



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Evaluación de la calidad de los ríos de la provincia de El Oro utilizando el índice de
calidad ambiental del agua**

Carmona Cornejo, Carlos Eduardo

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión
Ambiental

Dr. Carrera Villacrés, David Vinicio Ph.D.

15 de diciembre del 2021

12/10/21, 1:26 PM

Revisión de tesis

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Tesis Carlos Carmona

NOMBRE DEL ALUMNO

CARLOS EDUARDO CARMONA CORNEJO

NOMBRE DEL ARCHIVO

CARLOS EDUARDO CARMONA CORNEJO - Revisión de tesis

CREACIÓN DEL INFORME

9 dic 2021

DAVID
VINICIO
CARRERA
VILLACRES

Firmado digitalmente por DAVID VINICIO CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.12.13 12:00:25 -05'00'

Resumen

| | | |
|-------------------------------|----|-------|
| Pasajes marcados | 19 | 2 % |
| Pasajes citados/entrecorridos | 12 | 2 % |
| Coincidencias en la Web | | |
| books.google.com | 6 | 0.7 % |
| utp.ac.pa | 2 | 0.5 % |
| itvillahermosa.edu.mx | 2 | 0.4 % |
| 1library.co | 2 | 0.3 % |
| sintesis.com | 2 | 0.3 % |
| uchile.cl | 2 | 0.3 % |
| planificacion.gob.ec | 2 | 0.2 % |
| docplayer.es | 2 | 0.2 % |
| unsa.edu.pe | 2 | 0.2 % |
| bioweb.bio | 1 | 0.1 % |
| scielo.br | 2 | 0.1 % |
| ucv.edu.pe | 1 | 0.1 % |
| issuu.com | 1 | 0.1 % |
| wikipedia.org | 1 | 0.1 % |
| uss.cl | 1 | 0.1 % |
| congreso.gob.pe | 1 | 0.1 % |
| prezi.com | 1 | 0.1 % |

1 de 31 pasajes

Pasaje del alumno CITADO

las aguas superficiales, en particular, son recursos renovables con una capacidad limitada de recuperación ante los impactos negativos de la actividad humana (ICB Editores, 2017).

Coincidencia principal en la Web

El agua es un recurso natural escaso, cuya calidad debe ser protegida, defendida, gestionada y tratada como tal. **Las aguas superficiales, en particular, son recursos renovables con una capacidad...**

Calidad de Aguas: Usos y Aprovechamiento <https://books.google.com/books?id=VhUwDwAAQBAJ&pg=PT10&lpg=PT10&dq=s%C3%ADntesis+aguas+superficiales+particular+recursos+renovables+capacidad+limitada+recuperaci%C3%B3n+ante+>

<https://books.google.com/books?id=VhUwDwAAQBAJ&pg=PT10&lpg=PT10&dq=s%C3%ADntesis+aguas+superficiales+particular+recursos+renovables+capacidad+limitada+recuperaci%C3%B3n+ante+>

2 de 31 pasajes

Pasaje del alumno CITADO

...de aguas residuales industriales y doméstica sin tratamiento previo. **El 80% de las aguas residuales vuelven a los ecosistemas sin haber sido tratadas o reutilizadas (UNESCO, 2017)**

Coincidencia principal en la Web

La escasez de agua afecta al 40 % de los habitantes del planeta (OMS). **El 80% de las aguas residuales vuelven a los ecosistemas sin haber sido tratadas o reutilizadas (UNESCO, 2017).**

Día del Agua: urgencia por cuidar un bien en peligro | USS 2021 <https://www.uss.cl/blog/dia-del-agua/>



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Evaluación de la calidad de los ríos de la provincia de El Oro utilizando el índice de calidad ambiental del agua**” fue realizado por el señor **Carmona Cornejo, Carlos Eduardo** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de diciembre del 2021

Firma:



Dr. David Vinicio Carrera Villacrés, Ph.D.

Director

C.C.: 1712218518



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo **Carmona Cornejo, Carlos Eduardo**, con cédula de ciudadanía n° 0703927806, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad de los ríos de la provincia de El Oro utilizando el índice de calidad ambiental del agua** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de diciembre del 2021

Firma



Firmado electrónicamente por:
CARLOS EDUARDO
CARMONA CORNEJO

Carmona Cornejo, Carlos Eduardo

C.C.: 0703927806



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Carmona Cornejo, Carlos Eduardo**, con cédula de ciudadanía n° 0703927806, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad de los ríos de la provincia de El Oro utilizando el índice de calidad ambiental del agua** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de diciembre del 2021

Firma



Carmona Cornejo, Carlos Eduardo

C.C.: 0703927806

DEDICATORIA

A mis padres: Víctor Eduardo y María Antonieta por brindarme el apoyo emocional que me ayudó a culminar con mis estudios de cuarto nivel.

A mi hermana Paulina y mi sobrino Martín para que sirvan de ejemplo de que la constancia y la disciplina ayudan a forjar seres humanos de bien siendo la educación un buen ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me ha puesto en el momento y lugar indicado para forjar mi vida, mi trabajo y mis estudios.

A mis padres por guiarme y forjarme como persona de bien en este mundo caótico y complicado.

A mi tía Carmen Cornejo que con su calidez me supo acoger en el seno de su hogar.

A la plantilla de docentes de la carrera de la maestría en Sistemas de Gestión Ambiental que con sus enseñanzas me han servido para llenar mis vacíos de conocimiento y así poder forjarlos en mi vida profesional.

A mi tutor Dr. David Carrera Villacrés cuyas guías y recomendaciones me ayudaron para culminar con todo el proceso de titulación.

A la Dirección de Gestión Ambiental de la Prefectura de El Oro que con su apoyo y confianza pude recopilar la información necesaria para generar conocimiento que servirá a los oreños a la toma de decisiones en políticas de conservación ambiental y cuidado de la calidad de agua.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| Capítulo I..... | 14 |
| Generalidades..... | 14 |
| Antecedentes | 14 |
| Planteamiento del problema | 18 |
| Objetivos | 21 |
| Objetivo general | 21 |
| Objetivos específicos..... | 21 |
| Hipótesis..... | 22 |
| Categorización de las variables de investigación | 22 |
| Justificación de la importancia y alcance de la investigación | 22 |
| Alcance..... | 24 |
| Capítulo II..... | 25 |
| Marco teórico..... | 25 |
| Marco normativo | 25 |
| Marco conceptual | 27 |
| Calidad del agua | 27 |
| Monitoreo de agua..... | 28 |
| Evolución del desarrollo de los índices de calidad de agua..... | 29 |
| Índices de calidad del agua..... | 33 |
| Índice de calidad del agua de NSF (National Sanitation Foundation) | 36 |
| Parámetros de calidad del agua | 38 |
| Parámetros físicos..... | 38 |
| Parámetros químicos | 40 |
| Parámetros microbiológicos | 44 |
| Capítulo III..... | 46 |
| Materiales y métodos | 46 |
| Descripción del área de estudio | 46 |
| La unidad muestral | 48 |
| Localización geográfica y área de influencia | 50 |
| Índice de calidad del agua (NSF) | 54 |
| Cálculo de Q_i mediante curvas de calidad..... | 55 |
| Cálculo de W_i (factor de significancia para cada parámetro)..... | 60 |
| Formulación del índice de calidad del agua WQINSF | 61 |
| Recopilación de información..... | 62 |
| Obtención y análisis de muestras | 62 |
| Capítulo IV | 67 |
| Resultados y discusión..... | 67 |

| | |
|---|------------|
| Resultados de laboratorio de los parámetros por unidad hidrográfica | 67 |
| Cálculo de Q_i mediante curvas de calidad..... | 69 |
| Cálculo de WQINSF | 73 |
| Georreferenciación de los resultados de WQINSF..... | 75 |
| Análisis y discusión de resultados..... | 75 |
| Capítulo V | 94 |
| Conclusiones y recomendaciones..... | 94 |
| Conclusiones | 94 |
| Recomendaciones..... | 96 |
| Bibliografía..... | 98 |
| Anexos | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Ventajas y limitaciones de los índices de calidad de agua</i> | 32 |
| Tabla 2. <i>Especificaciones de los índices de calidad de agua</i> | 34 |
| Tabla 3 <i>Concentración de oxígeno disuelto en el agua en función de la temperatura y de la presión barométrica (salinidad =0 parte por millar)</i> | 41 |
| Tabla 4 <i>Zonificación hidrográfica de la provincia de El Oro según SENAGUA 2011</i> | 48 |
| Tabla 5. <i>Puntos de muestreo en coordenadas UTM WGS 84 Z 17S</i> | 52 |
| Tabla 6. <i>Muestras tomadas en las cuencas hidrográficas de la provincia de El Oro</i> | 53 |
| Tabla 7. <i>Clasificaciones de significancia y ponderaciones para cada parámetro</i> | 61 |
| Tabla 8. <i>Calificación de la calidad del agua según el método NSFQI</i> | 61 |
| Tabla 9. <i>Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Santa Rosa</i> | 67 |
| Tabla 10. <i>Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Jubones</i> | 68 |
| Tabla 11. <i>Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Puyango</i> | 68 |
| Tabla 12. <i>Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Siete</i> | 69 |
| Tabla 13. <i>Resultados de la transformación de oxígeno disuelto en saturación de oxígeno</i> | 71 |
| Tabla 14. <i>Producto entre el factor de significancia (W_i) y la variable Q_i para la muestra de río Buenavista</i> | 73 |
| Tabla 15. <i>Resultados de Índice de Calidad de Agua según NSF</i> | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Escala de pH.</i> | 40 |
| Figura 2. <i>Mapa político de la provincia de El Oro.</i> | 46 |
| Figura 3. <i>Mapa de unidades hidrográficas de la provincia de El Oro</i> | 47 |
| Figura 4. <i>Mapa de muestreo.</i> | 51 |
| Figura 5. <i>Cuencas hidrográficas en la provincia de El Oro y puntos de muestreo.</i> 54 | |
| Figura 6. <i>Curva de calidad y fórmula para el parámetro saturación de oxígeno.</i> | 56 |
| Figura 7. <i>Curva de calidad para el parámetro pH</i> | 57 |
| Figura 8. <i>Curva de calidad para el parámetro coliformes fecales.</i> | 57 |
| Figura 9. <i>Curva de calidad para el parámetro nitratos</i> | 58 |
| Figura 10. <i>Curva de calidad del parámetro demanda bioquímica de oxígeno.</i> | 58 |
| Figura 11. <i>Curva de calidad del parámetro fosfatos.</i> | 59 |
| Figura 12. <i>Curva de calidad del parámetro turbidez.</i> | 59 |
| Figura 13. <i>Curva de calidad del parámetro sólidos disueltos</i> | 60 |
| Figura 14. <i>Toma de muestra.</i> | 64 |
| Figura 15. <i>Preservación y envío de la muestra.</i> | 66 |
| Figura 16. <i>Curva de calidad y ecuación polinómica ajustada.</i> | 72 |
| Figura 17. <i>Mapa de los índices de calidad de agua en la provincia de El Oro.</i> | 75 |
| Figura 18. <i>Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Jubones.</i> | 80 |
| Figura 19. <i>Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Puyango</i> | 84 |
| Figura 20. <i>Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Siete</i> | 88 |
| Figura 21. <i>Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Santa Rosa.</i> | 92 |

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la calidad del agua de las 4 cuencas hidrográficas más importantes de la provincia de El Oro a través de la aplicación del ICA (Índice de Calidad de Agua) del NSF (National Sanitation Foundation de Estados Unidos) con la base de 20 puntos muestrales distribuidos en las unidades hidrográficas de los ríos Siete, Jubones, Arenillas y Puyango en el mes de enero del 2020. La determinación de este índice de calidad del agua para los principales ríos de la provincia de El Oro se da en el contexto de la importancia de facilitar la comunicación de la calidad de los recursos hídricos de manera más precisa y sin tecnicismos para los gestores y tomadores de decisiones políticas. Como parte de una herramienta fundamental en la gestión de cuencas hidrográficas, se obtuvieron los resultados en el rango propuesto por el WQINSF (Water Quality Index desarrollado por National Sanitation Foundation) entre: excelente, buena, regular, mala y muy mala. Con estos resultados, se analizó la viabilidad de la aplicación de una metodología como WQINSF para evaluar la calidad del agua de los ríos altamente intervenidos y conseguir una línea de base detallada de las unidades muestrales seleccionadas. Las muestras fueron analizadas *in situ* y en un laboratorio acreditado por el OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano). Se obtuvieron los siguientes resultados de WQINSF: para las 4 muestras recolectadas en la cuenca del río Jubones se obtuvo un Índice de Calidad de Agua catalogado como “Buena”, en la cuenca del río Siete “Regular”, por otro lado; en la cuenca del río Santa Rosa en 3 cuerpos hídricos “Buena” y otros 3 cuerpos hídricos con calidad “Regular”. Finalmente, en la cuenca del río Puyango se obtuvieron 7 muestras con calidad “Buena”, sin embargo 2 muestras obtuvieron calidad “Regular”. Los parámetros que influyeron principalmente en el deterioro de la calidad de agua, en orden de importancia, fueron los Coliformes Fecales, Demanda Química de Oxígeno y pH. Esto se debe a los factores de significancia asignados por el índice de calidad utilizado.

Palabras clave:

- **ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA**
- **FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO**
- **GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**
- **MONITOREO DE AGUA**

ABSTRACT

In this research, the water quality of the 4 most important watershed of El Oro province was evaluated through the application of the WQINSF (water quality index of the National Sanitation Foundation), based on 20 samples points distributed in the hydrographic units of Siete, Jubones, Arenillas and Puyango river basins in January 2020. Determinate the WQINSF (Water Quality Index developed by National Sanitation Foundation) for the main rivers of El Oro province is important to ease the communication of the water resources quality between the technicians and watershed managers. The results of this research were obtained in the range proposed by WQINSF between excellent, good, fair, bad, and very bad. These became as necessary tool to the watershed management and allowed the feasibility of applying a methodology such as WQINSF to evaluate the water quality of highly intervened rivers and to obtain a detailed baseline of the selected sample units was analyzed. The samples were analyzed in situ and in a laboratory accredited by the OAE (Ecuadorian Accreditation Body). The following WQINSF results were obtained: for the 4 samples collected in the Jubones river basin, a Water Quality Index cataloged as "Good" was obtained, in the "Regular" Siete river basin, on the other hand; in the Santa Rosa river basin in 3 "Good" water bodies and another 3 "Fair" quality water bodies. Finally, in the Puyango river basin, 7 samples were obtained with "Good" quality and two "Regular" samples. The parameters that mainly influenced the deterioration of water quality, in order of importance, were Fecal Coliforms, Chemical Oxygen Demand and pH. This is due to the significance factors assigned by the water quality index used.

