antes determinados y a la hora determinada, a continuación, algunas de las recomendaciones:

- Seguir los protocolos de utilización de los muestreadores si es necesario.
- Por vía manual, la muestra se toma por inmersión de un recipiente en el efluente: La boca del recipiente debe estar colocada frente a la corriente, bajo la superficie libre y las manos tan lejos de la abertura como sea posible (la botella puede ser fijada sobre una rama).
- Se toma al menos 1 litro de muestra, aunque la cantidad requerida por el laboratorio sea menor.
- Podemos efectuar la toma de la muestra directamente en la botella, siempre y cuando no contenga algún agente de preservación.
- No enjuagar las botellas abastecidas por el laboratorio

## 17. Limpieza de los equipos

Se requiere limpiar los equipos para eliminar todas las trazas de sustancias químicas y no dejar residuos, especialmente aquellos que producen inhibición de microorganismos. (cloro, oxidantes).

Siempre hay que tener en cuenta el riesgo de contaminación cruzada de las muestras, es decir contaminar una muestra con aquella que le precede, de ahí la necesidad de los testigos o blancos y una herramienta desechable.

## 18. Control de calidad

- El grado de control de la calidad depende de los objetivos de la campaña.
- Se necesita concertar con un laboratorio.
- Los resultados son generalmente interpretados por métodos estadísticos para verificar la importancia de las diferentes fuentes de error vinculadas a la toma de muestras y al análisis.
- Los efluentes presentan una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio:

Los ríos son sensibles a la lluvia, la sequía, los vertidos de aguas residuales, el ciclo diurno (fotosíntesis).

Los lagos son más estables en el tiempo, pero más variables en el espacio (afluentes, estratificación vertical, grado de eutrofización).

- Los efluentes de aguas residuales dependen del tipo de red, del ciclo de las actividades
- domésticas e industriales.
- Esta variabilidad exige a veces un número importante de muestras instantáneas (o compuestas) para darse una idea correcta de lo que ocurre en determinado evento.

## 19. Programa de aseguramiento de la calidad

Un programa de aseguramiento de la calidad, pretende verificar los posibles errores para cada muestra tomada y analizada.

Es un conjunto de operaciones que permite asegurar que los resultados de los ensayos

tienen una calidad suficiente para responder a los objetivos de la campaña de muestreo.

Un programa de aseguramiento de la calidad comprende:

### **Los procedimientos de muestreo**

#### **El modo de operación de los aparatos**

#### **Los procedimientos de calibración (en el campo y en el laboratorio)**

#### **Las muestras de control: duplicadas y testigos.**

### 20. Duplicado

Generalmente se sugiere un mínimo de 10% de muestras duplicadas, con un mínimo de 1 por lote de muestras destinadas al análisis.

Ejemplo: 100 muestras tomadas → 20 enviada al análisis → 2 duplicadas

Este procedimiento permite verificar la REPRODUCTIBILIDAD de la muestra

#### **Procedimiento:**

Tomar la muestra, trasladarla a un recipiente, mezclar bien, separar en 2 partes, cada

una en un recipiente adecuado.

Triplicada: Tomar la muestra, mezclar, separar en 3 partes. Podemos enviar las submuestras al mismo laboratorio o no (si se asegura que los métodos de análisis son comparables).

## 21. Muestra "enriquecida"

Se puede aumentar a 1 o varias muestras, cantidades conocidas de sustancia que hay que analizar para verificación de los resultados, como se puede apreciar en la figura 18.

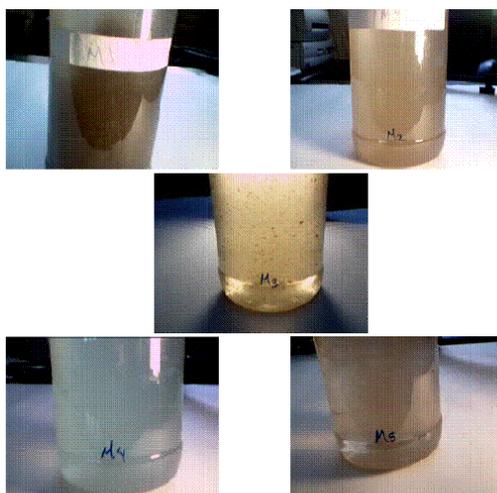


Figura 18. Muestra enriquecida

## 22. Testigo de Transporte

Sirve para vigilar la contaminación durante el transporte de la muestra (por ejemplo, la contaminación por los gases emitido del escape del auto durante el traslado de la muestra).

Un recipiente de agua purificada (con los agentes de preservación de ser el caso) es colocado en el mismo sitio y llevado al laboratorio con las otras muestras SIN SER ABIERTO.

## 23. Testigo de Terreno

Para verificar la contaminación en el momento de preparación de las muestras, por ejemplo por COV contenidos en el aire.

Se manipula en el mismo sitio de muestreo, una botella de agua destilada ABIERTA durante todo el tiempo de muestreo y se la envía al laboratorio junto a las demás.

Para suelos: Tome un testigo de terreno aguas arriba del vertido.

#### **24. Testigo de lavado de equipos**

Sirve para verificar la eficacia del lavado, es decir, si hay algún riesgo de contaminación importante.

Lavamos el material, tomamos agua destilada utilizada en el último enjuague y la conservamos en un recipiente identificado. Si hay contaminación, hay que revisar los procedimientos de lavado y repetir la preparación de la muestra.

#### **25. Testigo de Filtro**

Se filtra agua destilada con un filtro idéntico al utilizado en la muestra de agua a analizar.

Se debe registrar las muestras para poder encontrarlas. Los recipientes son identificados con marcador indeleble o con una etiqueta.

Una identificación corresponde a una demanda de análisis asociada a un punto (o momento) de muestreo.

Los formularios deben tener información tal como: el lugar, la fecha, la hora, la identificación

de la muestra, el punto de muestreo, el tipo de muestra, su naturaleza (agua potable, residuo

sólido, etc.), los parámetros de análisis, el nombre del muestreador, toda la información pertinente respecto a los procesos involucrados en la toma de muestra (filtración, agente de preservación), advertencias para el laboratorio (solución concentrada, productos volátiles o peligrosos, cancerígeno, patógenos).

#### **26. Muestras de carácter legal**

Se define como una muestra destinada a servir como prueba legal delante de tribunales (demandante, contraventor).

Se trata de impedir toda degradación, pero también toda falsificación o sustitución.

Se utiliza un formulario de CADENA DE CONFIANZA

Las muestras deben estar selladas (en bolsas plásticas o en recipientes metálicos cerrados).

Cada recipiente es identificado y cada persona que lo tiene a cargo también es identificada (muestreador, transportista, recepcionista, analista), llena lo que le corresponde en el formulario, junta los documentos pertinentes (documentos de entrega) e información necesaria (método de conservación).

## 27. Cantidad de la muestra

La cantidad de muestra requerida depende de los análisis a realizarse en el laboratorio. En

general: análisis de parámetros Físico-Químicos: 5 L

## 28. Preservación

La preservación de la muestra es importante para fijar las concentraciones de los materiales inestables presentes en el agua: gases disueltos, constituyentes oxidables o reducibles, así como

también inhibir la actividad bacteriana.

## 29. Conservación de las muestras

Los métodos son descritos en las guías y comprenden:

- **El volumen mínimo**
- **El tipo de recipiente**
- **Los agentes de conservación requeridos**
  - **Los plazos de análisis aceptables.**

Las numerosas transformaciones físicas, químicas o biológicas que pueden presentarse son:

- Escape de gas disuelto: O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>...
- Disolución de gases atmosféricos: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>...

Se debe cumplir con el requerimiento de colmatar las botellas y mantener o bajar la Temperatura.

Precipitación de sustancias poco solubles debido a los cambios de pH, de temperatura.

- Adsorción sobre las paredes del recipiente: existen estudios que comparan los plásticos, así: la adsorción es muy fuerte sobre el PP y el PE y moderada sobre el PVC.

- Oxidación química:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{CN}^-$ , sulfuros...

- Reducción química: cloro, ozono, cromo.

- Oxidación Biológica: bajo el efecto de los microorganismos (caso de la materia orgánica

biodegradable)

- Hidrólisis con formación de hidróxidos  $\pm$  solubles: transformación de polifosfatos, ortofosfatos...

- Multiplicación de las bacterias

- Muerte de las bacterias por ausencia de  $\text{O}_2$  o presencia de productos tóxicos.

Como regla general se aconseja refrigerar la muestra a  $4^\circ\text{C}$  (raramente congelarla).

Los agentes de preservación son surtidos por el laboratorio que puede así ejercer su control de calidad.

Según el método de preservación, se puede o no, realizar varios análisis sobre la misma muestra.

N: ninguno

Para análisis microbiológicos: Se debe dejar un espacio de aire de 3cm. Aproximadamente entre la muestra y la tapa o corcho.

AN: +  $\text{HNO}_3$  8N pH < 2

Casos generales de metales

AS: +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  9N pH < 2

Grasas y Aceites, DQO

NaOH: 10 N pH > 12 Cianuros

Acetato de zinc: 4 gotas / 100 ml Sulfuros

T: Tiosulfato de sodio (reductor) Cloro residual

E: EDTA metales pesados y tóxicos.

### 30. Observaciones

- No existen normas generales absolutas de muestreo, este está sujeto a las condiciones particulares de cada caso.
- El número de muestras, la frecuencia de muestreo, el número de puntos de muestreo y los parámetros a analizarse se determinan en función de la finalidad
- del estudio.
- Las muestras deben ser recolectadas, acondicionadas, transportadas y manipuladas antes de su análisis, de tal manera que mantengan sus características permaneciendo inalterados sus constituyentes y sus propiedades.
- Cada muestra recolectada debe ser acompañada de una ficha de información: código de la muestra, fecha, hora, condiciones climáticas, nombre del muestreador, nombre del interesado, mediciones de campo, etc.
- El momento de tomar la muestra se debe tener cuidado en lavar el frasco con el propio líquido a muestrearse.
- La recolección de muestras bacteriológicas debe siempre realizarse primero.

En la tabla 17. Se evidencia cada parámetro con el tipo de frasco volumen necesario preservación y plazo para un abuenas conservación de las muestras.

Tabla 17. Conservación de las muestras

Parámetro	Tipo de frasco	Volumen necesario	Preservación	Plazo
Alcalinidad	Vidrio polietileno polipropileno	200 ml	Refrigerar a 4 ° C	Aguas limpias 24 h Aguas contaminadas menos de 24 h
Conductividad	Vidrio polietileno polipropileno	500 ml	Refrigerar a 4 ° C	24 h
Cromo	Vidrio	1000 ml	Ácido Nítrico concentrado pH<2	Cromo hexavalente: 24 h Cromo total: 6 meses

DBO	Vidrio polietileno polipropileno	2000 ml	Refrigerar a 4 ° C	24 h
DQO	Vidrio polietileno polipropileno	2000 ml	Ácido Sulfúrico concentrado: pH < 2	7 días
Dióxido de Carbono	Vidrio	500 ml	Conservación de la muestra a temperatura menor que la registrada al momento de tomarla	El menor posible
Dureza	Vidrio polietileno polipropileno	300 ml	Acido Nítrico concentrado pH<2 Refrigerar a 4 ° C	7 días
Fósforo Total	Vidrio	1000 ml	Refrigerar a 4 ° C	7 días
Mercurio	Vidrio polietileno polipropileno	300 ml	Ácido Nítrico concentrado: pH<2	Polietileno polipropileno: 13 días vidrio: 38 días
Nitratos	Vidrio polietileno polipropileno	300 ml	Ácido Sulfúrico concentrado: pH < 2 Refrigerar a 4 ° C	24 h
Nitritos	Vidrio polietileno polipropileno	200 ml	Refrigerar a 4 ° C	24 h
Nitrógeno Orgánico	Vidrio polietileno polipropileno	1000 ml	Ácido Sulfúrico concentrado: pH < 2 Refrigerar a 4 ° C	24 h
Nitrógeno Total	Vidrio polietileno polipropileno	1000 ml	Ácido Sulfúrico concentrado: pH < 2 Refrigerar a 4 ° C	7 días
Olor	Vidrio (tapa esmerilada)	1000 ml	Refrigerar a 4 ° C	El menor posible

Grasas y aceites	Vidrio (boca ancha, tapa esmerilada)	1000 ml	Ácido Clorhídrico concentrado: pH < 2 Refrigerar a 4 ° C	24 h
Pesticidas	Vidrio Oscuros	1000 ml	Refrigerar a 4 ° C	4 días
pH	Vidrio polietileno polipropileno	200 ml	Medir en campo	-----
Sólidos Sedimentables	Vidrio polietileno polipropileno	1000 ml	No es necesaria	24 h
Sólidos Totales, Fibrables, no Fibrables, fijos y volátiles	Vidrio polietileno polipropileno	200 ml	Evitar la luz	24 h

## CAPITULO VII

# CASOS ESPECÍFICOS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO PORTOVIEJO

### 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 1 y está dividida en 55 cuencas con sus respectivas codificaciones, un área total de 11.477,26 km<sup>2</sup>. Ver figura 19.