Keywords:

- **WATER QUALITY INDEX**
- **NATIONAL SANITATION FOUNDATION**
- **WATERSHED MANAGEMENT**
- **WATER MONITORING**

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

La disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas del Ecuador es de 432 km³/año. Estas cuencas hidrográficas componen 31 sistemas hidrográficos divididos en 2 vertientes: Pacífico y Amazonas; a su vez, estos sistemas se componen por 79 cuencas hidrográficas (FAO, 2015). El agua es un compuesto esencial para la vida, se la utiliza en la alimentación, agricultura e industria; y, además, es el medio en el que se producen la mayoría de las reacciones físicas, químicas y bioquímicas, fundamentales para la vida (Carrera-Villacrés *et al.*, 2015).

A pesar de tal cantidad de agua que fluye en la naturaleza, los seres vivos estamos a merced de muchos desafíos siendo el aprovisionamiento de agua también conocido como líquido vital, el que mucha falta nos está haciendo por culpa de los efectos del cambio climático, de lo cual se ha producido un gran estrés hídrico en muchas sociedades. La calidad y cantidad de las aguas son parámetros que componen el índice de sostenibilidad ambiental, en el cual se destaca la capacidad de los países para salvaguardar el ambiente para el futuro (García, 2017).

Como si fuese poco, a más de los efectos de la variabilidad climática que repercuten en el abastecimiento del líquido vital, existen otros problemas creados por la naturaleza, pero de mucha más magnitud por los seres humanos, cuando se hace uso del agua para fines comerciales e industriales, pero producto de dicho uso se genera efluentes que no son tratadas, contaminando los cuerpos hídricos receptores (Roberto, 2009).

Por estas razones, las autoridades de los gobiernos tienen la responsabilidad de planificar racional del uso del suelo y los recursos naturales a través de la gestión integrada de los recursos hídricos. Existen mecanismos de compensación económica

para los operadores de las actividades antrópicas que hacen uso del recurso natural y para los que infringen en las descargas como parte integral de la gestión de los recursos hídricos, pero para ello es importante contar con información relevante que pueda contribuir en el levantamiento de la línea base de cualquier cuenca hídrica (Saborio, 2009). Para promover la gestión de las cuencas hidrográficas con la base territorial, SENAGUA desconcentró la planificación en 9 demarcaciones hidrográficas (Reglamento a LORHUyAA, 2015).

La complejidad de las U.H., de la provincia de El Oro, más su heterogeneidad de actividades productivas, convierte en todo un reto mantener una regla general para la evaluación de la calidad del agua desde la escala de las cuencas hidrográficas. Existen diferentes índices de la calidad del agua que pueden convertir una situación ambiental difícil de explicar al público general, a un rango de calidad del agua buena o mala, sin llegar a tecnicismos.

Quizá una de las herramientas más importantes para la toma de decisiones de gestión en una cuenca hidrográfica, es una detallada línea de base de la problemática. La evaluación de las cuencas hidrográficas más importantes de la provincia a través de un índice de la calidad del agua permite obtener una línea de base puntual que sirva como punto de partida para monitoreos en el futuro. Estos índices obtenidos permiten determinar un rango de calidad para los ríos analizados

Otro desafío es implementar una metodología que permita comparar resultados futuros para índices de calidad. En ese contexto, este trabajo puede dar luces para proyectar futuras campañas organizadas y complejas para nuevos muestreos. Según Dourojeanni y Jouravlev (2002) uno de los procesos fundamentales para la gestión de una cuenca hidrográfica a través de una entidad es implementar una red de monitoreos del agua.

Los gestores de las cuencas hidrográficas también deben abordar temas como la contaminación de los ríos producto de las descargas de aguas residuales domésticas

e industriales. Esta contaminación originada por la falta de saneamiento ambiental en comunidades ribereñas y ausencia de controles estrictos en las descargas industriales es una amenaza en la salud de las poblaciones en el mediano y largo plazo.

La provincia de El Oro cuenta con varias cuencas hidrográficas, entre estas están: Jubones, Puyango -Tumbes (binacional), Pagua, Motuche, todas ellas desembocan en el océano Pacífico. Es necesario resaltar que la riqueza y desarrollo socioeconómico de la provincia está sustentada fundamentalmente en el recurso agua.

La cuenca hidrográfica con mayor extensión territorial dentro de la provincia de El Oro es la U.H. del río Puyango. El principal aporte contaminante de esta cuenca binacional lo hace la actividad minera. Según MAE (2014) el deterioro de la calidad del agua de la cuenca en mención se debe a la intensa actividad minera de extracción y procesamiento de material metálico en la cuenca alta, especialmente en los cantones de Portovelo, Atahualpa y Zaruma.

La segunda cuenca hidrográfica de mayor extensión dentro de la provincia de El Oro es la U.H. del río Santa Rosa. En la cuenca alta de esta unidad hidrográfica existen yacimientos auríferos que han proporcionado condiciones de contaminación del agua. Según Vaca y Pozo (2014) las principales fuentes de contaminantes de la cuenca del río Santa Rosa son: minería en la cuenca alta y desechos sólidos y aguas residuales producto de la falta de saneamiento ambiental en las poblaciones asentadas en los márgenes de los tributarios.

La tercera cuenca hidrográfica sobre la que se sustenta la mayor producción de banana en la provincia de El Oro es la U.H. del río Jubones. De acuerdo con Vite *et al.*, (2018) existe una alta correlación estadística entre la productividad de las haciendas bananeras emplazadas en la ribera del río Jubones y el índice de vegetación normalizada obtenida mediante el uso de sensores remotos. Esto remarca la importancia que tiene el río Jubones para el desarrollo sin necesariamente ser la cuenca con mayor extensión.

Finalmente, la cuenca del río Siete como la cuarta en extensión de la provincia de El Oro. El río Siete tiene una extensión de aproximadamente 30 kilómetros y recibe descargas provenientes principalmente de la minería. Según PRODEMINCA (1998) la contaminación por Arsénico del río Siete era muy elevada y los afluentes más afectados por dicho metaloide son las quebradas El Paraíso y La Florida. De acuerdo con León (2016) las formaciones geológicas del área hacen que sea normal encontrar aguas con altas concentraciones de Hierro y Cobre. Sin embargo, una gran parte de los contaminantes provienen de la industria minera.

En ese contexto, el deterioro del río Siete merece ser seguido de cerca mediante las herramientas adecuadas para lograr incorporar a las políticas públicas los mecanismos adecuados para detener la contaminación. Sólo una vez que se pueda interrumpir las descargas del drenaje ácido y de relaves se podrá emprender un proceso de remediación de este cuerpo hídrico. La mejor forma de iniciar este proceso es manteniendo un plan de monitoreo y a la vez, procesar dichos monitoreos para calcular los índices de la calidad del agua. Estos índices de la calidad del agua permiten evaluar las condiciones actuales de las U.H. y georeferenciar los puntos críticos de intervención.

Hoy en día, los volúmenes disponibles de agua dulce para usos agrícolas y urbano-industrial han disminuido en todo el mundo, esto es consecuencia del uso excesivo de aguas superficiales y subterráneas destinadas a actividades antrópicas (Carrera-Villacrés, 2011). Sumado a esto, es imposible garantizar la sostenibilidad del desarrollo de las cuencas si es que el recurso agua se sigue degradando de forma cuantitativa y cualitativa (Solís, 1993).

Es por eso por lo que se pretende diagnosticar el estado de la calidad del agua de los ríos de la provincia de El Oro en los cauces principales y aquellos que están expuestos a las fuentes de contaminación como parte de la gestión del recurso hídrico para conocer si están aptos para cualquier uso en general.

Planteamiento del problema

A pesar de que se han realizado campañas de monitoreos de la calidad del agua de los ríos en la provincia de El Oro, hasta el momento no existe un plan provincial que norme las campañas de muestreos. Esto ha hecho que las diferentes campañas emprendidas queden como esfuerzos aislados que no logran el impacto requerido en la gestión del agua.

El agua dulce es un recurso natural muy escaso de forma natural. Sin embargo, este se ve aún más disminuido por la contaminación y por efectos del Cambio Climático. A partir de este problema, los países desarrollados y en desarrollo están preocupados sobre el estado de la calidad del agua ya que puede repercutir en la salud de los seres vivos. Existen factores de riesgo que afectan a la calidad del agua como son los agentes infecciosos, las sustancias químicas y radiológicas.

Los cuerpos lóticos como los ríos tienen la capacidad de autodepuración, pero las fuentes de contaminación antrópicas dificultan su capacidad auto depuradora por las descargas de sustancias xenobióticas con compuestos químicos nuevos para la naturaleza lo que impide la descontaminación natural por microorganismo al no estar adaptados al medio. En síntesis, las aguas superficiales, en particular, son recursos renovables con una capacidad limitada de recuperación ante los impactos negativos de la actividad humana (ICB Editores, 2017).

A nivel mundial, anualmente 12,6 millones de personas mueren a causa de la insalubridad del medio ambiente por la exposición de contaminantes en los factores agua, aire y suelo (OPS, 2020). La generación de aguas residuales sin el debido manejo o tratamiento está asociada a la contaminación ambiental en diferentes países. Tal es así que los países sufren contaminación por aguas servidas no tratadas en donde se concentra detergentes, químicos industriales y material fecal a los cuerpos de agua.

Castro (2019) investigó los países más contaminados del mundo con la base de índices de contaminación del agua, aire y suelo. Por ejemplo, en Albania, los ríos Tirana y Lama presentan altos niveles de contaminación por vertidos de aguas industriales y mineros al igual que la bahía de Vlora por la presencia de mercurio.

En la misma investigación se encontró que en Tailandia, las 75 fábricas incluidas las de celulosa y papel son fuentes de contaminación de mercurio a tal punto que existe bioacumulación de mercurio en pescados y personas sobre los límites permisibles. En Indonesia, la fuente de contaminación de aguas y suelos proviene de la minería artesanal ilegal de oro.

En el continente americano, países como México y Estados Unidos tienen los índices de contaminación peores calificados de la región. En Estados Unidos, la contaminación del agua está ligada al exceso de nutrientes que escurren desde los campos agrícolas hacia los torrentes de agua produciendo contaminación por eutrofización y el ejemplo más claro es la zona muerta del golfo de México que ocupa una superficie de 22.792 km² en donde no prospera la vida.

En el Ecuador las fuentes de contaminación hacia el recurso agua causada por inexistentes o deficientes sistemas de tratamiento de agua o mal manejo de productos químicos que denotan en aumento la concentración de nutrientes o sustancias contaminantes en los ríos por escurrimiento superficial o subsuperficial. Es así como el Ministerio del Ambiente ha catalogado a las actividades de la siembra de cacao y banano, así como la producción camaronera, petrolera y minera como las pioneras en los daños ambientales que históricamente se ha registrado en el país (MAE, 2016).

Localmente en el río Jubones que desemboca en el sector de la Iberia en el cantón El Guabo, provincia de El Oro, sufre descargas directas de las viviendas porque no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Para sumar a ello, el ineficiente sistema de recolección de residuos sólidos en el cantón provoca que la población arroje sus desperdicios al río, aunque también la falta de cultura y conciencia

ambiental es la causante de este tipo de problemas (La Hora, 2009). Según CISPDR (2016) en la cuenca baja del río Jubones existe contaminación proveniente de agricultura y falta de saneamiento ambiental en poblaciones ribereñas. En la cuenca media y alta las principales fuentes contaminantes serían la agricultura y la industria minera.

La Secretaría de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro reportó 32 denuncias por contaminación ambiental en el sector de Bellamaría, y Valle Hermoso por donde confluye el río Caluguro supuestamente afectada por las actividades mineras ilegales que se da en esos sectores con la preocupación de la población por el riesgo de que el líquido vital no sea apto para el consumo humano ni para la agricultura (La Hora, 2010).

Por la tendencia histórica de la contaminación ambiental por las actividades mineras en el distrito Zaruma Portovelo, se ha encontrado sedimento con metales pesados fuera de la norma ambiental en los lechos de los ríos Calera y Amarillo; y dichos cuerpos de agua son tributarios del río Puyango en donde limita aguas abajo con el vecino país del Perú (Guerra, 2010).

Otra problemática para abordar el tema de la calidad del agua en los ríos es la medición exacta de los parámetros de calidad ya que el error puede inducirse involuntariamente por la imposibilidad de muestrear exactamente el ambiente debido a la complejidad de espacio tiempo y el seso durante los análisis de laboratorio (Felsot, 1992).

En ese contexto, la contaminación por fuentes puntuales y difusas se encuentra extendida sobremanera en las diferentes unidades hidrográficas de la provincia de El Oro. Las campañas de muestreos desde organismos oficiales e iniciativas académicas para evaluar la calidad del agua podrían ser infructuosas si se realizan de manera aislada y sin una homologación de las unidades muestrales, estaciones, parámetros y periodicidad en la medición. Según MacDonald (1971) se necesitan más datos de

calidad muestral y temporal para entender los efectos de las actividades antrópicas sobre el ambiente y poder establecer las posibles soluciones para mitigar los efectos adversos.

Esta información debería ser presentada de una forma abreviada pero significativa (índices) a los tomadores de decisiones políticas. Estos índices pueden ayudar para definir varias opciones concernientes a la política pública, incluir los costos socioeconómicos de su aplicación y evaluar el éxito de las políticas implementadas para el tratamiento de la problemática de la contaminación (MacDonald, 1971).

En la provincia de El Oro no existe una metodología establecida para evaluar la calidad del agua de los ríos que pueda ser presentada a manera de índices. Bajo estas premisas, se consideró esencial para la gestión integral de las cuencas hidrográficas realizar un muestreo de las unidades hidrográficas más importantes y evaluar la calidad del agua mediante la aplicación del WQINSF. De esta manera se genera información actualizada y sistematizada de la calidad del agua de los ríos para conocer su estado de conservación o deterioro.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de las 4 unidades hidrográficas más importantes de la provincia de El Oro utilizando el índice de calidad de agua de NSF (Fundación Nacional de Saneamiento) como parte de una estrategia a largo plazo para la gestión de las cuencas hidrográficas del río Siete, río Jubones, río Santa Rosa y río Puyango.

Objetivos específicos

- Muestrear en los 20 sitios seleccionados los parámetros: coliformes fecales, potencial de hidrógeno pH, demanda bioquímica de oxígeno (DQO), Nitratos, Fosfatos, cambio de Temperatura, Turbidez, sólidos disueltos y oxígeno

disuelto para luego ser utilizados como una de las variables en el cálculo del índice de la calidad.