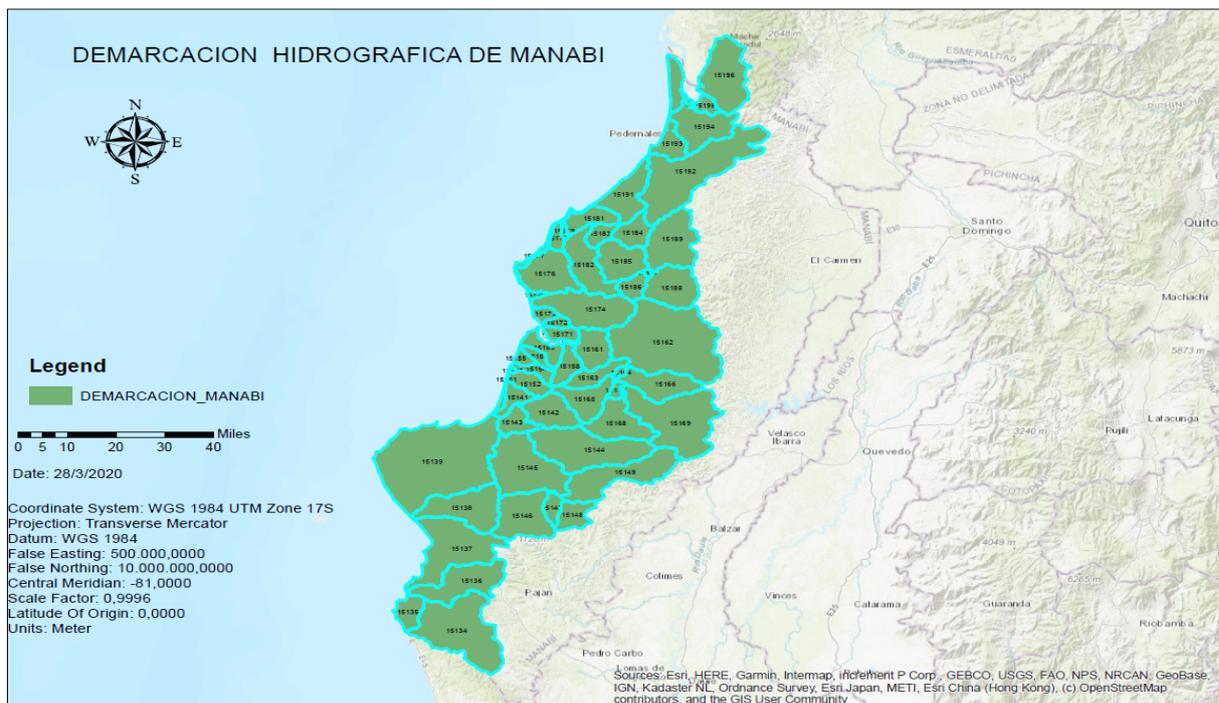


Figura 19. Demarcación Hidrográfica de Manabí

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, como se observa en la Figura 20. En la Tabla 18 se evidencia la información de la morfología básica de la cuenca en mención, la cual consta de un área total de 2.105,07 km<sup>2</sup>

Tabla 18. Principales datos morfológicos de la cuenca del Río Portoviejo

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

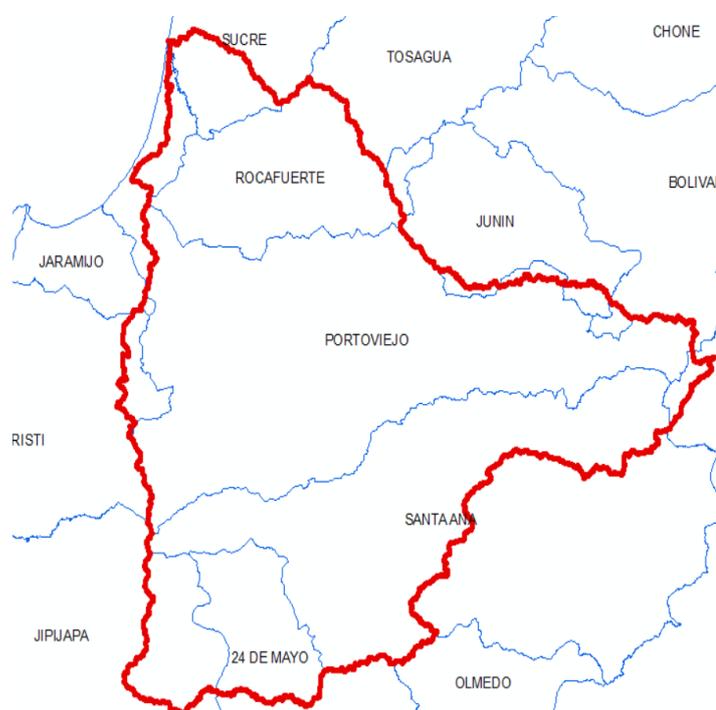


Figura 10. Área de la cuenca del río Portoviejo con los principales cantones

que la conforman.

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 19). Predominando en mayor porcentaje el suelo utilizado para el cultivo con un 50,56 %. En la Tabla 19 se encuentran sintetizados los usos de suelo de la cuenca en mención y en la figura 21 se encuentra representado gráficamente en porcentajes.

Tabla 19. 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%

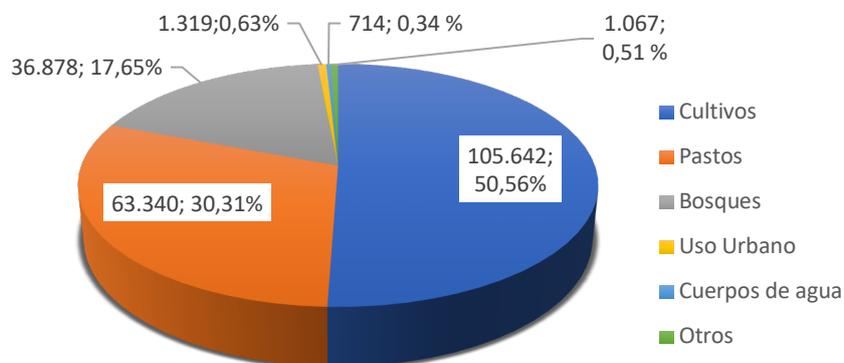


Figura 21. Representación gráfica de los tipos de usos del suelo de la cuenca del río Portoviejo.

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.

#### **Humedad relativa y temperaturas en la cuenca.**

La temperatura en la cuenca se caracteriza por poseer un clima templado estable con temperatura media anual que oscila los 24°C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2017). El Índice de Humedad Relativa es uno de los más usados y desarrollados, es un parámetro importante en la información de los fenómenos meteorológicos, conjuntamente con la temperatura, caracteriza la intensidad de la evapotranspiración y tiene relación directa con la disponibilidad de agua aprovechable, circulación atmosférica y cubierta vegetal. En cuanto a la humedad relativa mensual más alta se da en el mes de marzo de cada año según lo indica en su libro (Campos, 2017).

#### **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 km<sup>2</sup> 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.

## Caso Uno - Cuenca media del Río Portoviejo

### Muestreo y descripción de los trabajos

Para la selección del lugar o los puntos para la toma de muestras, se realizó un recorrido a toda la cuenca del río Portoviejo, y se escogió de manera visual bajo parámetros o indicadores tanto bióticos (tipos de plantas, árboles y musgos a la orilla del río, especies contaminadas de animales que habitan en el ecosistema, restos en descomposición) y abióticos (tipos de suelo que poseen los taludes del río, desechos de químicos industriales y aguas residuales vertidas de manera directa).

En la Figura 22, se muestran una imagen satelital de las ubicaciones de los tres puntos en los cuales se realizó el muestreo y análisis de los parámetros establecidos por el ICA-NSF. En la tabla 20 la respectiva georreferenciación de dichos puntos.

Se realizó un muestreo en época de seca, en el mes de septiembre del año 2020, en tres puntos seleccionados: uno en el puente San Ignacio(P1) de la parroquia Colón coordenadas UTM 565644;9877503, el segundo en el puente Puerto Real(P2) coordenadas UTM 561202;9882424, y tercer en el puente Mejía(P3) coordenadas UTM 5888995; 9890571, como se muestra en la figura 4 y tabla 5. Este tramo suma un total de recorrido de 32 Km. aproximadamente (Intriago-Flores & Quiroz-Fernandez, 2021). Importante indicar que se cumplió con todas las normas técnicas de muestreos vigentes como: la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 Agua.(NTE INEM 2117:2013, 2013) Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Agua.(Normalización, 2013) Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, y Norma Técnica NTE INEN 2226:2013 Agua. calidad del agua. muestreo. diseño de los programas de muestreo.(NTE INEM 2117:2013, 2013).

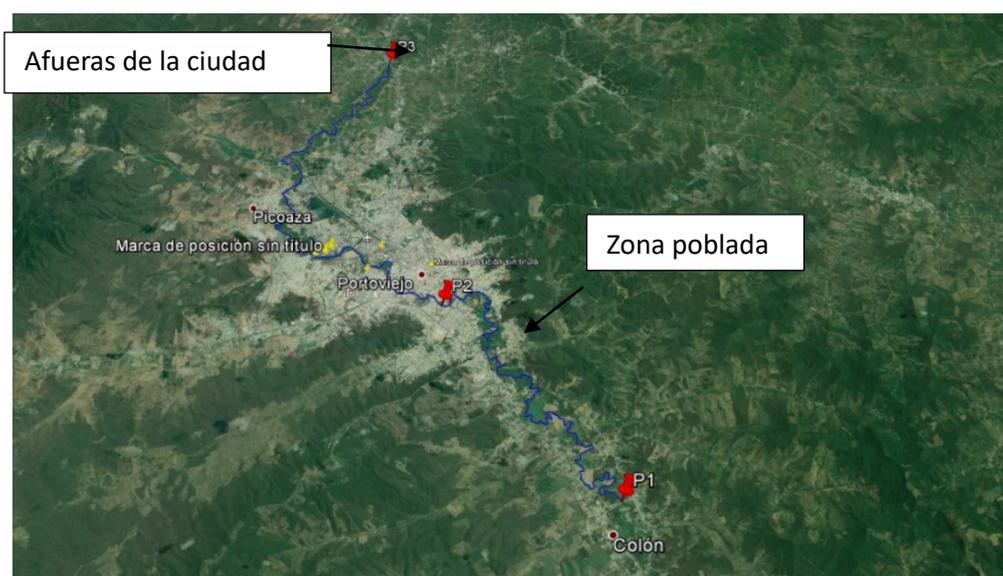


Figura 22. Imagen satelital de ubicación de los tres puntos de muestreo

Tabla 20. Georreferenciación de los tres puntos en la toma de muestreo.

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

## Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos, en situ y laboratorio de la concentración de los nueve parámetros ICA-NSF, en los tres puntos de muestreo (P1, P2, P3) de la cuenca media del Río Portoviejo se evidencian en la tabla 21.

Tabla 21. Valores de concentración de parámetros contemplados para la obtención del ICA.

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

Se realiza un análisis mediante gráficos estadísticos de estos resultados obtenidos parámetro por parámetro:

### Coliformes Fecales (CF): Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro CF, según la figura 23, el pico más alto lo tenemos en el punto dos, puente Puerto Real, lo que concuerda con las 28 conexiones clandestinas de aguas negras clausuradas en el año 2019 por el GADM Portoviejo, la mayoría en el sector de incidencia en la parroquia Andrés de Vera y Simón Bolívar. Al presentarse estos CF en el agua, indican que existe contaminación de tipo microbiológica, lo que puede provocar enfermedades de todo tipo en personas que la consuman.