- Calcular el Índice de Calidad del Agua por medio de la metodología del WQINSF de los Estados Unidos de Norteamérica para obtener un diagnóstico sólido sobre el estado actual de las 4 unidades hidrográficas analizadas.
- Comparar el Índice de Calidad del Agua de NFS con respecto a la norma ecuatoriana a través del cotejamiento descriptivo de rango y puntaje del WQINSF y los límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Ambiental TULSMA.
- Georreferenciar los resultados de WQINSF para cada unidad hidrográfica estudiada en un sistema de información geográfica con el fin de dotar de una herramienta de gestión a los tomadores de decisiones políticas y establecer puntos críticos de intervención.

Hipótesis

La calidad del agua de las 4 principales U.H. de la provincia de El Oro es de mala calidad aplicando la metodología del WQINSF.

Categorización de las variables de investigación

Variable dependiente: Índice de calidad del agua WQINSF

Variables independientes: Coliformes fecales, potencial de hidrógeno pH, DQO, Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos, Oxígeno Disuelto.

Justificación de la importancia y alcance de la investigación

El adecuado manejo de los efluentes industriales es uno de los objetivos del desarrollo sustentable de la agenda 2030, tomar medidas para reducir la contaminación de los efluentes y reutilizar el agua en los procesos industriales es lo

deseable para asegurar el abastecimiento de agua dulce en las próximas generaciones.

La contaminación de ríos y mares es un problema mundial producto de las descargas de aguas residuales industriales y doméstica sin tratamiento previo. El 80% de las aguas residuales vuelven a los ecosistemas sin haber sido tratadas o reutilizadas (UNESCO, 2017). Es por esto por lo que los Estados deben realizar un esfuerzo importante en invertir en obras de saneamiento ambiental. Solo de esta manera se puede garantizar un medio ambiente sano y equilibrado.

La gestión ambiental es la suma de todas las estrategias, actividades o políticas que se pueden realizar para proteger el medio ambiente. El objetivo de dicha gestión, imprescindible dada la creciente contaminación ambiental, es conocer que está pasando en cada momento con el medio ambiente, con la intención de prevenir y saber qué hacer de tal manera que los efectos de las actividades humanas e industriales produzcan el menor daño posible (Arevalo y Ortega, 2019).

De acuerdo con Shweta y Prashant (2013) los índices de calidad del agua utilizan información con respecto al estado de salud de los recursos hídricos y ayuda en la modificación de las políticas, las cuales son formuladas por diferentes agencias de monitoreo ambiental.

Por esta razón es imprescindible conocer el estado de la calidad del agua de los ríos de la provincia de El Oro mediante índices de calidad que integren los parámetros físicos, químicos y microbiológicos y las opiniones de expertos en el tema. Solo de esta manera se puede determinar la calidad o el grado de contaminación de los ríos. Este paso de procesar esta información para que los tomadores de decisiones políticas tengan un diagnóstico sólido y sencillo es fundamental para que el mensaje que tienen los datos técnicos llegue de manera adecuada.

De acuerdo con Canter (1998) un índice ambiental es un número o una clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos e información ambiental cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil a los decisores y al público. Por lo tanto, en este trabajo de investigación y como parte de la gestión del recurso hídrico es imprescindible diagnosticar el estado de la calidad del estado físico, químicos y microbiológico de los ríos de la provincia de El Oro representado para las 4 cuencas hídricas que compone la provincia mediante un índice ambiental tal que garantice de esta manera la gestión del agua.

Alcance

La unidad muestral para evaluar la calidad del agua fueron 20 puntos distribuidos geográficamente en las unidades hidrográficas del río Siete, Jubones, Santa Rosa y Puyango. Para cada unidad muestral se envió al laboratorio acreditado a analizar los parámetros: coliformes fecales, potencial de hidrógeno pH, demanda bioquímica de oxígeno (DQO), Nitratos, Fosfatos, cambio de Temperatura, Turbidez, sólidos disueltos y oxígeno disuelto. El cálculo del WQINSF se realizó para cada uno de los 20 puntos muestreados.

Capítulo II

Marco teórico

Marco normativo

- **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**, Registro Oficial N° 440 del 20 de octubre del 2008.

El presente trabajo se basa en lo que determina la cúspide de la pirámide de Kensel referente al marco normativo ambiental. El Art 12 de la carta magna ecuatoriana establece como derecho de todo ser humano al aprovisionamiento del agua como fundamental e irrenunciable y es un patrimonio nacional para uso estratégico de uso público y esencial para la vida. De igual manera el Art. 14 de la norma mayor ecuatoriana reconoce como derecho de todo ciudadano a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. El Art. 276 del marco normativo citado establece que uno de los objetivos del régimen de desarrollo será recuperar y conservar la naturaleza para garantizar el acceso equitativo, permanente con criterios de calidad de agua, aire y suelo hacia la población.

En la sección sexta de la Constitución del Ecuador, en su Art. 411 define que el Estado deberá garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hídricas y caudales ecológicos considerando la calidad y cantidad de agua como prioridad en la sustentabilidad de los ecosistemas y en el consumo humano.

- **LA UNESCO Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

La sociedad internacional tiene muchos desafíos como la eliminación de la pobreza, defensa del medio ambiente, educación, igualdad de género y actualmente la lucha al cambio climático. Según Naciones Unidas (2018) la escasez del agua, su mala calidad y un déficit de saneamiento tienen una repercusión negativa sobre la seguridad alimentaria, en la falta de oportunidades de educación para la población más pobre y en el acceso de medios de subsistencia.

Tal es así que la Organización de las Naciones Unidas, en el 2015 aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible y en dicha agenda se plantearon 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con el fin de atender los desafíos que se citó anteriormente.

El presente proyecto de titulación tiene previsto atender 3 objetivos que a continuación se detalla:

Objetivo 2: Hambre Cero

Objetivo 4: Salud y Bienestar

Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento

- **PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2017-2021**

El Plan Nacional de Desarrollo “Toda Una Vida” es una serie de políticas públicas del actual régimen de gobierno tiene planificadas para precautelar los derechos constitucionales, programas y proyectos de inversión que estén también alineados a los objetivos de desarrollo sostenible. En el marco investigativo del presente proyecto de titulación se tiene considerado estar alineado a los siguientes objetivos:

Objetivo 1: Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas. Este objetivo se enmarca al desafío de fortalecer el acceso y mejorar la

calidad de salud, alimentación, agua y entre otros para generar una igualdad de oportunidades.

Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. Con este objetivo se busca hacer frente a las condiciones de regeneración de los ciclos vitales, con especial énfasis en el agua.

- **LEYES, NORMAS Y REGLAMENTOS**

El Código Orgánico del Ambiente tiene como objetivo garantizar el derecho a las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y para ello se contará con disposiciones e instrumentos que fortalecen los derechos de la naturaleza. De esta normativa se puede desatacar la obligatoriedad de realizar monitoreo y seguimiento de la calidad del agua en cuerpos hídricos.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua también se enmarca a este proceso de investigación cuyo objetivo es garantizar el derecho humano al agua mediante el control de la preservación y conservación de los recursos hídricos. En la sección segunda de la referida ley se contempla como objetivo la prevención y control de la contaminación del agua.

El anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, se encuentra la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua los cuales tienen relación con el referido estudio considerando también que esta norma técnica establece los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos, los límites permisibles para las descargas en cuerpos de aguas y los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua.

Marco conceptual

Calidad del agua

Para Bartram y Ballance (1996) la calidad del agua es un término utilizado para expresar la idoneidad del agua para sostener diversos usos o procesos. Cualquier uso particular tendrá ciertos requisitos para las características físicas, químicas o biológicas del agua; por ejemplo, límites en las concentraciones de sustancias tóxicas para el uso del agua potable, o restricciones en los rangos de temperatura y pH para las comunidades de invertebrados que viven en el agua.

En consecuencia, la calidad del agua puede definirse por un rango de variables que limitan el uso del agua. Aunque muchos usos tienen algunos requisitos comunes de ciertas variables, cada uso tendrá sus propias demandas e influencias en la calidad del agua. Las demandas de cantidad y calidad de diferentes usuarios no siempre serán compatibles, y las actividades de un usuario pueden restringir las actividades de otro, ya sea exigiendo agua de una calidad fuera del rango requerido por el otro usuario o disminuyendo la calidad durante el uso del agua.

Los esfuerzos para mejorar o mantener una determinada calidad del agua a menudo comprometen las demandas de calidad y cantidad de los diferentes usuarios. Cada vez se reconoce más que los ecosistemas naturales tienen un lugar legítimo en la consideración de opciones para la gestión de la calidad del agua. Esto es tanto por su valor intrínseco como porque son indicadores sensibles de cambios o deterioro en la calidad general del agua, proporcionando una adición útil a la información física, química y de otro tipo.

Monitoreo de agua

Según la Organización Internacional de Estandarización (ISO), el monitoreo es el proceso programado de muestreo y medición de varias características del agua, a menudo con el objetivo de evaluar la conformidad con los objetivos de calidad de agua. Según Bartram y Ballance (1996) esta definición se puede diferenciar en tres

tipos de actividades de monitoreo que se destinen entre programa de monitoreo a largo plazo, corto plazo y continuo:

- El monitoreo a largo plazo es la medición y observación estandarizada del medio ambiente acuático para definir su estado y su tendencia en calidad.
- Las encuestas son de duración limitada, por tanto, son programas intensivos para medir y observar la calidad del ambiente acuático para un propósito específico.
- La vigilancia es una medición y observación continua y específica con el propósito de gestionar la calidad del agua y las actividades productivas circundantes al cuerpo hídrico.

El presente trabajo de investigación se alinea a un estilo de monitoreo de agua en el corto plazo ya que se realiza un muestreo en el sitio y momento de la recolección de muestra para determinar de forma rápida, pero de manera técnica, el índice de calidad de agua que tiene el río que es parte del objetivo específico del trabajo investigativo. Sin embargo, las instituciones del estado, gobiernos descentralizados y universidades podrán hacer uso de los resultados que se generen en este trabajo y de su metodología para que ellos en el marco de sus competencias puedan hacer monitoreos continuos y con ello generar medidas a largo plazo de prevención y control de la contaminación de los recursos hídricos.

Evolución del desarrollo de los índices de calidad de agua

De acuerdo a Canter (1998) la información de partida para evaluar el impacto ambiental debe realizarse a través de un índice de calidad del medio ambiente (calidad del aire, calidad del agua, sensibilidad y diversidad ecológica, recursos ecológicos, calidad visual y calidad de vida) porque cumplen con uno o más de los siguientes objetivos: 1) resume los datos ambientales existentes, 2) comunica información sobre

la calidad del medio afectado, 3) evalúa la vulnerabilidad o susceptibilidad a la contaminación de una determinada categoría ambiental, 4) se centra selectivamente en el factor ambiental clave y 5) sirve como base para la expresión del impacto a predecir las diferencias entre el valor del índice con proyecto y el valor del mismo índice sin proyecto.

En cualquier parte del mundo, para evaluar de manera integral la calidad del agua superficial o subterránea, se requieren analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Uno de los principales problemas de los estudios de calidad del agua es la cantidad de parámetros que pueden ser potencialmente monitoreados, el tiempo y el costo asociados en recopilar, analizar e interpretar los datos (Misaghi *et al.*, 2017). Para superar esto, se han adoptado índices específicos de acuerdo con el uso potencial del cuerpo hídrico. De esta manera, se pueden enfocar esfuerzos en evaluar los parámetros que inciden en la calidad del agua sobre la base de la información del uso final que se le planea dar.

En investigaciones realizadas por Metcalfe (1989) se encontró que un primer intento de evaluar la calidad del agua superficial usando un índice de calidad se desarrolló en el año 1848, cuando científicos alemanes usaron indicadores biológicos para caracterizar el estado de pureza del líquido y desde ese entonces han surgido 50 métodos diferentes. Estos métodos consideraban parámetros cualitativos, pero ahora muchos índices de calidad de agua están respaldados por una herramienta matemática para convertir las características cuantitativas de calidad del agua seleccionadas en un número adimensional, típicamente de 0 a 100, que proporciona una predicción de la calidad del agua con respecto al uso final deseado.

Es así como el primer Índice de Calidad de Agua (WQI) fue propuesto por Horton (1965) y estaba destinado a la evaluación del suministro de agua potable. Este índice de calidad fue desarrollado en Estados Unidos de Norteamérica seleccionando las 10

variables de calidad del agua más comúnmente usadas como el oxígeno disuelto, el pH, coliformes, conductividad, alcalinidad y cloruro; y ha sido ampliamente aceptado en países de Europa, África y Asia. El peso asignado refleja la importancia de un parámetro para un uso particular y tiene un impacto considerable en el índice (Shweta y Prashant, 2013).

Brown *et al.*, (1970) sugirieron posteriormente un índice de la calidad que podría usarse como una medida estándar para comparar la calidad del agua de diferentes cuerpos de agua. Desde que se desarrollaron estos primeros WQI, se han propuesto varios índices más. Estos incluyen el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Los Estados Unidos (NSFWQI), el Índice de Calidad del Agua de Florida Stream (FWQI), el Índice de Calidad del Agua de Columbia Británica (BCWQI), el Índice de Calidad del Agua de Canadá (CWQI) y el Índice de Calidad del Agua de Oregon (OWQI) (Misaghi *et al.*, 2017).

Según Fernandez, Ramirez, y Solano (2012) a manera de enfoque general, los índices de calidad de agua se basan en 3 factores que se describen a continuación:

- Selección de parámetros: se realiza mediante el juicio de expertos, agencias o instituciones gubernamentales que se determine en el ámbito legislativo.
- Determinación de la función de la calidad (curva) para cada parámetro considerado como subíndice. Los subíndices se transforman en valores de escala adimensionales a partir de las variables de sus diferentes unidades.
- Agregación de subíndices con expresión matemática o factores de ponderación: esto se utiliza con frecuencia a través de promedios aritméticos o geométricos.

Los puntos críticos que ha tenido cualquier índice de calidad de agua son la selección y la aceptación generalizada de los parámetros de calidad del agua a medir,

y la consideración de un factor de ponderación. Este factor de ponderación debe reflejar la importancia de cada parámetro para un uso final particular tal como el consumo humano, riego y protección del ecosistema (Misaghi *et al.*, 2017). En la Tabla 1 se enlistan las ventajas y limitaciones al momento de aplicar Índices de Calidad de Agua.

Tabla 1

Ventajas y limitaciones de los índices de calidad de agua

| Ventajas | Limitaciones |
|---|---|
| Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad de agua. | Proporcionan un resumen de los datos. |
| Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio. | No proporcionan información completa sobre la calidad del agua. |
| Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales. | No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua. |
| Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos. | Pueden ser subjetivos y sesgados en su Formulación. |
| Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas. | No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región con otra. |
| Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detallada. | Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal. |
| Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua. | Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta a la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión. |
| Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión | |

Nota. Recuperado de (Reolon, 2010).