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

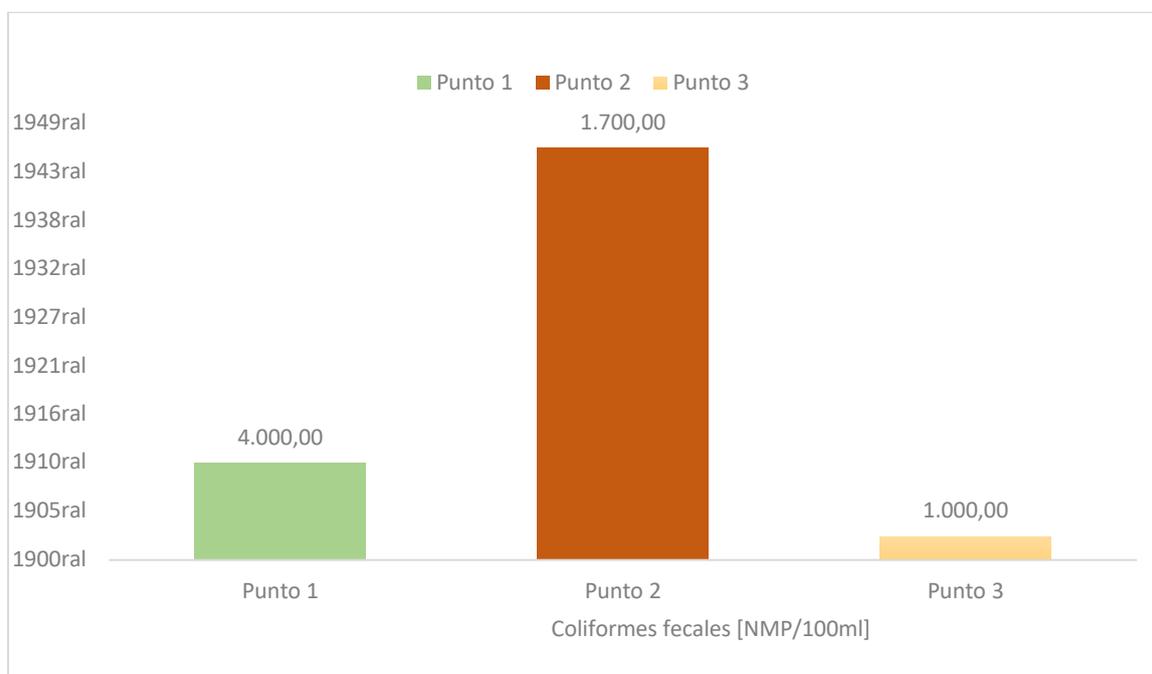


Figura 23. Concentraciones de coliformes fecales en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Potencial de Hidrogeno (pH): Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro pH, según la figura 24, se puede observar que va en aumento con el paso de la ciudad, del punto uno al tres, siendo el pico más alto el punto tres que es en el puente Mejía.

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



Figura 24. Concentraciones de pH en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): Resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos del parámetro (DBO5), según la figura 25, los valores más alto lo tenemos en el punto tres que corresponde en el puente Mejía. Además, se puede evidenciar un incremento conforme va pasando por la urbe de la ciudad. Los niveles de DBO5 al evidenciar un incremento denotan a su vez reducción de la cantidad de oxígeno, debido a que la demanda de oxígeno por parte de las bacterias es alta.

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

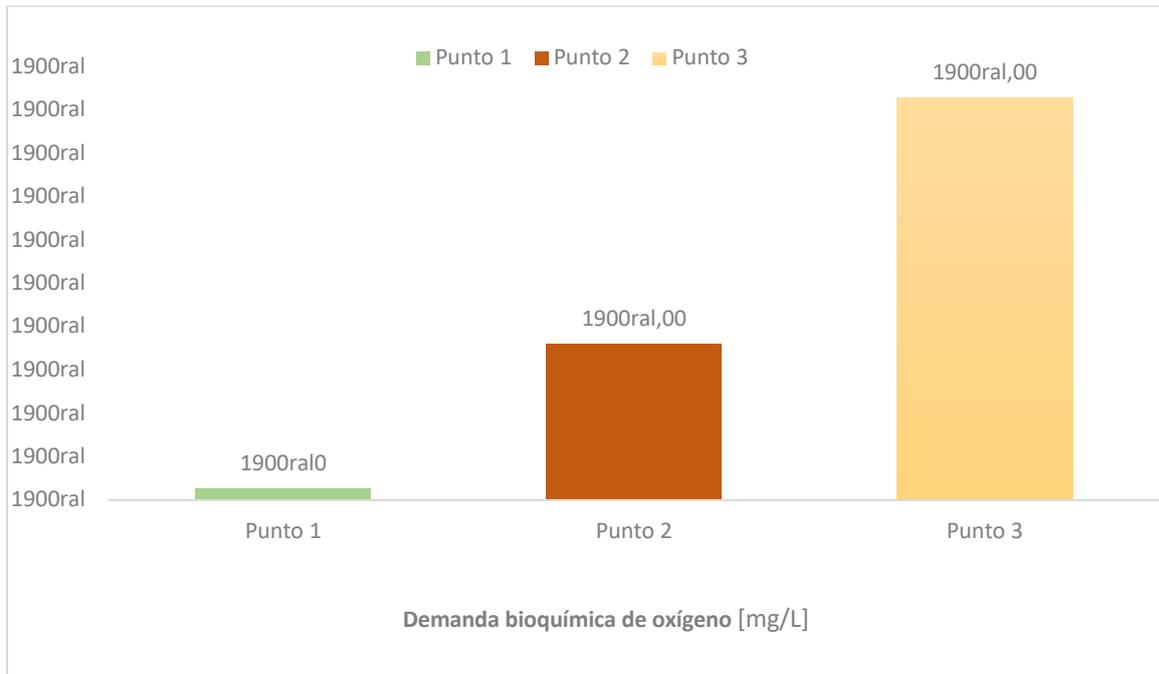


Figura 25. Concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Nitratos ( $N - NO_3$ ) :Resultados obtenidos

La concentración de nitratos a lo largo del río va en aumento conforme avanza aguas abajo, crece desde el punto uno al tres, siendo este último su mayor pico, como se puede observar en la figura 26. La existencia de tierras agrícolas, pastos, aguas negras, detergentes y desechos de animales, evidencia el aumento de este ( $N - NO_3$ ) y la disminución del oxígeno.

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

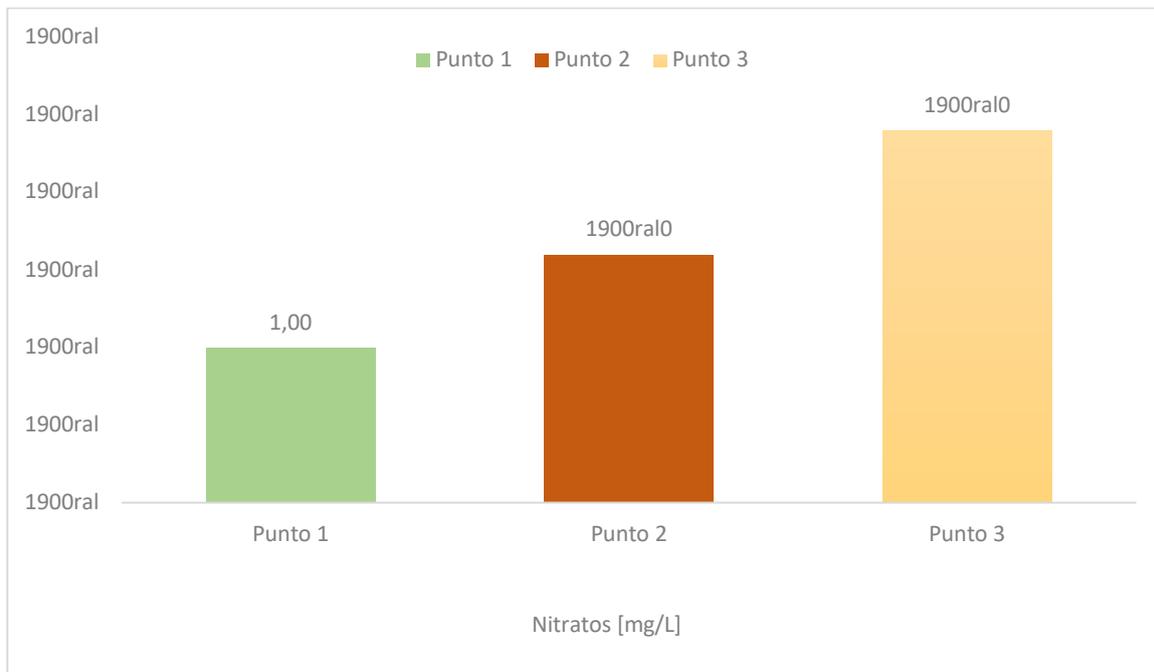


Figura 26. Concentraciones de nitratos en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Fosfatos ( $PO_4$ ) : Resultados obtenidos

La concentración de Fosfato se encuentra en el punto tres, como se puede observar en la figura 27. Las cantidades excesivas de fosfato producen un excesivo crecimiento de algas y plantas en los cuerpos de agua, lo que concuerda con lo evidenciado en el punto tres- puente Mejía. Estas algas consumen grandes cantidades de oxígeno como lo expresa (Carrillo & Urgilés, 2016).

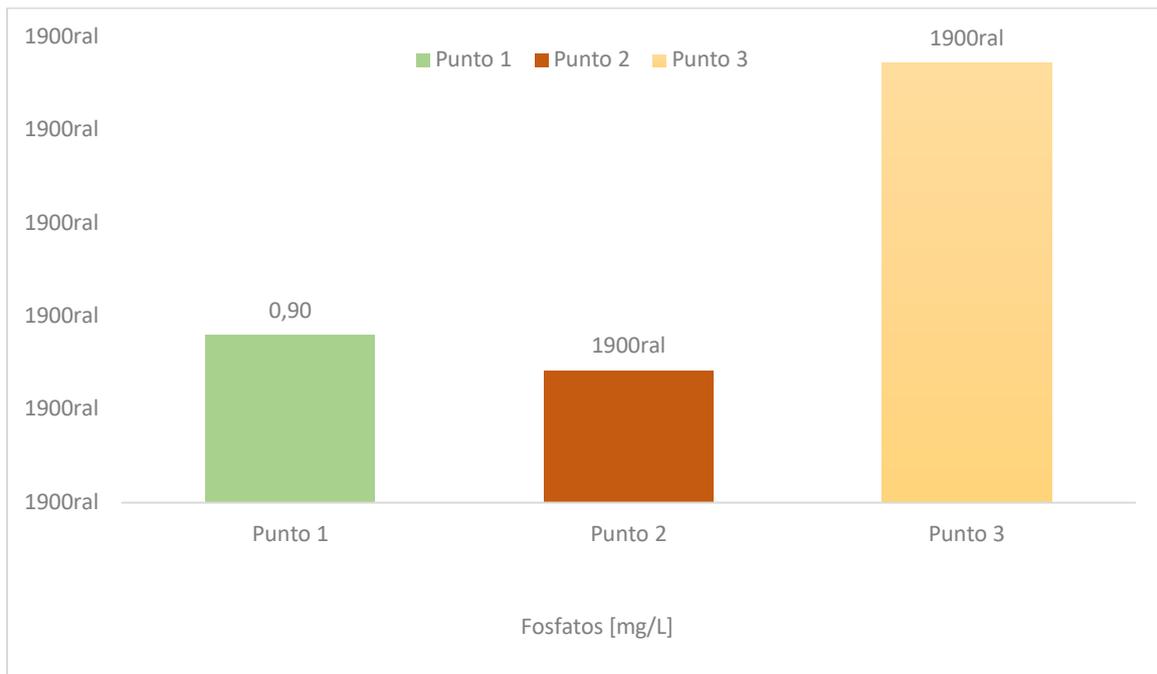


Figura27. Concentraciones de fosfatos en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Cambio de Temperatura: Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del parámetro cambio de temperatura, según la figura 28, se puede el incremento de variación de temperatura desde el punto uno al tres, el pico más alto se encuentra en el punto tres, que es en el puente Mejía.