Deininger y Maciunas (1971) después de que sus exploraciones se completaron con respecto a la correlación entre índices de calidad de agua para usos específicos e índices de calidad de agua más generales, llegaron a las siguientes conclusiones:

- Es posible desarrollar un índice de calidad de agua para aguas superficiales destinadas al suministro público de agua.
- Las comparaciones muestran que el índice de calidad de agua desarrollado con una orientación de uso específica no parecía marcar grandes diferencias en los rangos de calidad de agua obtenidos de índices más generales sin la orientación de un uso potencial.
- En lugar de desarrollar numerosos índices para diferentes usos, parecía ser más significativo desarrollar y refinar índice de calidad del agua más generales y sensibles.

Índices de calidad del agua

Actualmente se considera al agua como un recurso limitado tanto por su cantidad como en su calidad y por ello es la necesidad de determinar el estado que se encuentra para poder aprovecharlos en diferentes usos. Por lo tanto, es primordial establecer la calidad del agua siendo necesario medir parámetros cuyos resultados cuantifiquen el grado de alteración de la calidad natural y se pueda clasificar para un uso determinado (Sierra, 2011).

Según Guillén *et al.*, (2012) los Índices de Calidad del Agua indican el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un valor cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100% como resultado de una expresión matemática que represente variables físicos, químicos y microbiológicos.

De acuerdo con las investigaciones de Sierra (2011) encontró que Horton en 1965 propuso el primer índice de calidad de agua y que, desde entonces, ha sufrido transformaciones por otros autores como la propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos. La metodología de NSF trabaja con 9 parámetros de calidad de agua (coliformes fecales, potencial de hidrógeno pH, DQO, Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, sólidos disueltos, oxígeno disuelto) que se procesaron en este trabajo de titulación para diagnosticar la calidad del agua en los ríos de la Provincia de El Oro.

De acuerdo con Guillén *et al.*, (2012) el Índice de Calidad del Agua indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%. Desde 1965, empezando por Horton, se han propuesto varios índices de calidad del agua (WQI) aplicándose en la práctica en todo el mundo. En la Tabla 2 se presentan las especificaciones de los índices más usados en la actualidad:

Tabla 2.

Especificaciones de los índices de calidad de agua

| Índice | Objetivo | Personas encuestadas | Parámetros |
|--|---|--|--|
| Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSFWQI) | Proporcionar un método estandarizado para comparar la calidad relativa de varios cuerpos de agua. | Más de 140 científicos de la calidad del agua fueron encuestados sobre 35 pruebas de calidad del agua. | Oxígeno Disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, cambio en la temperatura, fosfatos totales, nitrato, turbiedad y sólidos totales. |
| Índice de Calidad del Agua de Columbia Británica (BCWQI) | Se descubrió que el BCWQI es extremadamente sensible al diseño de muestreo y altamente dependiente de la aplicación específica de los objetivos de calidad del agua. Tiene serias limitaciones para comparar cuerpos de agua y establecer prioridades de gestión. | | |

| | |
|---|--|
| Índice de Calidad de Agua de Canadá (CWQI) | El Índice incorpora tres elementos: alcance (el número de variables que no cumplen con los objetivos de calidad del agua); frecuencia (el número de veces estos objetivos no se cumplen); y amplitud (la cantidad por la cual no se cumplen los objetivos). El índice produce un número entre 0 (peor calidad del agua) y 100 (mejor calidad del agua). Estos se dividen en 5 categorías para simplificar la presentación. Las variables, los objetivos y el período de tiempo no se especifican y, de hecho, podrían variar de una región a otra, dependiendo de las condiciones y problemas locales. |
| Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI) | El OWQI se calcula en dos pasos. Los resultados de cada variable, que tienen diferentes unidades de medida, se transforman en valores de subíndice sin unidades. Estos valores varían de 10 (peor caso) a 100 (ideal). Estos subíndices luego se combinan para dar un solo valor que varía de 10 a 100. Temperatura, OD, DBO, pH, nitrato de amonio, nitrógeno, fosfatos totales, sólidos totales, y coliformes fecales. |

Nota. Recuperado de (Misaghi *et al.*, 2017).

De acuerdo con Jena, Dixit, y Gupta (2013) los índices de calidad de agua se deben categorizar en 4 grupos principales. El primero no debería considerar el uso que se le requiere dar al recurso hídrico sino ser un índice de evaluación de la calidad más general. Por ejemplo, el ICA de NSF o por su sigla en inglés NSFQI. El segundo grupo debería estar orientado a un tipo específico de demanda del agua, es decir, con fines de consumo, industriales, de riego o de conservación, un ejemplo de este índice es el OWQI (The Oregon Water Quality).

El tercer grupo es el orientado a la planificación de índices. Estos índices son instrumentos para la planificación y gestión de proyectos de calidad del agua que utilizan los tomadores de decisión para gestionar el recurso hídrico. El último grupo, el cuarto, difiere completamente de los 3 grupos anteriores de índices. Este no considera la opinión de expertos, sino que su metodología es estadística.

La parte esencial del enfoque estadístico para establecer un índice de la calidad del agua es asignar un rango relevante de puntajes y hacer las suposiciones requeridas para cubrir todas las observaciones esperadas de la calidad del agua

(Terrado *et al.*, 2010). Ejemplos de métodos estadísticos aplicados son el modelo lineal generalizado y el modelo multivariado (Shrestha y Kazama, 2007).

Índice de calidad del agua de NSF (National Sanitation Foundation)

El índice de calidad de agua de NSF fue desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) en 1970 a través del uso de la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation” (Ball y Church, 1980). El ICA índice de la calidad del agua de la NSF (National Sanitation Foundatio) fue diseñado con la base de las características de cuerpo hídricos de los Estados Unidos de Norteamérica. Las variables y los pesos que asigna a cada característica reflejan sus actividades productivas, el origen de sus desechos, políticas públicas y su idiosincrasia (Behar, Zúñiga, y Rojas, 1997).

El ICA de NSF emplea 9 parámetros indicadores de salud acuática. Fue diseñado utilizando un proceso formal que tomó en cuenta los criterios de un panel extenso de expertos en calidad del agua de los Estados Unidos de Norteamérica (Ott, 1981). Este índice ha sido ampliamente aplicado a lo largo del planeta. Por ejemplo, González, Caicedo y Aguirre (2013) estudiaron la calidad del agua en la quebrada La Ayurá en la localidad de Antioquia, Colombia usando el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), Dinius e índice biótico BMWP/Col en tres estaciones de muestreo obteniendo como resultado que el cuerpo hídrico tiene una buena calidad de agua.

En Turquía Sener, Sener y Davraz (2017) evaluaron la calidad del agua del río Aksu, principal afluente que recarga la presa “Lago Karacaören-1”. En este estudio se tomaron 21 muestras en localizaciones diferentes durante el trayecto del río para luego hacer análisis físicos y químicos. Los resultados del análisis se compararon con los máximos valores límites permisibles recomendados por la Organización Mundial de la Salud y las normas turcas de agua potable. La calidad del agua para beber se

evaluó utilizando el método del índice de calidad del agua (WQI). En el estudio se concluyó que el río presenta buena calidad del agua en la mayor parte de su trayectoria a excepción de los lados norte y sur de la cuenca del río.

Investigaciones nacionales también se han realizado usando índices de calidad de agua como por ejemplo en el río Portoviejo. Es así como Quiroz *et al.*, (2017) evaluaron la calidad del agua del mencionado río usando la metodología propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), para ello, muestrearon 4 puntos diferentes del trayecto del río Portoviejo para luego analizar las muestras de agua en tres semanas consecutivas, de las cuales todas ellas muestras índices de calidad de agua de tipo “mala” a pesar de que los parámetros cumplen con la normativa ambiental ecuatoriana. Esta observación es importante porque aporta a la comprensión de la importancia de los índices de calidad del agua.

De manera local, se puede resaltar que se han hecho estudios en el río Jubones, en el trayecto Tres Cerritos-Pasaje en donde se ha caracterizado la calidad del agua por medio de los parámetros DQO, pH y temperatura para determinar el grado de contaminación concluyendo que no presenta problemas (Ramos, 2006). Mientras que (Merchán, 2006) estudió la afectación en la piel de los moradores del sitio La Iberia por el uso de agua del río Jubones. Encontró que el río registra índices altos de bacterias y hongos por lo que la clasificó como un agua de calidad microbiológica poco aceptable al haberse encontrado 155.000 colonias/ml de Aerobios Totales, 13.000 colonias/ml de Coliformes totales, 4.000 colonias/ml de Coliformes Fecales y 300 colonias/ml de hongos.

Si comparamos las investigaciones realizadas en la provincia de El Oro con las demás realizadas, vemos que localmente se ha tratado de estudiar un solo río y solo ciertos parámetros de calidad de agua sin tener un esquema que clasifique el nivel de contaminación integrando otras variables físicas y microbiológicas. El objetivo del ICA

de NFS es brindar un valor único de calidad de agua de una fuente junto a una reducción del número de parámetros en una expresión simple que sea fácil de interpretar los datos de monitoreo por parte de los gestores y tomadores de decisiones (Shweta y Prashant, 2013).

Parámetros de calidad del agua

Los índices de calidad del agua tienen por objeto reducir la cantidad de mediciones y parámetros y simplificar los resultados de las mediciones. Por tanto, los índices de calidad de agua seleccionan parámetros de calidad que asocian los contaminantes más comunes en un sistema hídrico.

De acuerdo con Castro *et al.*, (2014) los parámetros de calidad de agua son propiedades del agua que se miden o se observan y están clasificadas en parámetros físicos, químicos y microbiológicos. En la realidad existen muchos parámetros y varios métodos para analizarlos en un laboratorio de calidad del agua y para solventar estos problemas, las agencias internacionales estandarizaron los métodos de análisis en uno solo llamado "Standard Methods for Water and Wastewater Examination" conocido en español como "Métodos Estándar" (Sierra, 2011).

En lo que respecta a los parámetros de calidad del agua, (Sierra, 2011) propone los siguientes parámetros físicos, químicos y biológicos los cuales guardan relación con los índices de calidad del agua: pH, temperatura, turbiedad, sólidos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo, nitratos, y coliformes fecales.

Parámetros físicos

Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua.

a. Turbidez

La turbidez es el resultado visual de la existencia de sólidos suspendidos en el agua. Como consecuencia, se bloquea el paso de la luz y el agua pierde a la capacidad de ser un hábitat saludable para ictiofauna (Mitchell, Stapp y Bixby, 1991). Los sólidos suspendidos pueden ser material arcilloso, limos, materia orgánica hasta plancton, pasando por residuos antropogénicos (Seoáñez M. , 1999). Según Mitchell, Stapp y Bixby (1991), uno de los efectos perjudiciales de la turbidez es la obstrucción de las agallas de los peces por sólidos suspendidos y la limitación del desarrollo de huevos y larvas.

b. Temperatura

Es el parámetro físico más importante con respecto a calidad del agua debido a que su variabilidad puede afectar la viscosidad y velocidad de reacciones químicas (Sierra, 2011). Interviene en la solubilidad de gases y sales, también en la disociación de sales disueltas por ende en la conductividad eléctrica y pH (Seoáñez M. , 1999).

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría y por tanto un cambio brusco de temperatura puede conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática.

c. Sólidos totales.

Los sólidos totales son todo aquello presente en la muestra exceptuando el agua (Sierra, 2011). Según Perez-Osorio *et al.*, (2016) es la materia que se obtiene como residuo luego de someter al agua a un proceso de evaporación y secado entre 103 – 105 ° C. en el agua están conformados por la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y el material disuelta. Es común observar los sólidos

totales en muestras en áreas agrícolas sometidas a fuertes procesos de escorrentía (Ongley, 1997).

d. pH (Potencial de Hidrógeno).

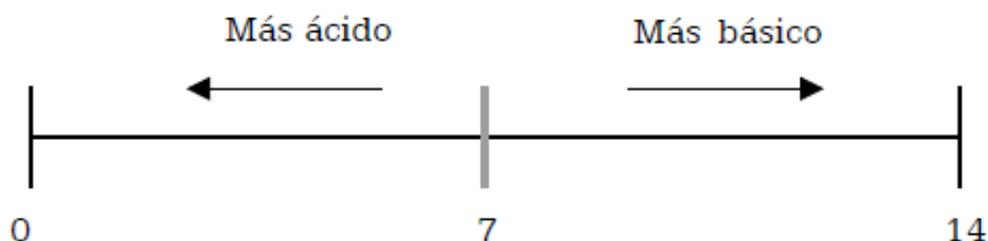
Este parámetro indica las concentraciones de iones de hidrogeno en el agua. La variabilidad de este parámetro altera la vida acuática (Mitchell, Stapp y Bixby, 1991). Para favorecer el desarrollo de la vida de ictiofauna el intervalo de pH debe ser entre 6.5 y 8.0 (Vereda, 2008). Este término es ampliamente usado para determinar si el agua tiene característica ácida, neutra o básica, calculando el número de iones presentes. El pH está representado por la ecuación 1:

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

En la figura 1 se presenta la escala del pH, está entre 0 a 14. El valor de 7 representa la neutralidad, valores menores a 7 distingue a aguas ácidas y mayores a la neutralidad son aguas alcalinas.

Figura 1.

Escala de pH.



Nota. Recuperado de (Sierra, 2011).

Parámetros químicos

El agua se conoce como disolvente universal y por tal motivo se puede encontrar elementos y compuestos químicos que tienen relevancia en la caracterización de la

calidad del agua. A continuación, se describirán los parámetros químicos más importantes:

a. Oxígeno disuelto (OD)

Es un parámetro fundamental para la buena salud de lagos y ríos ya que la presencia de oxígeno es un indicador positivo y su ausencia revela una fuerte contaminación (Mitchell, Stapp y Bixby, 1991). Es una de las pruebas más simples e importantes para determinar, por su concentración, la contaminación de corrientes o los cuerpos de agua. Según Mite *et al.*, (2016) valores de oxígeno disuelto de 80% de saturación permiten descomponer los materiales biodegradables presentes y con esto evitar el deterioro de la calidad.

El problema principal con respecto al oxígeno disuelto es el aumento de sólidos totales en agua debido a que ocasionan turbidez, provocando reducción de la penetración de luz solar y disminuyendo la actividad fotosintética de los organismos acuáticos Perez-Osorio *et al.*, (2016).