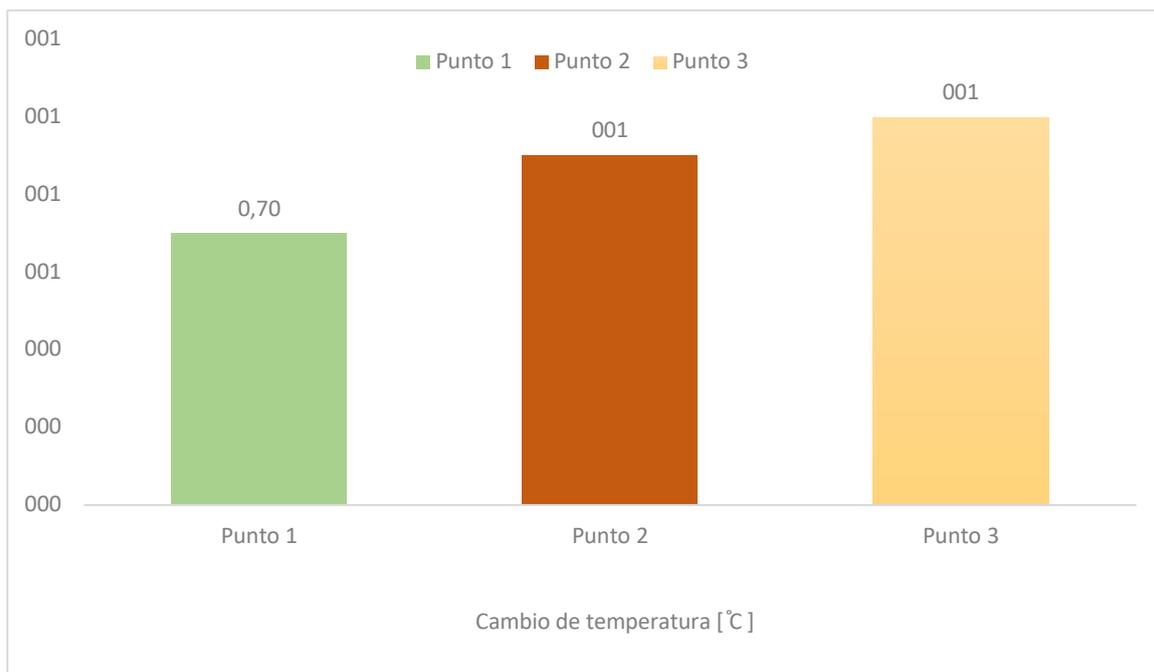


Figura 28. Concentraciones de cambio de temperatura en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Turbidez: Resultados obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos de turbidez, según la figura 29, se puede evidenciar el pico máximo que está en el punto dos.

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

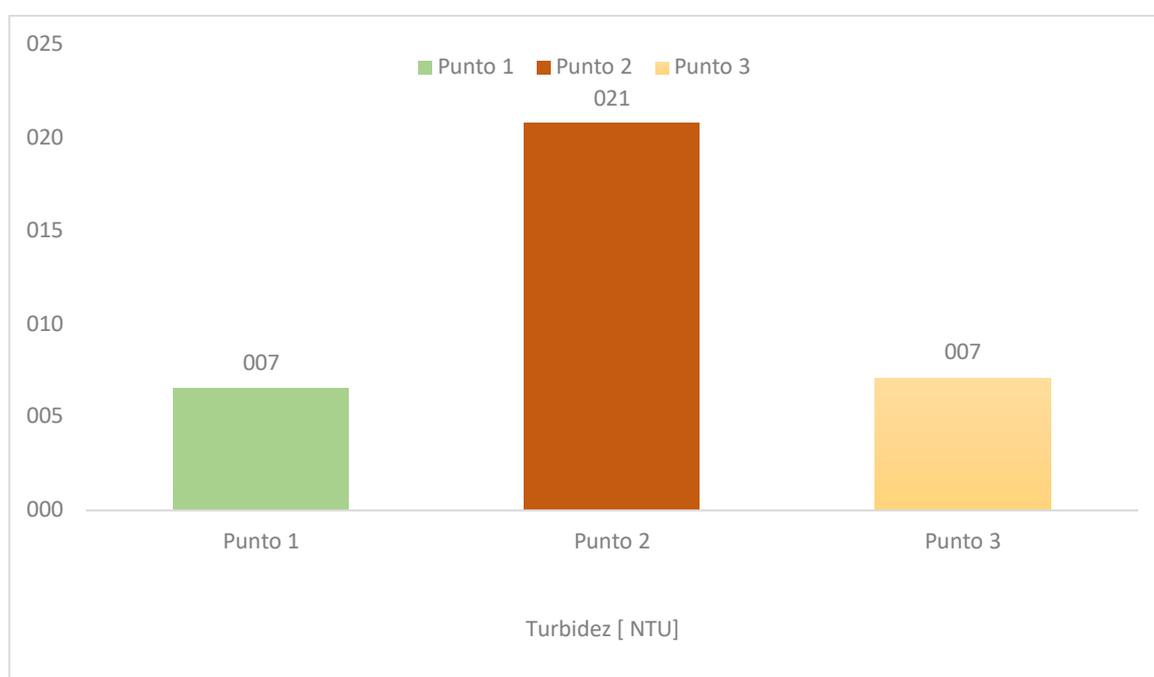


Figura 29. Concentraciones de turbidez en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Sólidos totales disueltos (STD): Resultados Obtenidos

De acuerdo a los resultados obtenidos del parámetro STD, según la figura 30, se puede evidenciar que va en aumento con el paso de la ciudad, del punto uno al tres, siendo el pico más alto el punto tres que es en el puente Mejía. La presencia de altas cantidades de sólidos disueltos totales puede cambiar la calidad del agua, provocando que esta tenga un sabor amargo a metal o salado; además, los sólidos

disueltos afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible (Carrillo & Urgilés, 2016).

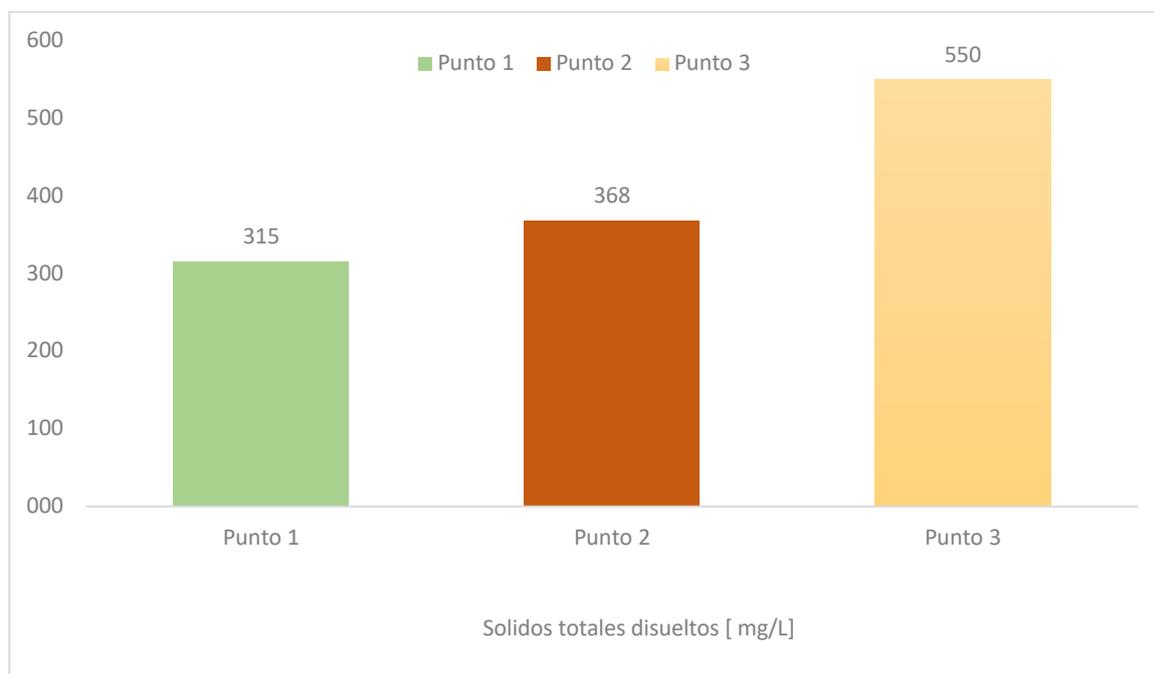


Figura 30. Concentraciones de sólidos totales disueltos en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

### Oxígeno Disuelto (OD): Resultados Obtenidos

Conforme a los resultados obtenidos del parámetro OD, según la figura 31, se puede evidenciar, que según recorre la ciudad disminuye la concentración de Oxígeno Disuelto desde el punto uno al tres, siendo el punto más bajo el punto 3 en el puente Mejía.

La medida de oxígeno disuelto expresa información sobre las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren en las aguas. Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser causados por vertidos con carga orgánica como materia animal y vegetal ya que las bacterias requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica y por lo tanto disminuyen el oxígeno del agua, alterando toda la estructura del sistema acuático (Carrillo & Urgilés, 2016).

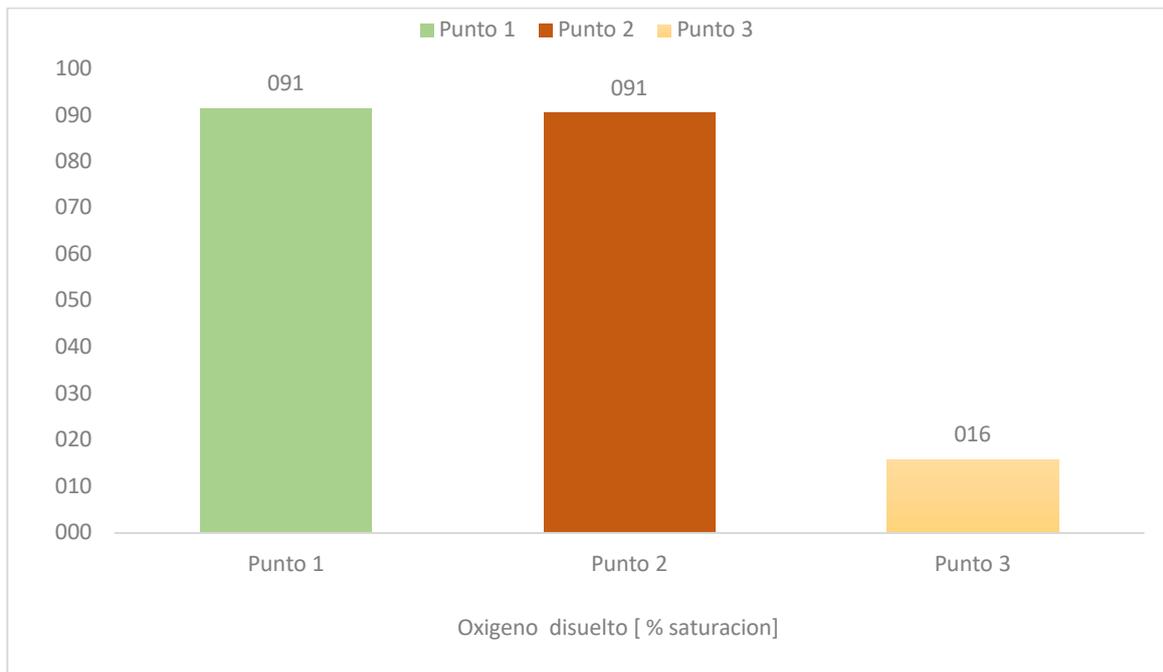


Figura 31. Concentraciones de oxígeno disuelto en tres puntos de la cuenca media del río Portoviejo.

Se hace evidente que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA-NSF se deteriora a lo largo de la sección estudiada del río. El cálculo de valores de concentración de parámetros contemplados para la obtención del ICA, subíndices SI, se detalla a continuación en la tabla 8, importante indicar que ese cálculo se lo realizó con el fin de despajar en la ecuación 1 y de esta manera poder determinar el índice de calidad respectivo. En la tabla 22 se puede apreciar el cálculo de los Subíndices  $i$  ( $S_i$ )

Tabla 22. Cálculo del Subíndice i (Si).

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
$DBO_5$	mg/L	$Si_{DBO5} = e^{(4,5824 - 0,1078DBO5 + 2,4581 \times 10^{-14} e^{\frac{1}{DBO5}})}$

Si  $DBO_5 > 30$  mg/L,  $SIDBO_5 = 2$

Punto 1

$DBO_5 = 2,70$  mg/L  
 $SI_{DBO5} = 73,06$  Condicion (si **73,06**  
 $Wi = 0,10$   $>100=100; <0=0$ )

Punto 2

$DBO_5 = 36,00$  mg/L  
 $SI_{DBO5} = 2,02$  Condicion (si **2,02**  
 $Wi = 0,10$   $>100=100; <0=0$ )

Punto 3

$DBO_5 = 93,00$  mg/L  
 $SI_{DBO5} = 0,00$  Condicion (si **0,00**  
 $Wi = 0,10$   $>100=100; <0=0$ )

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Coliformes fecales	NMP	$Si_{CF} = e^{(4,5922 - 0,1063Ln(CF) - 0,0152 [Ln(CF)]^2)}$

Si coliformes fec.  $> \frac{10^5}{100 \text{ ml}}$ ,  $Si_{CF} = 2$

Punto 1

Colif. Fec.  $4.000,00$  [NMP/100ml]  
 $SI_{CF} = 14,37$  Condicion (si **14,37**  
 $Wi = 0,15$   $>100=100; <0=0$ )

Punto 2

Colif. Fec.  $17.000,00$  [NMP/100ml]  
 $SI_{CF} = 8,29$  Condicion (si **8,29**  
 $Wi = 0,15$   $>100=100; <0=0$ )

Punto 3

Colif. Fec.  $1.000,00$  [NMP/100ml]  
 $SI_{CF} = 22,93$  Condicion (si **22,93**  
 $Wi = 0,15$   $>100=100; <0=0$ )

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Fosfatos	mg/l	$SI_{FT} = \frac{1}{0,0084 + 0,0143 PO_4 + 0,00074 (PO_4)^2}$

Si  $PO_4 > 10\text{mg/L}$ ,  $SI_{PO_4} = 2$

Punto 1

$PO_4 = 0,90 \text{ mg/L}$

$SI_{FT} = 45,73$  Condicion (si **45,73**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Punto 2

$PO_4 = 0,71 \text{ mg/L}$

$SI_{FT} = 52,84$  Condicion (si **52,84**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Punto 3

$PO_4 = 2,36 \text{ mg/L}$

$SI_{FT} = 21,61$  Condicion (si **21,61**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Nitratos	mg/L	$SI_N = e^{(4,4706 - 0,043N + 2,8813 \cdot 10^{-5} N^2)}$

Si  $N > 100\text{mg/L}$ ,  $SI_N = 1$

Punto 1

$N = 1,00 \text{ mg/L}$

$SI_N = 83,73$  Condicion (si **83,73**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Punto 2

$N = 1,60 \text{ mg/L}$

$SI_N = 81,60$  Condicion (si **81,60**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Punto 3

$N = 2,40 \text{ mg/L}$

$SI_N = 78,85$  Condicion (si **78,85**

$Wi = 0,10$   $>100=100;<0=0)$

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
pH	Unidades	$SI_{pH} = e^{(-7,6434 pH + 18,5352 \frac{1}{pH} + 14,625 [Ln(pH)]^2)}$

Si pH < 2,0 o pH > 12,0 und, SI<sub>pH</sub> = 0

**Punto 1**

pH = 7,74 Unidades  
 $SI_{pH} = 88,31$  Condicion (si **88,31**  
 $Wi = 0,12$  >100=100;<0=0)

**Punto 2**

pH = 7,78 Unidades  
 $SI_{pH} = 87,50$  Condicion (si **87,50**  
 $Wi = 0,12$  >100=100;<0=0)

**Punto 3**

pH = 7,93 Unidades  
 $SI_{pH} = 84,05$  Condicion (si **84,05**  
 $Wi = 0,12$  >100=100;<0=0)

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Solidos Totales	mg/L	$SI_{ST} = \frac{1}{0,0123 - 1,3545 * 10^{-5} ST + 9,265 * 10^{-8} ST^2}$

Si ST > 500 mg/L, SI<sub>ST</sub> = 20

**Punto 1**

ST = 315,00 mg/L  
 $SI_{ST} = 58,05$  Condicion (si **58,05**  
 $Wi = 0,08$  >100=100;<0=0)

**Punto 2**

ST = 368,00 mg/L  
 $SI_{ST} = 50,35$  Condicion (si **50,35**  
 $Wi = 0,08$  >100=100;<0=0)

**Punto 3**

ST = 550,00 mg/L  
 $SI_{ST} = 30,42$  Condicion (si **30,42**  
 $Wi = 0,08$  >100=100;<0=0)

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Oxigeno Disuelto	% Saturacion	$SI_{OD} = e^{(1,3663+0,063 \% sat - 0,000303 \% sat^2)}$

Si % Sat > 140, SI<sub>OD</sub> = 50

<b>Punto 1</b>		
%sat =	91,44 % sat	
SI <sub>OD</sub> =	98,85	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>98,85</b>
Wi =	0,17	
<b>Punto 2</b>		
%sat	90,55 %sat	
SI <sub>OD</sub> =	98,16	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>98,16</b>
Wi =	0,17	
<b>Punto 3</b>		
%sat	15,87 %sat	
SI <sub>OD</sub> =	9,87	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>9,87</b>
Wi =	0,17	

Parámetro	Dimensión	Funcion del Subindice I
Turbidez	UNT	$SI_{Turb} = e^{(4,561 - 0,0196Turb + 2,4167 \times 10^{-5} Turb^2)}$

Si Turb > 100 UNT, SI<sub>Turb</sub> = 5

<b>Punto 1</b>		
Turb	6,55 UNT	
SI <sub>Turb</sub> =	84,24	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>84,24</b>
Wi =	0,08	
<b>Punto 2</b>		
Turb	20,80 UNT	
SI <sub>Turb</sub> =	64,31	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>64,31</b>
Wi =	0,08	
<b>Punto 3</b>		
Turb	7,12 UNT	
SI <sub>Turb</sub> =	83,32	Condicion (si >100=100;<0=0) <b>83,32</b>
Wi =	0,08	

Parámetro	Dimension	Funcion del Subindice I
Cambio de Temperatura	°C	$SI_T = 1,9619 E - 06(\Delta T)^6 - 1,3964 E - 04 (\Delta T)^5 + 2,5908 E - 03(\Delta T)^4 + 1,5398 E - 02(\Delta T)^3 - 6,7952 E - 01(\Delta T)^2 - 6,7204 E - 01 (\Delta T) + 9,0392 E + 01$

**Punto 1**

$\Delta T = 0,70 \text{ } ^\circ\text{C}$

$SI_{T=} = 87,75$  **87,75**

$Wi = 0,10$  Condicion (si >100=100,<0=0)

**Punto 2**

$\Delta T = 0,90 \text{ } ^\circ\text{C}$

$SI_{T=} = 88,57$  **88,57**

$Wi = 0,10$  Condicion (si >100=100,<0=0)

**Punto 3**

$\Delta T = 1,00 \text{ } ^\circ\text{C}$

$SI_{T=} = 89,06$  **89,06**

$Wi = 0,10$  Condicion (si >100=100,<0=0)

A continuación, en la tabla 23, se expone el resumen de los ICA-NSF obtenidos, en el punto 1 que corresponde al puente San Ignacio con una calidad "media"; en el punto 2, en el puente Puerto Real, una calidad "media"; y en el punto 3 una calidad "mala"

Tabla 23. Resultados del ICA en los tres puntos tomados en las muestras.

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

### Discusión de los resultados obtenidos

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

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

Como se puede apreciar en la tabla 9, la calidad del agua va decreciendo en el curso del cauce del río Portoviejo, en el orden de 60,97; 60,11 y 43,26 desde el punto uno al punto tres respectivamente. Se hace notorio que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA, se deterioran a lo largo de la sección estudiada, pasando por las zonas pobladas.

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

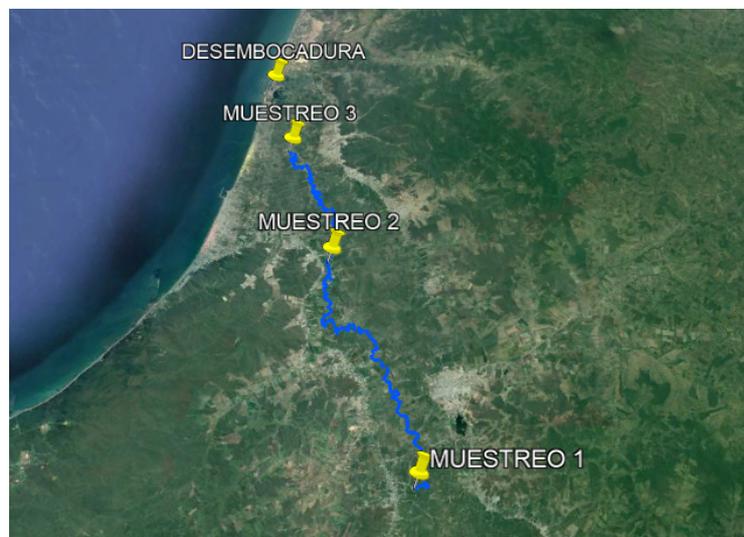
parroquias Andrés de Vera, Simón Bolívar, y Francisco Pacheco coincidiendo con la escasa cobertura del sistema de alcantarillado sanitario, y el incremento poblacional de los cantones que se nutren con la cuenca.

### Caso dos- Cuenca baja del Río Portoviejo

#### Muestreo y descripción de los trabajos

En la figura 32 se muestran los cuatro muestreos realizados

Figura 32: Imagen satelital de ubicación de los tres puntos de muestreo y del tramo del río.



**Fuente:** Aplicado por autores en el programa Google Earth Pro.

Así mismo, se detalla las coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la tabla 24.

Tabla 21. Coordenadas Geográficas de los puntos de la zona de los puntos de muestreo.

Punto o muestreo	Ubicación	Coordenadas UTM	Fecha de toma de muestra.
1	Puente del sitio "Los Positos" (parroquia Sosote de Portoviejo)	559873 9893983	La toma de muestra se efectuó en el mes de agosto de 2023
2	Puente del Balneario "La Guayaba" (El Higuerón de Rocafuerte, Rocafuerte)	556198 9903196	La toma de muestra se efectuó en el mes de agosto de 2023
3	Puente colgante del sitio "Puerto Salinas del Pueblito" (1 km de la Gilces de Crucita)	554265 9908474	La toma de muestra se efectuó en el mes de agosto de 2023

### Resultados

Una vez obtenido los resultados de ensayos tanto in situ como en laboratorio de los parámetros correspondientes del ICA-NSF, se aplicó la ecuación 1 mencionada anteriormente para determinar el índice de calidad de agua en las muestras tomadas a lo largo de la cuenca baja del río Portoviejo, las cuales se harán mención a continuación. (Andrés Prado-Vélez & Benito Intriago-Flores III, 2023) ver tabla 25

Tabla 25: Valores de concentración de parámetros contemplando para la obtención del ICA

No	Parámetros	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Wi
1	DBO <sub>5</sub>	mg/L	12,10	8,32	8,32	0,10
2	Coliformes Fecales	NMP/100mL	7.900,00	200,00	450,00	0,15
3	Temperatura	°C	0,60	1,10	0,70	0,10

4	Fosfatos	mg/L	1,94	1,91	1,11	0,10
5	Oxígenos disueltos	% Saturación	67,00	95,30	102,90	0,17
6	Nitratos	mg/L	2,30	1,90	1,50	0,10
7	pH	Unidad pH	6,97	7,18	7,19	0,12
8	Sólidos totales disueltos	mg/L	752,00	660,00	699,00	0,08
9	Turbidez	NTU	34,10	7,13	12,66	0,08

**Fuente:** Elaborado por autores.

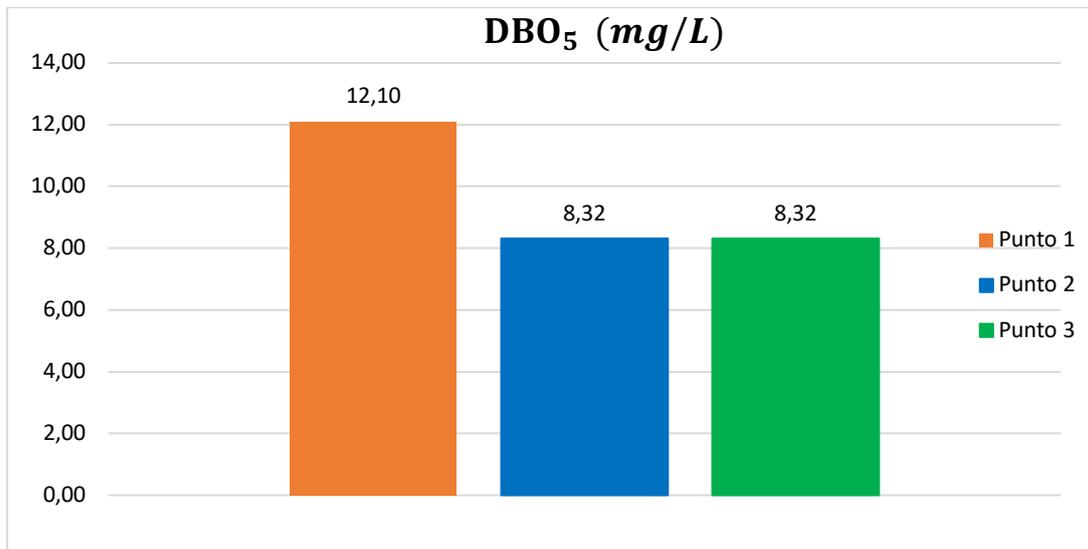
Dado lo expuesto, se llevó a cabo un estudio analítico utilizando representaciones estadísticas para cada uno de los parámetros del ICA-NSF, los cuales permitieron obtener un mejor análisis comparativo para los puntos de muestreos tomados.

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**

En el análisis correspondiente del parámetro de DBO5, se obtuvo una alta presencia de demanda bioquímica de oxígeno para el punto 1 que representa al puente del sitio "Los Positos", en comparación a los puntos 2 y 3 el parámetro DBO5 es similar sabiendo que en dichos puntos existe menos contaminación orgánica.