Se conoce que el oxígeno es sólo ligeramente soluble en el agua y la cantidad máxima de este gas que puede estar en solución, viene dada por la solubilidad del oxígeno, presión parcial del oxígeno en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua. En la Tabla 3 se puede observar las interacciones de estas variables en la que se analiza el efecto de la temperatura y salinidad en la concentración máxima de oxígeno que debe contener el agua a una presión barométrica dada.

Tabla 3

Concentración de oxígeno disuelto en el agua en función de la temperatura y de la presión barométrica (salinidad =0 parte por millar).

| Temp, °C | Concentración de oxígeno disuelto, mg/l | | | | | |
|-------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Presión barométrica, mm Hg | | | | | |
| | 735 | 740 | 745 | 750 | 755 | 760 |

| | | | | | | |
|----|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14 | 9,95 | 10,02 | 10,09 | 10,16 | 10,23 | 10,29 |
| 15 | 9,73 | 9,80 | 9,87 | 9,94 | 10,00 | 10,07 |
| 16 | 9,53 | 9,59 | 9,66 | 9,73 | 9,79 | 9,86 |
| 17 | 9,33 | 9,39 | 9,46 | 9,52 | 9,59 | 9,65 |
| 18 | 9,14 | 9,20 | 9,26 | 9,33 | 9,39 | 9,45 |
| 19 | 8,95 | 9,01 | 9,07 | 9,14 | 9,20 | 9,26 |
| 20 | 8,77 | 8,83 | 8,89 | 8,95 | 9,02 | 9,08 |
| 21 | 8,60 | 8,66 | 8,72 | 8,78 | 8,84 | 8,90 |
| 22 | 8,43 | 8,49 | 8,55 | 8,61 | 8,67 | 8,73 |
| 23 | 8,27 | 8,33 | 8,39 | 8,44 | 8,50 | 8,56 |
| 24 | 8,11 | 8,17 | 8,23 | 8,29 | 8,34 | 8,40 |
| 25 | 7,96 | 8,02 | 8,08 | 8,13 | 8,19 | 8,24 |
| 26 | 7,82 | 7,87 | 7,93 | 7,98 | 8,04 | 8,09 |
| 27 | 7,68 | 7,73 | 7,79 | 7,84 | 7,89 | 7,95 |
| 28 | 7,54 | 7,59 | 7,65 | 7,70 | 7,75 | 7,81 |
| 29 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,57 | 7,62 | 7,67 |
| 30 | 7,28 | 7,33 | 7,38 | 7,44 | 7,49 | 7,54 |
| 31 | 7,16 | 7,21 | 7,26 | 7,31 | 7,36 | 7,41 |
| 32 | 7,04 | 7,09 | 7,14 | 7,19 | 7,24 | 7,29 |

Nota: Recuperado de (Metcalf, Eddy y Tchobanoglous, 1979)

b. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro es uno de los más utilizados para determinar las poblaciones microbianas en el agua como respuesta a la introducción de material orgánico degradable (Malina, 1996). Es ampliamente aplicado para evaluar la contaminación de las aguas residuales como aguas superficiales. La DBO representa la cantidad de oxígeno disuelto que consume los microorganismos para oxidar bioquímicamente la materia orgánica.

Las bacterias aeróbicas (que necesitan oxígeno) se alimentan de materia orgánica, en este proceso esta materia es degradada y oxidada. Eso provoca cambios en la vida acuática pues mucho oxígeno disuelto libre se consume por las bacterias aeróbicas, robando a otros organismos acuáticos el oxígeno necesario para vivir, así, organismos tolerantes a niveles más bajos de oxígeno disuelto aparecen y se vuelven más numerosos (Mitchell, Stapp y Bixby, 1991).

La prueba de DBO más conocida es la DBO₅. Esta prueba se realiza incubando la muestra de agua en el laboratorio y al cabo de cinco días se mide el consumo de

oxígeno por parte de los microorganismos, y los resultados se reportan en mg/L de oxígeno consumido.

c. Demanda química de oxígeno (DQO)

Cuando los contaminantes orgánicos e inorgánicos de los efluentes residuales se oxidan, el oxígeno disuelto en el agua se reduce e incide de manera determinante sobre la vida acuática (Crespi y Huertas, 1986).

La DQO suele tener un valor mayor a la DBO porque a más de mostrar la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica biodegradable, también se suma la cantidad de oxígeno para degradar la materia orgánica no biodegradable logrando medir la materia orgánica tóxica para la vida biológica.

d. Fósforo

Las altas concentraciones de este elemento disuelto en agua desencadenan procesos de eutrofización: el límite de fósforo para evitar esto es de 0.05 mgL^{-1} . Es importante vigilar que las aguas no superen los límites máximos ya que la eutrofización es de carácter de irreversible. Las algas crecen de forma excesiva, la materia orgánica no se descompone totalmente lo que ocasiona emanaciones de gas carbónico, sulfuro y sales amoniacales (Mason *et al.*, 2005).

El exceso de fósforo en agua acelera la maduración de los vegetales (Seoáñez C., 2005). Mientras que, si hay deficiencia en cultivos como arroz, tomate y maíz, se reduce la asimilación de Co_2 principalmente en la fotosíntesis de hoja (Colomb, Kiniry, y Debaeke, 2000). El incremento de este elemento se debe a la agricultura intensiva y a la producción de ganado, además de lodos provenientes de aguas residuales (Carrera-Villacrés, 2011).

e. Nitrógeno

El nitrógeno se transforma en nitritos por oxidación biológica del nitrógeno amoniacal. El proceso se llama nitrificación y lo ocasionan un tipo de bacterias (Nitrosomas) cuyo crecimiento y metabolismo es relativamente lento. (Industrial, 2017). La presencia de nitratos puede ocurrir debido al descontrolado uso de fertilizantes o infiltración de aguas residuales u otros residuos orgánicos en aguas superficiales o subterráneas. Las aguas pueden alcanzar altas concentraciones por la escorrentía o infiltración de tierras agrícolas o contaminación por residuos humanos o animales, resultado de la oxidación de amoníaco y fuentes similares (Sandoval-Moreno y Ochoa, 2010).

La escorrentía y filtración de aguas con alta concentración de nitrógeno procedentes de la agricultura, genera un grave problema de contaminación. Como resultado, se alcanzan concentraciones nocivas para la salud humana y calidad ambiental en reservas de agua (Carrera-Villacrés, 2011). Este factor también es de vital importancia porque tiene efectos tóxicos en los infantes, al momento de preparar la leche con agua contaminada por nitratos lo cual le puede producir metahemoglobina (color azul de la piel).

Parámetros microbiológicos

a. Coliformes termo tolerantes

Según OMS (1998) son microorganismos capaces de fermentar la lactosa a 45°C. El NMP/coli (número más probable de Coliformes), es un parámetro clásico para determinar la contaminación microbiológica del agua (Stambuk-Giljanovic, 1999). La presencia de coliformes puede constituir una alerta por posible contaminación del agua con patógenos más peligrosos como *Salmonella* y el *Vibrio cholerae* (Baccaro *et al.*, 2006).

Este tipo de bacterias se hallan en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente entrando al sistema por medio del desecho directo de mamíferos y aves (Mitchell, Stapp y Bixby, 1991). Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera generando muertes en países de escasos recursos sanitarios y en especial en zonas tropicales.

Los sólidos suspendidos en aguas de riego afectan la calidad microbiológica del agua (contenido de oxígeno) y pueden ocasionar problemas con la infraestructura de riego presurizado (obstrucciones) (Carrera-Villacrés, 2011). En vista que existe una variedad de microorganismos que ocasionan enfermedades inclusive estando en cantidades pequeñas, se emplea el término de organismo coliforme como indicador porque su presencia es más numerosa y fácil de identificar. Este grupo de microorganismos se encuentran en el tracto intestinal de los seres humanos y se conoce que cada persona evacua de 100.000 a 400.000 millones de microorganismos coliformes cada día (Metcalf, Eddy y Tchobanoglous, 1979).

Capítulo III

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

La provincia de El Oro está localizada al suroeste de la República del Ecuador, entre las coordenadas geográficas: 3°02' y 3°53' de Latitud Norte y 80°20' y 79°21' de Latitud Oeste; Latitud 9°570.500N 9°661.000S y Longitud 576.000E, 582.000W. Es el área administrativa costera, en donde más se aproxima el mar a la Cordillera de los Andes, con una variación altitudinal desde los 0 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) hasta 3 900 m.s.n.m. (MAE, 2013). En la figura 2 se presenta un mapa político de la provincia de El Oro.

Figura 2.

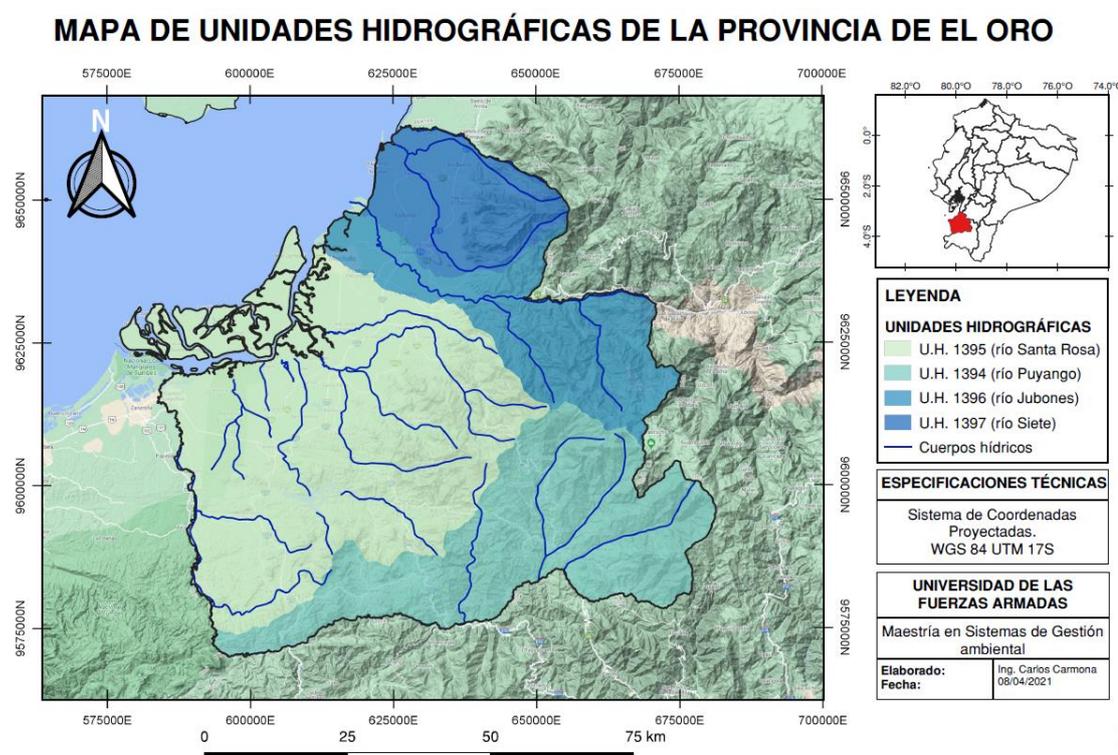
Mapa político de la provincia de El Oro



Según SENAGUA (2011) la provincia de El Oro cuenta con una importante red hídrica compuesta por 4 unidades hidrográficas de nivel 4 de con acuerdo a los criterios de la metodología Pfafstetter: U.H. (unidad hidrográfica) 1392 río Puyango, U.H. 1393 río Santa Rosa, U.H. 1394 río Jubones y U.H. 1395 río Siete. En la Figura 3 se puede observar el mapa de las unidades hidrográficas de la provincia de El Oro.

Figura 3.

Mapa de unidades hidrográficas de la provincia de El Oro



El clima en la provincia de El Oro varía en lo referente a la cantidad de lluvia que cae en cada sector, en la zona costera seca y una zona montañosa lluviosa. Sin embargo, en ambas zonas, la temperatura es de 25° aproximadamente. La capital de la provincia es Machala. Según Garzón-Santomaro *et al.*, (2019) en la provincia de El Oro convergen la ecorregión del Chocó y Tumbes, por lo que existe una alta diversidad genética de especies. Esto ha ocasionado la confluencia de 7 regiones naturales: matorral seco de la costa, bosque deciduo de la costa, bosque húmedo tropical del

Chocó, bosque piemontano occidental, bosque montano occidental, páramo y matorral interandino.

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA, 2009) delimitó y codificó las Unidades Hidrográficas a nivel nacional incluyendo a la provincia de El Oro por lo que el área geográfica de cada cuenca sirve de base para el manejo y la gestión integral de los recursos hídricos. Según Valdiviezo-Rivera *et al.*, (2018) las U.H. más extensas sobre el territorio administrativo de la provincia de El Oro son: la cuenca del río Puyango (34,8 %), la cuenca del río Santa Rosa (28,7%), la cuenca del río Jubones (22,1%) y en menor área de cobertura, la cuenca del río Siete (14,5%). En la Tabla 4 se detalla el área y la extensión de cada U.H. en términos porcentuales con respecto al total de la Provincia.

Tabla 4

Zonificación hidrográfica de la provincia de El Oro según SENAGUA 2011

| Unidad Hidrográfica | Área | |
|--|-----------------|------|
| | km ² | % |
| U.H. 1395 – Cuenca del río Siete | 1.411,3 | 14,5 |
| U.H. 1394 – Cuenca del río Jubones | 2.153,9 | 22,1 |
| U.H. 1393 – Cuenca del río Santa Rosa | 2.805,9 | 28,7 |
| U.H. 1392 – Cuenca del río Puyango | 3.394,8 | 34,8 |

Nota: Recuperado de (Valdiviezo-Rivera, Garzón-Santomaro, Inclán-Luna, Mena-Jaén, y González-Romero, 2018).

La unidad muestral

La unidad muestral son los lugares o puntos en donde se realizaron los muestreos de agua (Cardona *et al.*, 2003). La selección de la unidad muestral se definió en función del grado de intervención antrópica y áreas en las que, según el imaginario popular, se da por hecho que existe contaminación.

Para este fin, y debido a las limitaciones presupuestarias del Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de El Oro, se seleccionó el tipo de muestreo simple o instantáneo para corroborar o descartar los niveles de contaminación en el momento. Esto permitió obtener una fotografía valiosa de la calidad del agua de NSF y conservar información sobre la veracidad de la percepción de los ciudadanos con respecto a la contaminación de los ríos.

El muestreo seleccionado para la U.H. de la cuenca del río Puyango, consideró tributarios de la cuenca principal compartida con la provincia de Loja con el fin cumplir con la gestión integrada de esta cuenca binacional. El cauce principal de esta U.H., dentro de la provincia de El Oro acopia caudales provenientes de la cuenca alta y la margen derecha de la cuenca media el río Puyango. Estas aguas desembocan en la cuenca baja (Perú) y finalmente en el Océano Pacífico.