Dichos valores obtenidos en los puntos uno, dos y tres según el "Anexo 1 Libro VI de las Normas TULSMA – Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico", no cumplen con los límites máximos permisibles (<2.7) para aguas de consumo humano y uso doméstico. Mientras que las normas establecidas del MAE (2015), el límite máximo permisible es de <2. Por lo tanto, tampoco cumpliría con dichas normas.

**Figura 33:** Resultados obtenidos para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.



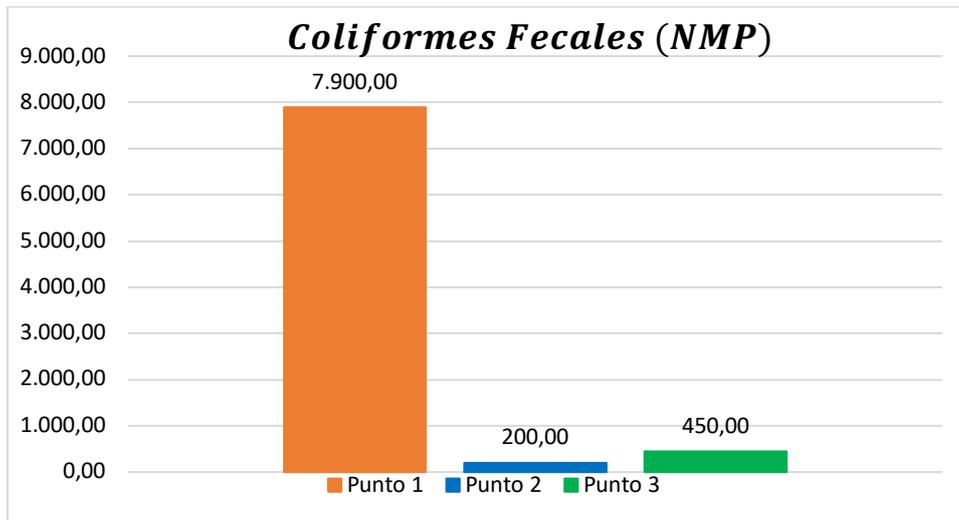
**Fuente:** Elaborado por autores mediante el programa de Excel.

### 31. Coliformes Fecales

Analizando los resultados de la Figura 3, obtenemos una gran presencia de coliformes fecales en el punto 1 (Puente del sitio "Los Positos"), donde concuerda con la visualización que se realizó en sitio de las múltiples conexiones clandestinas de aguas servidas que terminan su recorrido en los canales de aguas lluvias y posteriormente en el río. En los puntos 2 y 3 observamos una disminución radical de los coliformes fecales, considerando que manejan un mejor mantenimiento de infraestructuras y tratamientos de agua.

De acuerdo a las Normas TULSMA y las normas establecidas del MAE (2015), los valores obtenidos de este parámetro en el punto 1 (Puente del sitio "Los Positos"), NO cumple los límites máximos permisibles, el cual es 1000 NMP/100 ml para aguas de consumo humano y uso domésticos, mientras tanto los parámetros del punto 2 y 3, se encuentra dentro del rango de los límites máximo permisibles.

Figura 24. Resultados obtenidos para el parámetro de Coliformes Fecales en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.

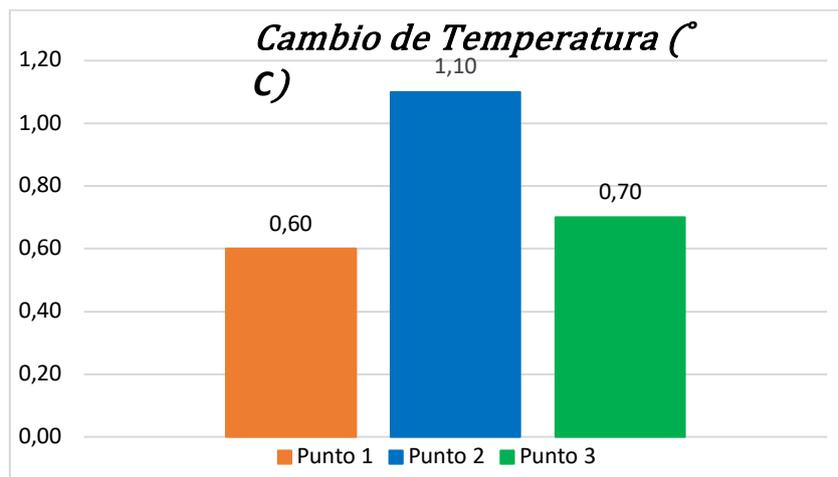


Fuente: Elaborado por autores mediante el programa de Excel.

### 1. Temperatura

A través de la figura 4, pudimos constatar que en el cambio de temperatura surge un incremento elevado del punto 1 al punto 2 (Puente del Balneario "La Guayaba"), siendo este el más alto de las 3 muestras tomadas, disminuyendo posteriormente en el punto 3.

Figura 35. Resultados obtenidos para el parámetro de Cambio de Temperatura (°C) en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.

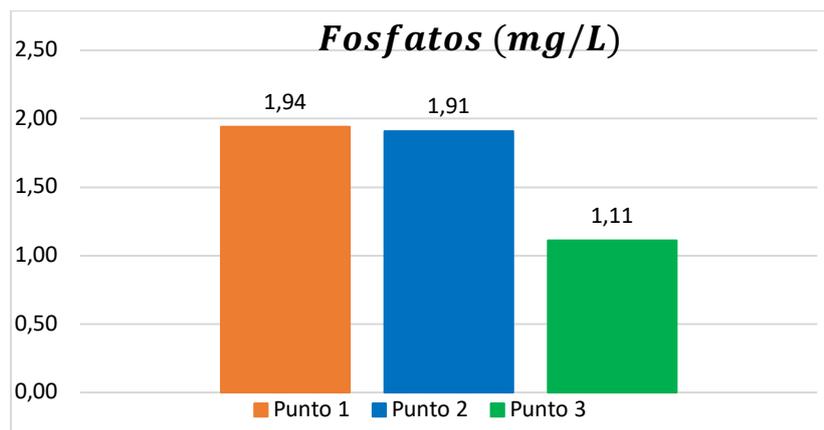


Fuente: Elaborado por autores mediante el programa Excel.

## 2. Fosfatos

Por medio de la figura 5, el punto 1 (Puente del sitio "Los Positos") expresa como resultado la concentración de fosfatos más elevados, seguido por el punto 2 con muy poca diferencia y finalmente, el punto 3 que a comparación de los otros sitios de muestreo arroja una disminución notable.

Figura 36. Resultados obtenidos para el parámetro de Fosfatos en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.



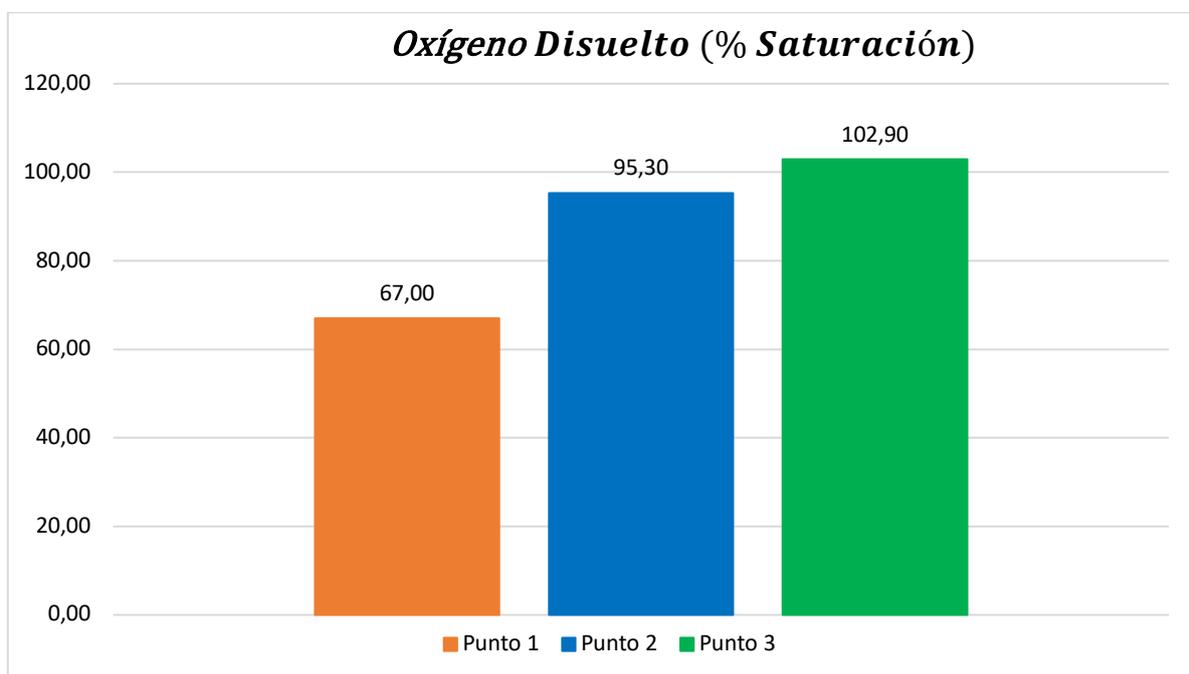
Fuente: Elaborado por autores mediante el programa Excel.

## 3. Oxígenos Disueltos

Conforme a los resultados obtenidos del parámetro de Oxígenos Disueltos, mediante la figura 6, se muestra que a medida avanza la cuenca baja del río Portoviejo existe un incremento progresivo de Oxígenos Disueltos basándose en porcentajes de saturación. El punto más elevado para este parámetro se efectúa en el punto 3 (Puente colgante del sitio "Puerto Salinas del Pueblito", Crucita).

De acuerdo a las Normas TULSMA y las normas establecidas del MAE (2015), los valores obtenidos de este parámetro en el punto 1, NO cumple los límites máximos permisibles, el cual debe ser >80%, mientras tanto los parámetros del punto 2 y 3, se encuentran dentro del rango de los límites máximo permisibles.

Figura 37. Resultados obtenidos para el parámetro de Oxígenos Disueltos (% Saturación) en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.

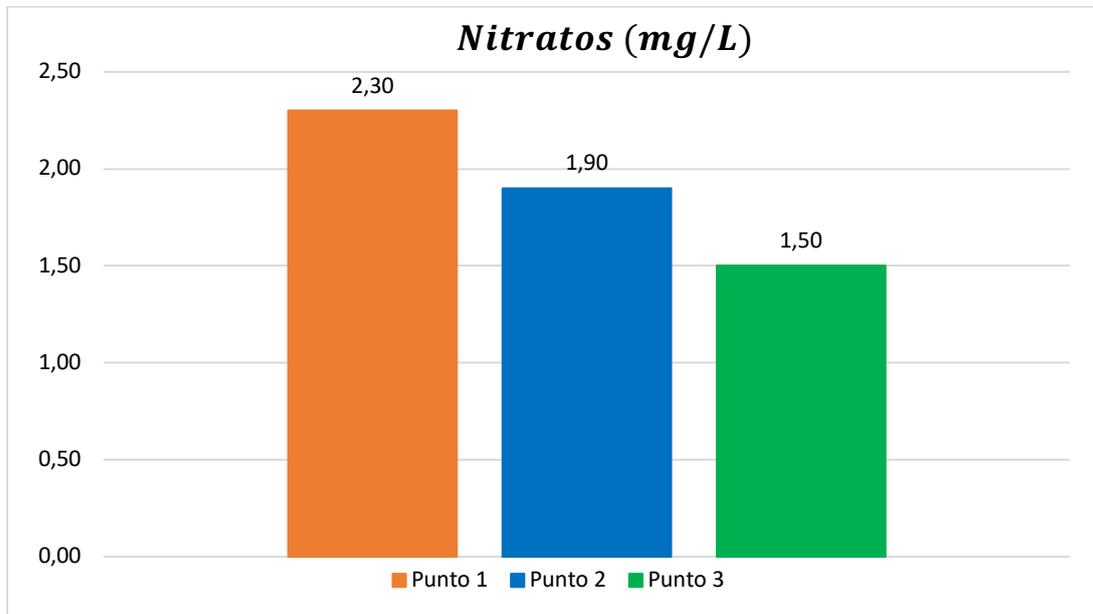


Fuente: Elaborado por autores mediante el programa Excel.

#### 4. Nitratos

De acuerdo a los resultados obtenidos de la figura 7, la concentración de nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) disminuye conforme avanza la cuenca baja del río Portoviejo y esto se debe a la actividad que se realiza en los distintos puntos de muestreo. La concentración más crítica se efectúa en el punto 1 (Puente del sitio "Los Positos"), evidenciando el mal uso de fertilizantes en el sector agrícola aguas arribas y también la descarga ilegal de aguas residuales a diferencia de los otros dos puntos. En el punto 2 mantiene un alto nitrato producto de la descomposición de materia orgánica que se evidenció y finalmente en el punto 3 se pudo visualizar solamente la actividad agrícola y ganadera, presumiendo el uso de pesticidas en el sitio.

Figura 38. Resultados obtenidos para el parámetro Nitratos en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.



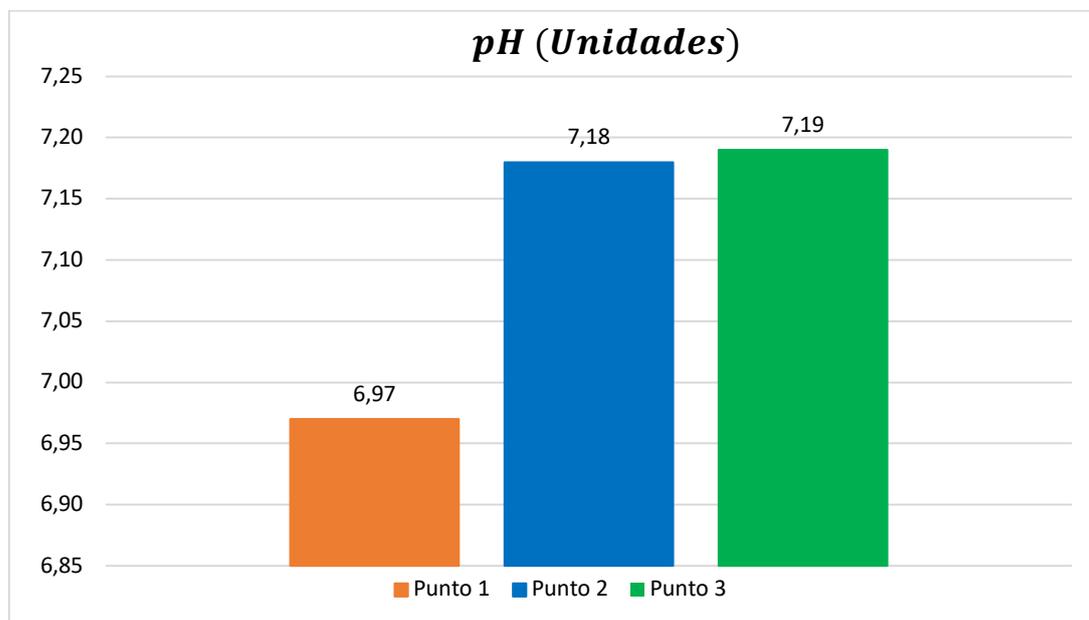
**Fuente:** Elaborado por autores mediante el programa Excel.

## 5. El Potencial de Hidrógeno (pH)

Conforme a los resultados obtenidos de la figura 8, el parámetro correspondiente al potencial de hidrógeno (pH), se puede notar que el nivel de pH va en aumento a medida que recorre la cuenca Baja del río Portoviejo, siendo el valor más alto el punto 3 (Puente colgante del sitio "Puerto Salinas del Pueblito", Crucita).

Según las normas establecidas por el MAE y las TULSMA, el límite máximo permisible del pH debe de encontrarse en un rango neutral entre 6 a 9 unidades de pH, es decir, no debe de encontrarse ni muy ácido ni muy alcalino, y para el estudio de este parámetro en la cuenca Baja del río Portoviejo todas muestras tomadas se encuentran dentro del límite máximo permisible.

Figura 39. Resultados obtenidos para el parámetro pH en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.

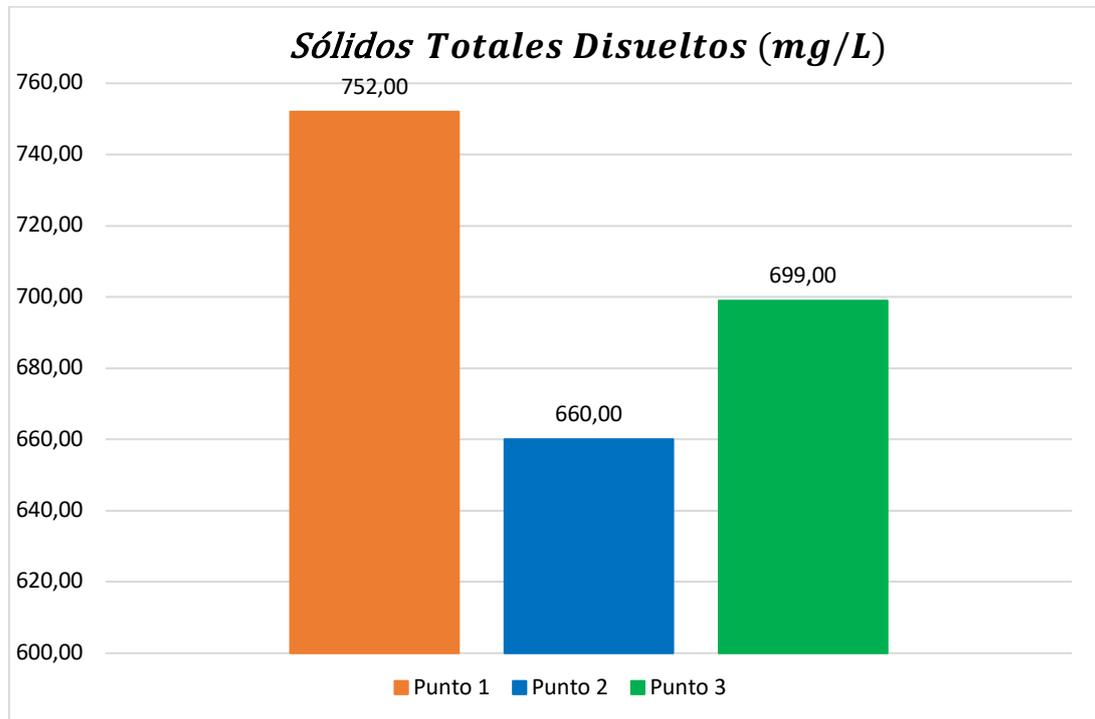


Fuente: Elaborado por autores mediante el programa Excel.

## 6. Sólidos totales disueltos

Por medio de los resultados obtenidos del parámetro de Sólidos Totales Disueltos en la figura 9, se puede visualizar un alto contenido de STD en el punto 1 (Puente del sitio "Los Positos") lo que es evidente por la presencia de basura arrojada en el sitio como también la quema de basura que se observó en las riberas del río, mientras que en el punto 2 tiene un nivel de STD más bajo debido a la compuerta situada en el sitio, esta daba lugar a una mayor sedimentación de los sólidos suspendidos, lo que significa que se producía una aminoración de los niveles de STD en el flujo del agua.

Figura 40. Resultados obtenidos para el parámetro Sólidos Totales Disueltos en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.



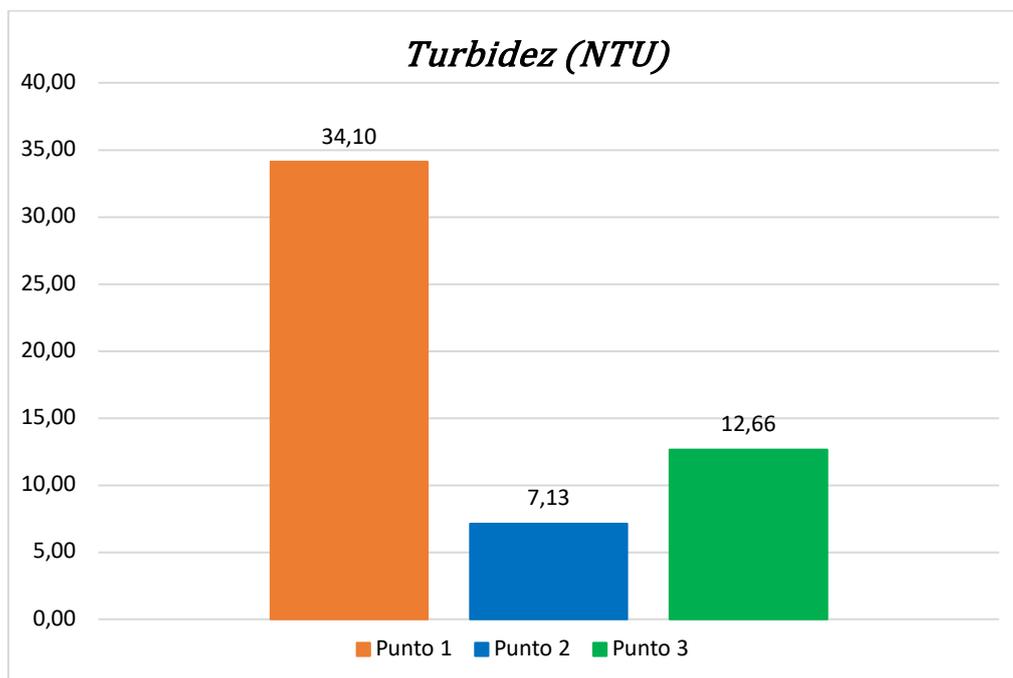
Fuente: Elaborado por autores mediante Excel.

## 7. Turbidez

Conforme a los resultados obtenidos por medio de la figura 10 que muestra los valores del parámetro de turbidez, el punto con mayor turbidez se efectúa en el Puente del sitio "Los Positos" en comparación con los otros puntos que tienen una reducción de nivel de turbidez notable.

De acuerdo a las Normas establecidas por el MAE (2015) y las Normas TULSMA, el límite permisible máximo es de 100 NTU, por lo tanto, todos los puntos de muestreo tomados a lo largo de la cuenca Baja del río Portoviejo cumplen con dichas normas.

Figura 41. Resultados obtenidos para el parámetro Turbidez en los tres puntos de análisis a lo largo de la Cuenca Baja del río Portoviejo.



**Fuente:** Elaborado por autores mediante el programa Excel.

### Discusión de los resultados obtenidos

Se tiene entendido que a medida que el agua circule por el cauce del río ocurrirá una disminución de su calidad del agua, según los resultados obtenidos en la tabla 7, podemos deducir que esto no es del todo cierto, ya que realmente lo que afecta a la calidad del agua es la presencia de asentamientos humanos tales como pueblos y comunidades cercanas al río, lo cual son los principales problemas de contaminación del río como la quema de basura en la ribera del río como también descarga de múltiples sistemas clandestinos, en lo cual se puede ver reflejado en el punto 1 (en el Puente del sitio "Los Positos") que en su mayoría en las pruebas de coliformes fecales, fosfatos, los sólidos disueltos totales, entre otros, es el punto con mayor impacto en mencionados parámetros.

Podemos ver una disminución notable en el punto 2 (Puente del Balneario "La Guayaba", El Higuero de Rocafuerte, Rocafuerte) en diversos parámetros en comparación al punto 1, que se vio reflejado por la estructura de una compuerta en dicho sitio, el cual su diseño puede ayudar a mantener niveles adecuados de oxígeno disueltos en el agua, como también a regular el flujo del mismo, por otra parte, ayuda a controlar la erosión y la sedimentación lo que produce una menor presencia de la turbidez, los sólidos disueltos entre otros.

Mientras que en el punto 3 (Puente colgante del sitio "Puerto Salinas del Pueblito", Crucita) su ecosistema se caracterizaba por ser netamente área ganadera y agrícola, lo que conlleva a tener también parámetros críticos tales como; el ph (cumple con las normas establecidas), así mismo es el punto con mayor cantidad de oxígenos disueltos, siendo esto producto por la poca contaminación que existe en dicho punto. Cabe recalcar que la introducción de nutrientes en exceso o contaminantes tóxicos, puede disminuir los niveles de OD al estimular el crecimiento de algas y microorganismos que agotan el oxígeno durante la descomposición de la materia orgánica.

De acuerdo a la tabla 26, es notorio ver que la calidad del agua en base a la mayoría de los parámetros que forman parte del ICA-NSF, se encuentran deteriorados desde el primer punto de muestreo, pero sus condiciones mejoran a medida que avanza la cuenca baja del río, debido a las zonas habitadas y poco habitadas cercanas al cauce del río. La calidad del agua de la cuenca baja del río Portoviejo a través del ICA-NSF se expone del siguiente orden: punto 1, con 51,75; punto 2, con 65,77 y punto 3 con 65,16., de esta manera se clasifica el agua según la tabla 1 como regular en todos los puntos de muestreos tomados.