En ese contexto, se seleccionaron los puntos de muestreo en la cuenca alta del río Puyango, en el río Luis entre el poblado de Morales y Portovelo, tributario no influenciado por Plantas de Beneficio a 1031 m.s.n.m. El siguiente punto de muestreo es en el mismo río Luis a una altura de 760 m.s.n.m., antes de unirse con la desembocadura del río Calera. El río Amarillo cruza la ciudad de Portovelo de noreste a suroeste, recibiendo las descargas de aguas residuales domésticas, por lo que se seleccionó como tercer punto a 600 m.s.n.m. en la unión entre este río y el río Calera.

El río Calera antes de su desembocadura en el río Puyango recibe las descargas de las aguas residuales provenientes del sector El Pache en donde funcionan aproximadamente 100 plantas de beneficio minero. Las descargas resultantes del procesamiento del material de la galería (mina) para obtener la amalgama de oro con el ya prohibido mercurio, o mediante procesos de cianuración. En ese contexto, se seleccionó el punto de muestreo en la desembocadura de este río en el río Pindo a 550 m.s.n.m.

El siguiente punto de muestreo seleccionado, cuenca abajo, es la unión del río Pindo, que capta todos los puntos analizados anteriormente con el río Luis, desde el cual presumiblemente no existe gran aporte contaminante. Este punto de muestreo se encuentra a 590 m.s.n.m., y esta unión de aguas forma el río Puyango. Este río es la barrera natural entre la provincia de El Oro y Loja y recibe el aporte de tributarios asentados en territorio oreense desde la margen derecha.

Los puntos de muestreo restantes seleccionados fueron los tributarios más importantes que aportan caudal desde la margen derecha del a U.H. de la cuenca del río Puyango. Río Moromoro a 837 m.s.n.m, río Balsas, a 410 m.s.n.m., aguas del río dentro del Bosque Petrificado Puyango a 300 m.s.n.m. y el agua de la unión del río Moromoro con el río Balsas a 722 m.s.n.m.

Según Cardona *et al.*, (2003) la selección de puntos de muestreo se la realiza en función de la localización de áreas socio productivas y fuentes potenciales de contaminación (localizada y no localizada). Con la base de lo antes expuesto, y considerando las limitaciones presupuestarias originadas por la pandemia de COVID-19, se seleccionó un punto de muestreo críticos por cada unidad hidrográfica.

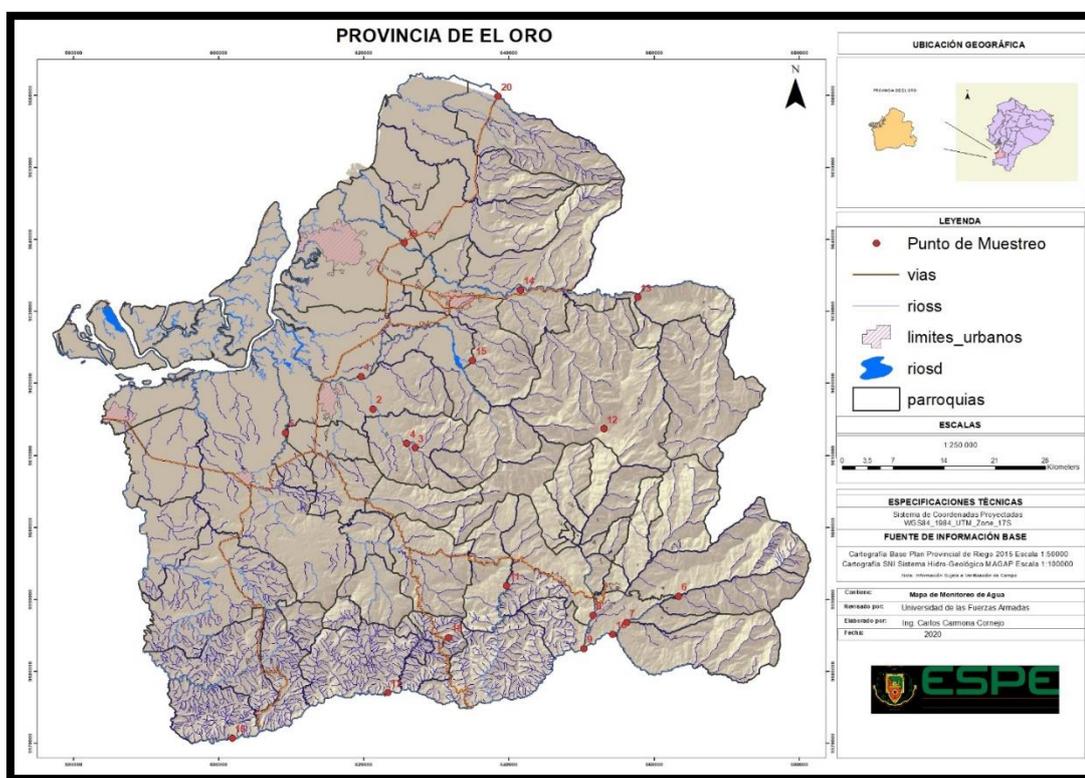
Localización geográfica y área de influencia

El presente proyecto de investigación está localizado al suroeste del Ecuador, estrictamente en 20 sitios de muestreos correspondiendo a los ríos principales de las cuencas hidrográficas de la provincia y donde se conoce que existe afectaciones por fuentes de contaminación.

Para georreferenciar los puntos de los muestreos se utilizó el sistema de información geográfica QGIS de código abierto, las coordenadas tomadas durante la campaña de toma de muestras y los archivos de información geográfica de libre disponibilidad del SNI (Sistema Nacional de Información). En la Figura 4 se pueden observar los puntos de muestreos sobre el mapa de unidades hidrográficas de la provincia de El Oro.

Figura 4.

Mapa de muestreo



En la Tabla 5, se detallan las coordenadas geográficas de los puntos muestrales que se consideraron.

Tabla 5.*Puntos de muestreo en coordenadas UTM WGS 84 Z 17S*

| Punto | x | y | Nombre |
|--------------|----------|----------|--|
| 1 | 619602 | 9620992 | Agua de Río Buenavista |
| 2 | 621234 | 9616496 | Agua de río Caluguro en Caluguro |
| 3 | 627029 | 9611080 | Agua de Río Byron |
| 4 | 625873 | 9611729 | Agua de río Caluguro quebrada Las Moras |
| 5 | 609184 | 9613179 | Agua de Río Laguna de Caña |
| 6 | 663289 | 9590497 | Agua de río Luis entre Morales y Portovelo |
| 7 | 656143 | 9586805 | Agua de río Luis |
| 8 | 651562 | 9587817 | Agua de Río de Unión Calero y Amarillo |
| 9 | 650279 | 9583178 | Agua de Río de Unión Calero y Río Pindo |
| 10 | 654253 | 9585201 | Agua de Unión de río Pindo y Río Luis |
| 11 | 639599 | 9591938 | Agua de Río Moromoro |
| 12 | 653033 | 9613748 | Agua Natural Vertiente Pilliguro Chilla |
| 13 | 657679 | 9632008 | Agua de río Chillayacu |
| 14 | 641553 | 9633008 | Agua de Río Casacay |
| 15 | 634932 | 9623215 | Agua de Río Raspas |
| 16 | 601815 | 9570755 | Agua de Río Bosque Petrificado de Puyango |
| 17 | 623273 | 9577075 | Agua de Río Balsas Puyango |
| 18 | 631627 | 9584734 | Agua de Río (Unión de río Moromoro y Río Balsas) |
| 19 | 625502 | 9639560 | Agua de Río Jubones La Iberia |
| 20 | 638405 | 9659973 | Agua de Río Siete |

El área de influencia del proyecto de investigación abarca las siguientes unidades hidrográficas: río Siete, río Santa Rosa, río Jubones, río Arenillas y río Puyango, todas desembocan en el océano Pacífico y la última es una cuenca binacional compartida con el Perú. El número de puntos de muestreo por cada cuenca hídrica pueden ser se puede ver en la Tabla 6 con el objeto de visualizar de manera amplia el alcance de esta investigación respecto al área geográfica incluida en cada unidad hidrográfica:

Tabla 6.

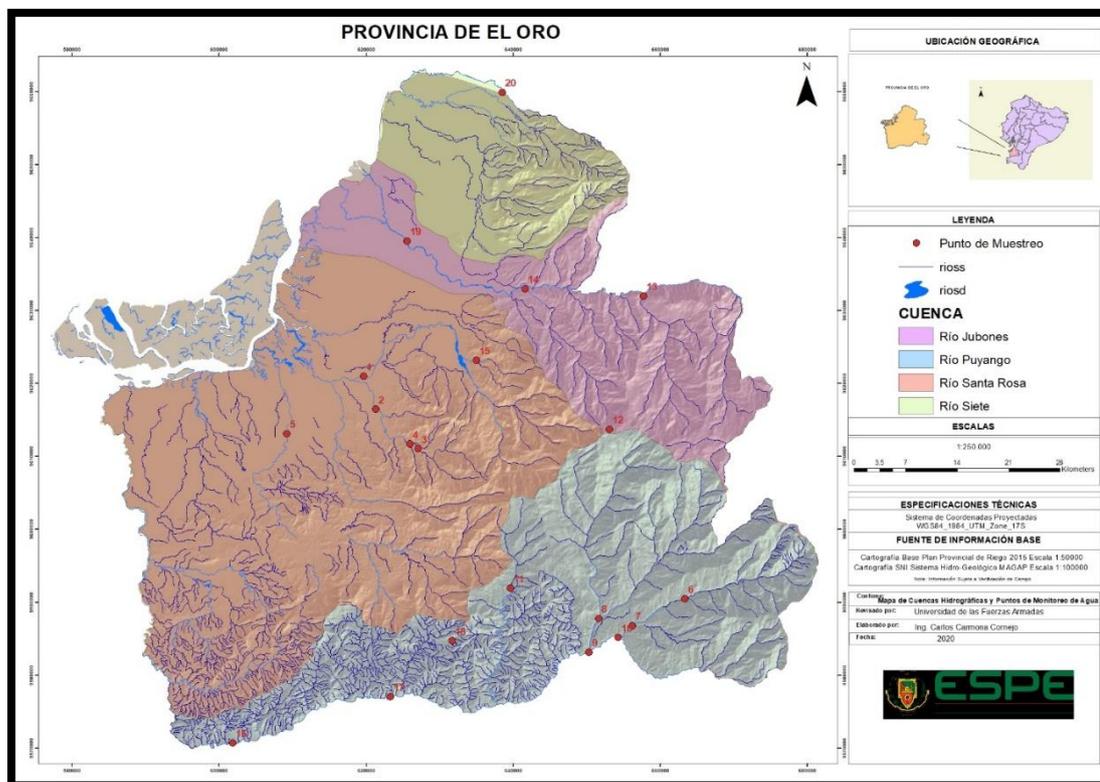
Muestras tomadas en las cuencas hidrográficas de la provincia de El Oro

| Cuenca Hidrográfica | Punto | Nombre de la Muestra | Altitud m.s.n.m. |
|-------------------------------------|--|--|-----------------------------|
| Río Siete U.H. 1395 | 20 | Agua de Río Siete | 20 |
| Río Jubones U.H. 1394 | 19 | Agua de Río Jubones La Iberia | 17 |
| | 14 | Agua de Río Casacay | 95 |
| | 13 | Agua de río Chillayacu | 411 |
| | 12 | Agua Natural Vertiente Pilliguro Chilla | 3255 |
| Río Santa Rosa U.H. 1393 | 1 | Agua de Río Buenavista | 9 |
| | 2 | Agua de río Caluguro en Caluguro | 17 |
| | 3 | Agua de Río Byron | 75 |
| | 4 | Agua de río Caluguro quebrada Las Moras | 70 |
| | 5 | Agua de Río Laguna de Caña | 20 |
| | 15 | Agua de Río Raspas | 78 |
| Río Puyango U.H. 1392 | 6 | Agua de río Luis entre Morales y Portovelo | 1031 |
| | 7 | Agua de río Luis | 760 |
| | 8 | Agua de Río de Unión Calera y Amarillo | 600 |
| | 9 | Agua de Río de Unión Calera y Río Pindo | 550 |
| | 10 | Agua de Unión de río Pindo y Río Luis | 590 |
| | 11 | Agua de Río Moromoro | 837 |
| | 17 | Agua de Río Balsas Puyango | 410 |
| | 16 | Agua de Río Bosque Petrificado de Puyango | 300 |
| 18 | Agua de Río (Unión de río Moromoro y Río Balsas) | 722 | |

En la Figura 5 se muestran los puntos de la unidad muestral propuesta para realizar este trabajo en un mapa de las cuencas hidrográficas de la provincia de El Oro. Las cuencas hidrográficas se pintaron de diversos colores detallados en la leyenda y los puntos de muestreo como puntos de color rojo.

Figura 5.

Cuencas hidrográficas en la provincia de El Oro y puntos de muestreo



Índice de calidad del agua (NSF)

Este índice fue desarrollado por la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica. El método propuesto se basa en el procesamiento de los muestreos para nueve parámetros de calidad de agua como temperatura, pH, turbidez, coliformes fecales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno o demanda química de oxígeno, fosfatos totales, nitratos y sólidos disueltos totales (Tyagi, Sharma, Singh y Dobhal, 2013).

Según Brown *et al.*, (1972) los objetivos básicos del WQINSF son: poner a disposición una herramienta para tratar de manera confiable los datos de los parámetros de calidad del agua y presentarlos como un solo término numérico; y,

promover el uso de un proceso para comunicar efectivamente las condiciones de la calidad del agua.

La metodología del cálculo del WQINSF consta de 3 etapas como recomienda Brown *et al.*, (1970). Calcular el Q_i para cada parámetro analizado (coliformes fecales, potencial de hidrógeno pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, cambio de Temperatura, turbidez, sólidos y oxígeno disueltos) con la base de las curvas de calidad del agua, calcular la variable W_i mediante la multiplicación del valor obtenido en el laboratorio para cada parámetro por los pesos asignados por la metodología. Por último, evaluar las variables mediante la fórmula que se presenta en la ecuación 2 que es un medio ponderado para establecer el índice de la calidad del agua.

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (2)$$

Donde:

Q_i = sub-índice para el i -ésimo parámetro de calidad del agua;

W_i = peso asociado con el i -ésimo parámetro de calidad del agua;

n = número de parámetros de calidad de agua

Cálculo de Q_i mediante curvas de calidad

Q_i corresponde al factor de escala de calidad para cada parámetro. Una vez obtenidos los resultados de laboratorio para los 9 parámetros sugeridos (, se debe calcular el subíndice Q_i para cada parámetro. Para calcular este subíndice Q_i se utiliza las curvas de calidad promedio sugeridas por los expertos consultados para el desarrollo de este índice.