Tabla 26. Resultados del ICA de las tres muestras

Parámetros	Punto 1			Punto 2			Punto 3		
	SI	Wi	SI*Wi	SI	Wi	SI*Wi	SI	Wi	SI*Wi
DBO <sub>5</sub>	26,52	0,10	2,65	39,87	0,10	3,99	39,87	0,10	3,99
Coliformes Fecales	11,18	0,15	1,68	36,68	0,15	5,50	29,24	0,15	4,39
Temperatura	87,71	0,10	8,77	89,44	0,10	8,94	87,75	0,10	8,78
Fosfatos	25,69	0,10	2,57	26,03	0,10	2,60	39,71	0,10	3,97
Oxígenos disueltos	68,52	0,17	11,65	100	0,17	17,00	100	0,17	17,00
Nitratos	79,19	0,10	7,92	80,56	0,10	8,06	81,95	0,10	8,20

pH	91,76	0,12	11,01	93,22	0,12	11,19	93,24	0,12	11,19
Sólidos totales disueltos	18,35	0,08	1,47	22,87	0,08	1,83	20,79	0,08	1,66
Turbidez	50,44	0,08	4,04	83,30	0,08	6,66	74,94	0,08	6,00
$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$	51,75			65,77			65,16		
Clasificación de calidad según la tabla 1	REGULAR			REGULAR			REGULAR		

### Estrategias para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca media y baja del río Portoviejo.

Como lo indica el MAE (2018), la contaminación ambiental se debe al mal uso de los recursos naturales, contaminación y sobreexplotación, determinados por los modelos de producción, consumo y estilo de vida de la sociedad. De esta problemática surge la educación ambiental comprometida con decisiones políticas, acciones y prácticas cotidianas individuales y colectivas. La educación ambiental constituye un instrumento para difundir, capacitar y concientizar a la ciudadanía, los resultados se verán a largo plazo. Esta educación ambiental debe incluir a los niños no basta porque los procesos educativos ambientales trascienden los espacios escolares y los complementan, están presentes en la familia, barrio, instituciones, empresas, colectivos sociales, etc.

Según investigación realizada por Macias (2010), los problemas ambientales del río Portoviejo no se limitan a un tema netamente ecológico, sino que trasciende por la evidente relación de este curso hídrico con sus habitantes y por tanto por sus diversas actividades. Así mismo, las medidas que puedan controlar y prevenir la

contaminación también implican involucrados de diversas índoles, identificada bajo 3 grandes grupos de actores:

- Institucionales, tanto los gubernamentales como los privados. En este grupo se colocan los diferentes estamentos oficiales, desde ministerios que tienen diversas competencias de actuación, hasta los gobiernos provinciales, municipales o parroquiales.
- Productivos, donde se encuentran las diversas actividades individuales o corporativas que de una u otra manera utilizan los recursos naturales, los transforman y generan diversos tipos de impactos hacia el ecosistema hídrico.
- Ciudadanos, que utilizan el río para abastecerse de agua para consumo humano, riego o para actividades recreativas o culturales.

## **Objetivo**

El Programa tiene como objetivo principal, informar, difundir, educar y capacitar mediante talleres, charlas, conferencias, y presentaciones de stands, dirigidos a agricultores, estudiantes, padres de familia, maestros, líderes comunitarios y parroquiales con el fin de controlar y prevenir la contaminación de la cuenca del río Portoviejo.

## **Indicadores cualitativos y cuantitativos.**

Se utilizan indicadores cualitativos y cuantitativos para medir el grado de magnitud de los impactos físico, químicos y biológico, causados por en el tiempo y desarrollo. El agua superficial en general y específicamente la del río Portoviejo, es vulnerable a la contaminación tanto biótica como abiótica, dentro de los principales agentes contaminantes tenemos:

- Descarga de aguas servidas de sistemas de alcantarillados sanitarios deficientes.
- Vertido de aguas servidas domiciliarias, en comunidades rurales que no cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario.
- Ecurrimiento de aguas con plaguicidas.
- Ecurrimiento de aguas lluvias con mucha presencia de sedimentos causados por la pérdida de cobertura vegetal de las montañas de la cuenca.
- Disposición de residuos sólidos en riberas.

- Ecurrimiento de residuos peligrosos de lavandería y lubricadoras a lo largo del río.

### **Métodos de verificación**

Estos métodos que van de lo particular a lo general, y viceversa respectivamente, se aplicará durante toda la investigación, porque se va a realizar la caracterización de lugar de estudio, conociendo así los aspectos principales y la estructuración de la situación actual de la cuenca media del río Portoviejo.

### **Estrategias a realizar**

Es preciso plantear estrategias para que se pueda implementar un plan incesante de recuperación de la calidad ambiental de la cuenca, para ello y como resultado de los análisis se plantea desarrollar estrategias generales que permitan alcanzar un desarrollo sostenible de la cuenca hídrica:

- El ordenamiento territorial, planificación regional, urbana, económica y ambiental, son partes importantes para la implementación de proyectos estratégicos ,y su financiamiento por parte del gobierno nacional y entes extranjeros, en los últimos quince años (López, 2015).
- Incrementar la cobertura de alcantarillados sanitarios, primordialmente en parroquias de Portoviejo como Picoazá y Colón, con alta emisión de desechos sanitarios por su gran densidad poblacional y actividades económicas (comercio, agricultura y ganadería).
- Mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario, cambio de colectores, emisarios, líneas de conducción, terciarias, pozos de revisión, que ya han cumplido con su vida útil principalmente en la parroquia Andrés de Vera.
- Restauración de ecosistemas ribereños, recuperando la vegetación nativa y la remoción de pasto.
- Protección de microcuencas y laderas con arborización, que sujeten la tierra y controlen el tema de erosión.
- Disminución del uso de plaguicidas químicos, asesorando a los agricultores con nuevos productos amigables al medio ambiente como lo indica Perez et al. (2010) que ya están siendo utilizados a mayor escala por la Unión Europea

y Cuba, entre las opciones tenemos: trampas cromáticas, insecticidas ecológicos elaborados a partir de hongos, bacterias y nemátodos entomopatógenos, utilizando abono orgánico, rotar los cultivos, evitar regar en exceso, inspeccionar las plantas por lo menos una vez por semana eliminando manualmente las posibles plagas, o adaptar la siembra, poda y recolección al ciclo de las plagas y enfermedades, otros remedios "caseros" como la utilización de nicotina, azufre o agua jabonosa sirven para controlar algunas plagas así lo expresa

- Campañas de educación ambiental a todos los sectores Dada la importancia del desarrollo de campañas de educación ambiental se ha desarrollado un plan para dar cumplimiento a esta acción dentro de la estrategia general.

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

#### Educación Ambiental al sector Institucional o Gubernamentales.

-Eventos de sensibilización de la relación existente entre la calidad del agua en el río y el desarrollo de la región.

- Gremios o sectores organizados. Eventos de sensibilización de la relación río con sus representados.

-Sector Educativo Formal. Fortalecimiento de las actividades establecidas por parte del Ministerio de Educación en los programas de educación ambiental, implementando e incrementando el conocimiento sobre las agresiones al río y las medidas que podemos hacer para evitarlas.

#### Buenas Prácticas Ambientales (BPA) en el sector Productivo

-Difundir las Buenas Ambientales en los sectores: ganaderos, agrícolas, forestales, transporte, entre otros.

- Implementar un sistema de incentivos y reconocimientos a actividades productivas que implementan BPA en sus negocios.

- Desarrollar e implementar la responsabilidad social y ambiental hacia el entorno, en la recuperación de ecosistemas.

#### Educación Ambiental al sector Ciudadano

-Fortaleciendo el Rescate de las tradiciones culturales. o Incentivando el reconocimiento del ecosistema hídrico como parte del desarrollo y bienestar local.

- Utilizando medios de comunicación masivos informando sobre las acciones que cada ciudadano puede implementar para contribuir con las soluciones.

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

## Bibliografía

- Acuerdo 097A, Registro Oficial No. 387 407 (2015).  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Andrés Prado-Vélez, J. I., & Benito Intriago-Flores III, J. (2023). *Estrategias de aminoración de contaminantes: Calidad del agua de la cuenca baja del río Portoviejo* *Strategies to reduce contaminants: Water quality in the lower basin of the Portoviejo River* *Estratégias para reduzir contaminantes: Qualidade da água na bacia inferior do rio Portoviejo*. 85(11), 175–197.  
<https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6202>
- 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*.
- 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](mailto:luis.toto@unillanos.edu.co)
- Campos, A. (2017). *Características de Sistemas Fluviales pequeños y Recursos Hídricos de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, perspectivas de Desarrollo*. [antonio.campos.edu.ec](http://antonio.campos.edu.ec)
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). *Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica-Nsf De Los Ríos Mazar Y Pindilig*.  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- 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.
- 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](mailto:bcoral_almeida@hotmail.com)
- García Franco, A., & Garriz Ruiz, A. (2007). *Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato*. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(1), 111–124.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3818>

- 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](mailto:agiler@pucem.edu.ec)
- 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>
- 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](mailto:rgya@unalmed.edu.co)
- 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>
- INEC. (2010). Fascículo Provincial Manabí. *Inec*, 1(5), 1–7. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manual-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf>  
[http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos\\_provinciales/manabi.pdf](http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculos_provinciales/manabi.pdf)
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). Anuario meteorológico N° 53-2013. In *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (Issue 52). [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Intriago-Flores, J. B. (2023). *Estrategias de aminoración de contaminantes: Calidad del agua de la cuenca baja del río Portoviejo*. I, 23.
- Intriago-Flores, J. B., & Quiroz-Fernandez, L. S. (2021). Calidad del agua de la cuenca media del río Portoviejo. Estrategias para mitigar la contaminación Water quality of the middle basin of the Portoviejo river. Strategies to mitigate pollution Qualidade da água da bacia média do rio Portoviejo. Estratégias p. *Polo Del Conocimiento*, 6(6), 1144–1171. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2811>
- 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](mailto:maria.iriarte@fundacionlasalle.org.ve)

- 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
- Jenkins, S. (1982). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In *Water Research* (Vol. 16, Issue 20). [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(82\)90249-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(82)90249-4)
- Jiménez, A., & Barba, Á. (2000). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12–19. revistaing@uc.edu.ve
- Linares, I., & Huertas, F. (1970). Viscosidad del agua adsorbida sobre partículas de arcilla. *Bol. Soc. Esp. Cerám*, 9(3), 257–264.
- Lopez, M. F. (2015). *El sistema de planificación y el OT en Ecuador*. 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/>
- MAE. (2018). Estrategia Nacional De Educación Ambiental Para El Desarrollo Sostenible 2017-2030. *Ministerio Del Ambiente*, 41. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/ENEA-ESTRATEGIA.pdf>
- Mayorga, O., Ramírez, M., & Mayorga, J. (2000). Índice de calidad de agua de los rios Albarregas y Milla del Estado Mérida, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 24(3), 428–432. revistaing@uc.edu.ve
- 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 Contaminacion Ambiental*, 33(1), 21–35. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>
- 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.redalyc.org?articulo.oa?id=3702](http://www.redalyc.org?articulo.oa?id=3702)
- Normalización, I. E. de. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 2266:2013. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266:2013*. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/NTE-INEN-2266-Transporte-almacenamiento-y-manejo-de-materiales-peligrosos.pdf>

- NTE INEM 2117:2013. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 266 : 2013 Primera revisión. First Edit*, 7–12.
- 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
- 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>
- Patiño, P. (2016). Índices De Calidad De Agua en zonas altas. *Revista Ingenierias Universidad de Bogota.*, 7(16), 8–24. camcruz@univalle.edu.co
- Perez, N., Infante, C., & Rosquete, C. (2010). Disminuyendo la relevancia de los plaguicidas. Alternativas a su uso. *Agroecología*, 5(0), 79–87.
- Petra, P. (2016). Eliminación y determinación de fosfato. *Lange GACH*, 1(2), 1–10. [www.lange.com](http://www.lange.com)
- 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 Ingenieria*, 6(2), 64–70. lquiroz@utm.edu.ec
- 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>
- 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>
- 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
- 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

- 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](http://www.ciesas.edu.mx/cee_xalapa/Informedegestionareassustantivas/Proyectosinstitucionales/aha.pdf)
- 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](mailto:mmancini@ayv.unrc.edu.ar)
- Springer, M. (2010). Capítulo 3. Biomonitorio acuático. *Revista de Biología Tropical*, 58(SUPPL. 4), 53–59.
- Torres, C. (2018). *Escuela politécnica nacional*. [ctorres.sath@gmail.com](mailto:ctorres.sath@gmail.com)
- 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>
- 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>
- 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](http://www.univeersidaddellit.com)

ISBN: 978-9942-33-899-0



**Compás**  
capacitación e investigación