El Q_i puede ser valor adimensional de máximo 100 y mínimo de 0 para cada uno de los 9 parámetros de calidad de agua. Entre más alto significa que el parámetro de calidad es mejor. Para realizar un cálculo más preciso de los factores de escala Q_i se

pueden elaborar ajustes polinómicos a las curvas de calidad para cada variable. De esta forma no se estima gráficamente Q_i sino mediante la ecuación de regresión. Para este trabajo se realizaron las curvas de calidad con la base del criterio de los ajustes propuestos por Brown *et al.*, (1970) y Jiménez y Vélez (2006).

A continuación, se presentan las Curvas de obtenidas de acuerdo con los criterios de Brown *et al.*, (1970) y adaptados mediante ajustes polinómicos con la base del trabajo de Jiménez y Vélez (2006). A continuación, se presentan las curvas de calidad para cada parámetro y sus respectivas ecuaciones: saturación de oxígeno en la Figura N 6, pH Figura 7, coliformes fecales Figuras 8, demanda bioquímica de oxígeno (DQO) Figura 9, Nitratos Figura 10, Fosfatos Figura 11, turbidez Figura 12 y solidos disueltos Figura 13.

Figura 6.

Curva de calidad y fórmula para el parámetro saturación de oxígeno.

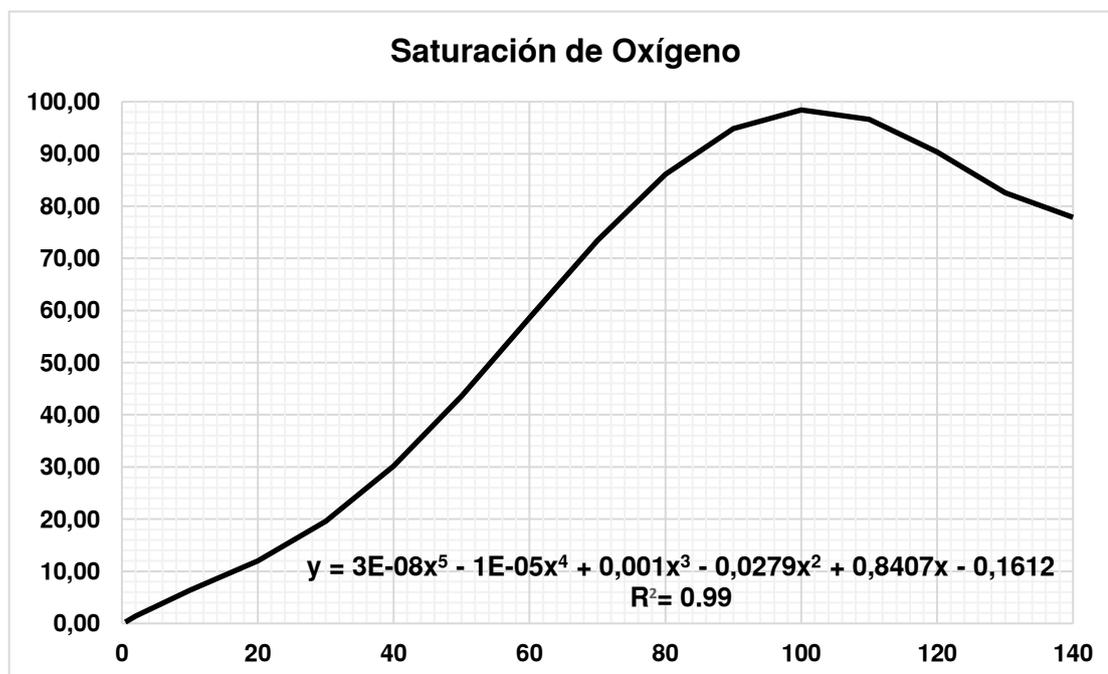


Figura 7.

Curva de calidad para el parámetro pH

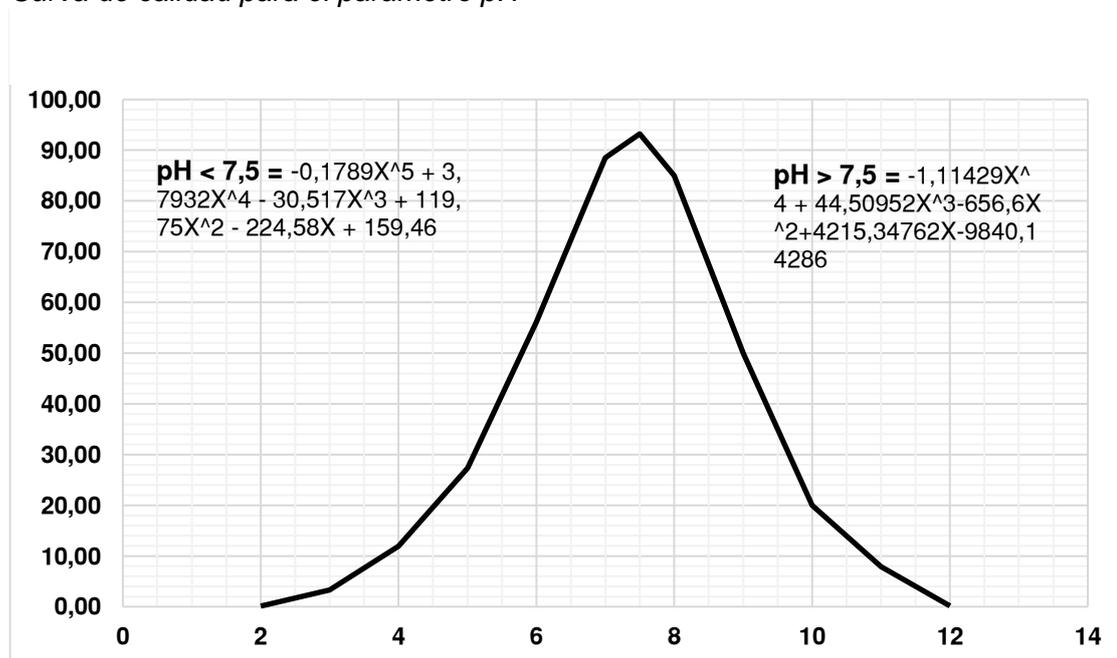


Figura 8.

Curva de calidad para el parámetro coliformes fecales

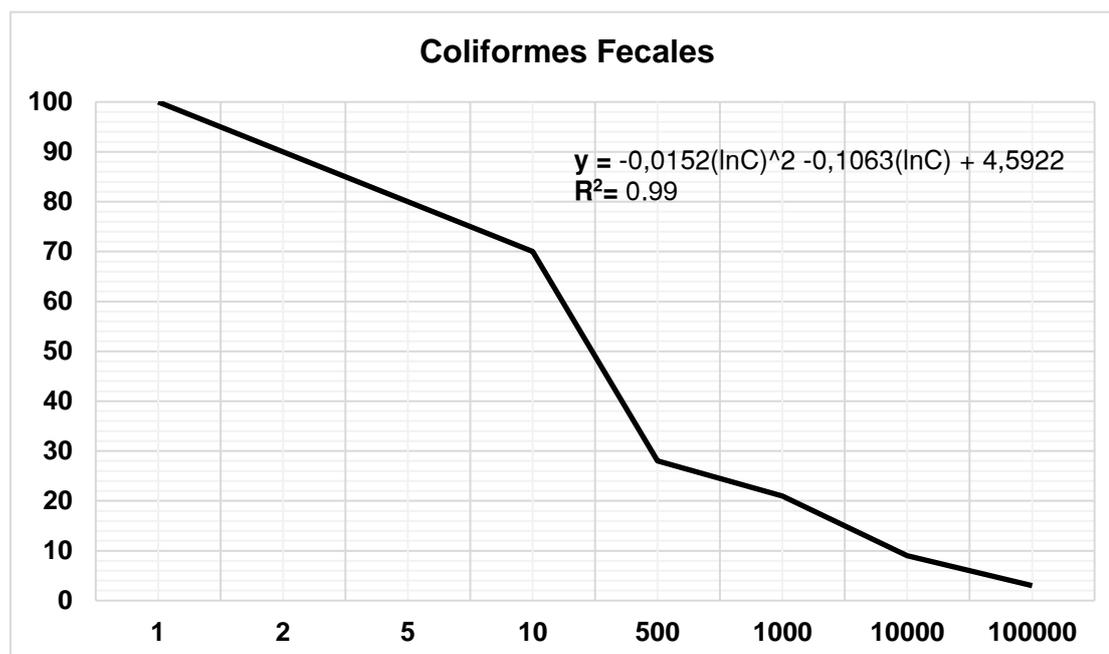


Figura 10.

Curva de calidad del parámetro demanda bioquímica de oxígeno

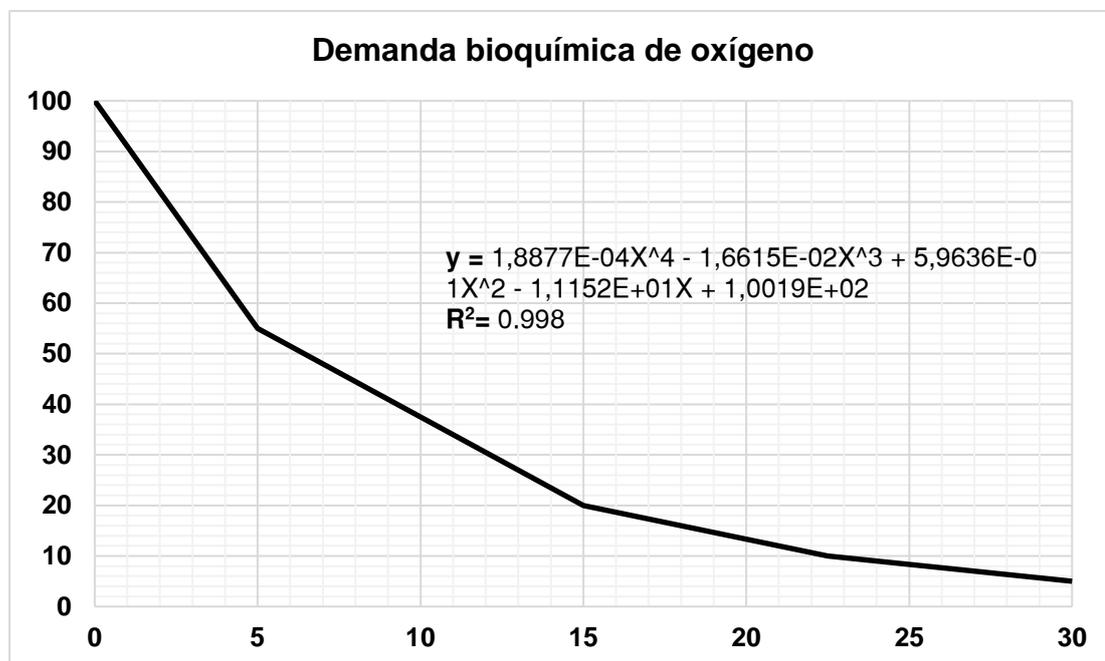


Figura 9.

Curva de calidad para el parámetro nitratos

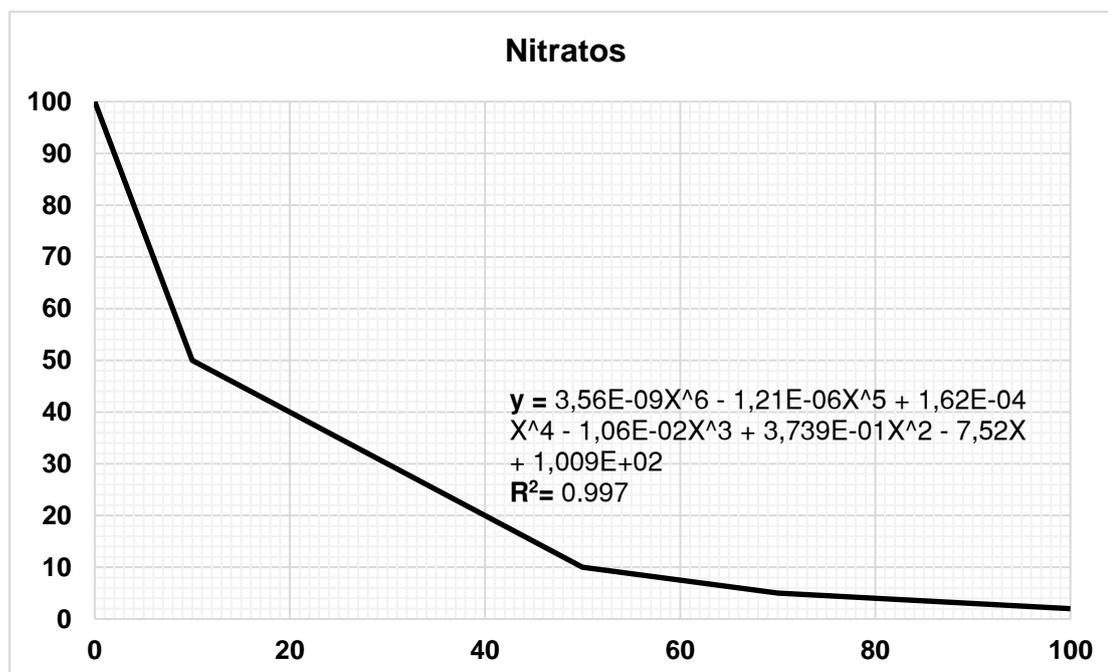


Figura 11.

Curva de calidad del parámetro fosfatos

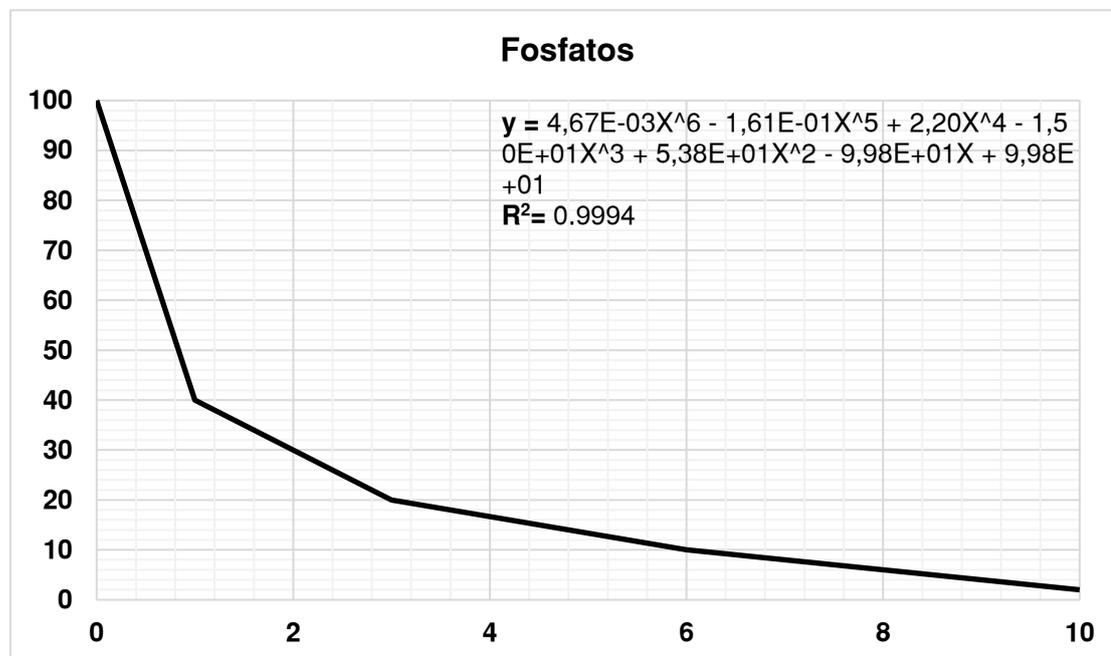


Figura 12.

Curva de calidad del parámetro turbidez

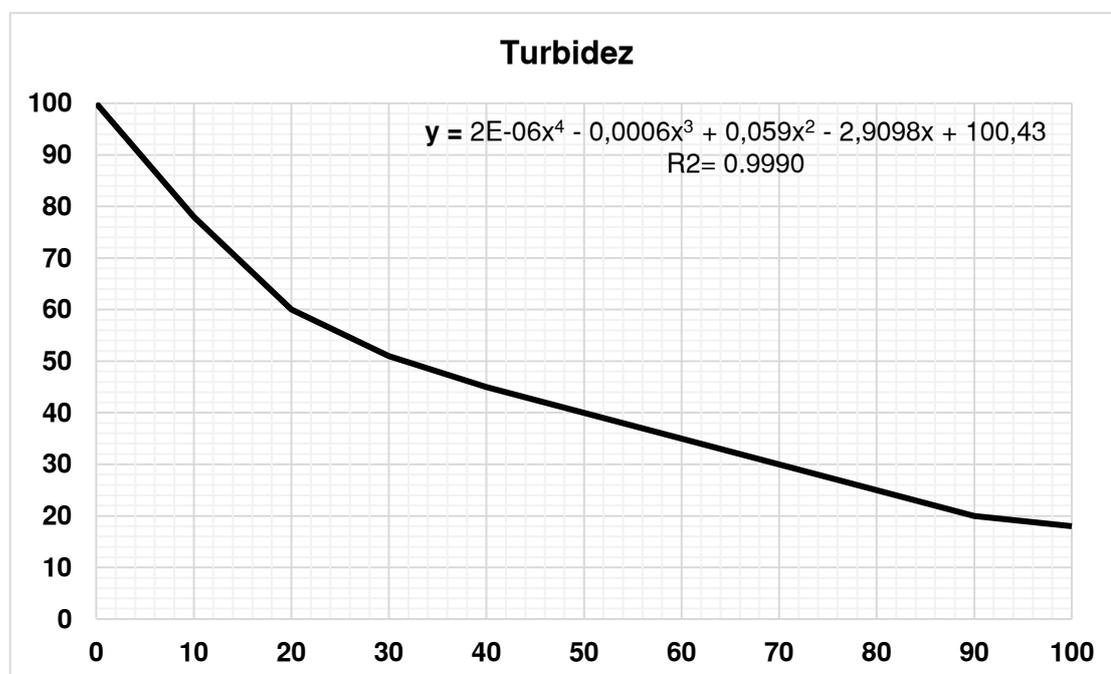
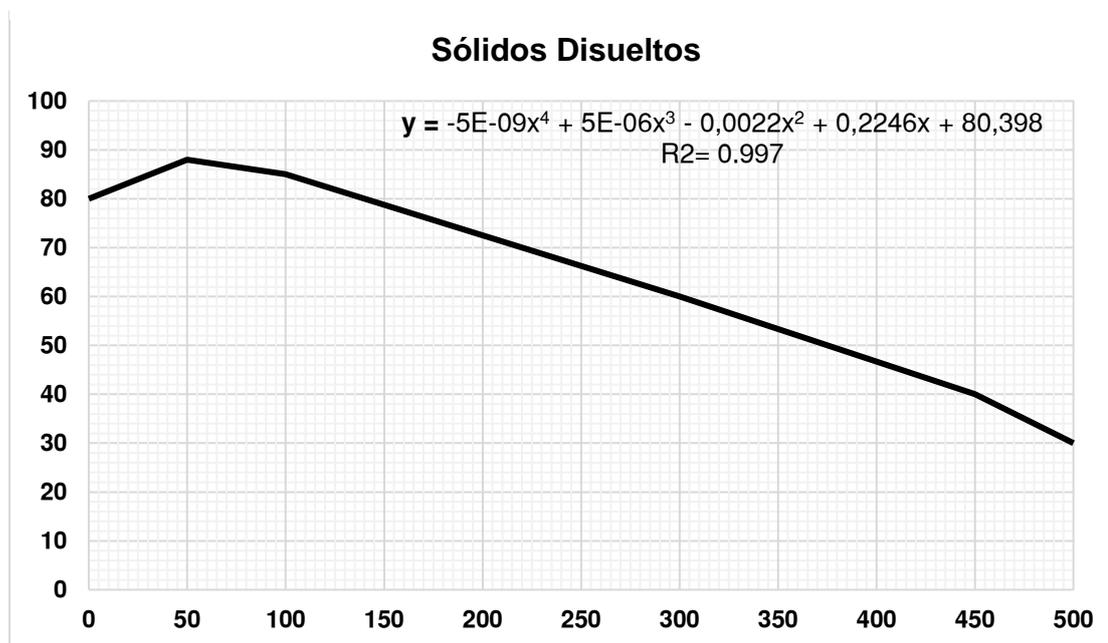


Figura 13.

Curva de calidad del parámetro sólidos disueltos



Se considera que no existe variación de temperatura en todos los casos por cuanto no se hizo una evaluación temporal del parámetro citado, por tanto, se determinó para todos los parámetros Q_i del parámetro temperatura= 92.

Cálculo de W_i (factor de significancia para cada parámetro)

El panel de expertos consultado que desarrolló el WQINSF calculó las medias aritméticas para las calificaciones de significancia para todos los parámetros. Estas calificaciones representan las ponderaciones de los parámetros en una expresión final (Brown *et al.*, 1970). Los resultados de la variable Q_i obtenido mediante las ecuaciones de las curvas de calidad de cada parámetro se debe multiplicar con su respectivo factor de ponderación. En la Tabla 7 se detalla el W_i (factor de importancia con respecto a los demás parámetros) para cada uno de los parámetros de calidad del agua.

Tabla 7.

Clasificaciones de significancia y ponderaciones para cada parámetro

| Parámetro de calidad de agua | Wi |
|---|-----------|
| Coliformes fecales (CF) | 0,15 |
| Potencial de hidrógeno (pH) | 0,12 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | 0,10 |
| Nitratos (NO_3^{-1}) | 0,10 |
| Fosfatos (PO_4^{3-}) | 0,10 |
| Cambio de la Temperatura | 0,10 |
| Turbidez | 0,08 |
| Sólidos Totales Disueltos (STD) | 0,08 |
| Oxígeno disuelto (OD) | 0,17 |

Nota: Recuperado de (Brown R. , McClelland, Deininger y Tozer, A water quality index- Do we dare?, 1970)

Formulación del índice de calidad del agua WQINSF

Una vez obtenidas las 2 variables necesarias para aplicar la ecuación de WQINSF, se debe evaluar la calidad del agua mediante la aplicación de la fórmula. El resultado se representa en una escala adimensional de 0 a 100. Según Brown *et al.*, (1970) es factible utilizar esta escala y representarla en un espectro de colores para ilustrar la calidad del agua en una región. Esto se detalla en la Tabla 8 en donde se aborda este concepto hipotético.

Tabla 8.

Calificación de la calidad del agua según el método NSFQI

| Valor WQI | Calificación de la calidad del agua |
|------------------|--|
| 91-100 | Excelente |
| 71-90 | Buena |
| 51-70 | Regular |
| 26-50 | Mala |
| 0-25 | Muy mala |

Nota: Recuperado de (Brown R. , McClelland, Deininger y Tozer, A water quality index- Do we dare?, 1970)

Recopilación de información

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, en el marco de sus competencias en la gestión ambiental provincial establecida en el Código Orgánico de Organización Territorial, ha creído conveniente ejecutar un plan de monitoreo de los cuerpos de agua en los cuerpos hídricos de tipo lótico en los ríos más representativos donde se presume que existe contaminaciones antrópicas en las cuatro principales unidades hidrográficas.

En vista de esto, se tomó acercamiento con el Coordinador de la Secretaría de Gestión Ambiental, Ing. Mario Humberto León Valarezo quien autorizó el uso de los datos que se vaya a recabar en el monitoreo realizado, así mismo se autorizó el acompañamiento con el laboratorio acreditado contratado para el efecto y el procesamiento de los datos recabados para obtener los índices de calidad de los ríos. De acuerdo con presupuesto manejado por el Gobierno Provincial, se tuvo planificado ejecutar 20 puntos de muestreo a raíz de las posibles fuentes de contaminación de interés que ha evaluado el personal técnico de la Secretaría de Gestión Ambiental con el investigador.

Obtención y análisis de muestras

Los laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana tienen la experiencia y el aval del Gobierno de la República del Ecuador en estar capacitados en la obtención y en el análisis de muestras de agua, aire y suelo. En este caso se trabajó con el laboratorio BERAU VERITAS acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano el cual empleó las siguientes normas: INEN 2176:1998; INEN 2169:2013; Standard Methods for the examination of water and wastewater 22th edition, 2012, APHA, AWWA, WEF, Método 1060 Colección y preservación de muestras. En la Tabla 9 se enlista los métodos de análisis utilizados por el Laboratorio BERAU VERITAS para analizar los 9 parámetros muestreados:

Tabla 9.

Método de análisis realizado por el laboratorio acreditado BERAU VERITAS

| Parámetros | Método de análisis |
|---|--|
| Coliformes Fecales | INSP-LAB-SOP-107 / Standard Methods 9221 B |
| Oxígeno Disuelto | Standard Methods 22th 4500-O G (Oxigenometro) |
| Turbidez | Standard Methods 22th 2130 ^a |
| pH | INSP-LAB-SOP-074 / Standard Methods 22th 4500-H+B |
| Temperatura | BVE-CTD.LAB-SOP-057/Standard Methods Ed. 23,2017 2550-B |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | BVE-CTD-SOP-038/Spectroquant Soluciones A-B para DQO Nova 60 144538, 114539, 114679, 11468 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | BVE-CTD-SOP-037/Standard Methods 22th 5210D |
| Sólidos Disueltos Totales (STD) | BVE-CTD-LAB-SOP-049 / Standard Methods Ed.23, 2017 2540 C |
| Nitratos | BVE-CTD-LAB-SOP-114 / Spectroquant test nitratos 1,14776 |
| Fosfatos | Spectroquant Nova 60 14543 |

Nota: Recuperado del Informe de ensayo Guayaquil OL N° 95078/30 BERAU VERITAS

Los aspectos físicos, químicos y biológicos de un cuerpo hídrico difieren en el espacio y en el tiempo en que se tome y por eso es imprescindible llegar a tener una muestra representativa equivalente a una mezcla completa y uniforme de los parámetros de calidad de agua dentro del río. Por estos aspectos es imprescindible obtener las muestras necesarias que logren representar el estado real del cuerpo hídrico analizado en el transcurso del año y la cuidar sobremanera la trazabilidad de

la muestra para cuidar su calidad. Para esto se tuvieron los siguientes cuidados de manipulación:

- Ubicación del punto de muestreo: la localización de los sitios donde se tomaron las muestras fueron planificadas con la institución provincial y con el laboratorio acreditado siguiendo lineamientos de accesibilidad tal que se reduzca las condiciones inseguras de trabajo de campo
- Recipientes: durante el muestreo de campo se usaron recipientes opacos o de vidrio ámbar porque pueden reducir las actividades foto-sensitivas de manera considerable. En todas las muestras se reservaron un juego de recipientes para reducir al mínimo los riesgos de contaminación cruzada.
- Toma de muestras: las muestras a analizarse fueron tomadas juntamente con personal capacitado del laboratorio acreditado Bureau Veritas para asegurar que el monitoreo se haya realizado con el mayor cuidado durante la recolección y manipulación de los frascos como se puede observar en la Figura 14.

Figura 14.

Toma de muestra



Durante la etapa de toma de muestras se tuvieron los siguientes recaudos:

- Geoposicionamiento: con el uso del Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) se marcó la posición geográfica en datos UTM el cual servirá para registrar el lugar exacto donde se tomó la muestra.
- Durante el muestreo de las aguas se usaron guantes tanto para preservar la salud de la persona que toma la muestra como para salvaguardar la trazabilidad.
- Se sumergió el frasco destapado por debajo de la superficie de agua ingresándolo a 90 grados o lo más perpendicular posible y se puso la boca de la botella en el centro del cuerpo de agua contracorriente.
- La muestra se tomó lo bastante lejos de las orillas o de los bordes, así como de los obstáculos naturales o artificiales, evitando poner en suspensión los depósitos sedimentados.
- Antes de llenar el envase, se enjuagó 2 o 3 veces con el agua que va a ser recolectada.
- Se llenó las muestras dentro de los frascos de manera completa y se tapó de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Para limitar la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.
- Para ningún caso se permitió el ingreso de hojas, ramas u otro objeto sólido a las botellas.
- Respecto al tiempo de intervalo entre el muestreo y la entrega de muestra al laboratorio fue lo mínimo posible. Durante la mañana se tomaron las muestras y al finalizar la jornada se enviaban al laboratorio acreditado que queda en la ciudad de Guayaquil mediante el empleo de neveras portátiles refrigerado con hielo para mantener una temperatura de 4 °C. En la Figura 15 se puede observar a los técnicos durante el almacenamiento de las muestras en las neveras portátiles.

Figura 15.

Preservación y envío de la muestra



Capítulo IV

Resultados y discusión

Resultados de laboratorio de los parámetros por unidad hidrográfica

En la presente subsección se presentan los resultados obtenidos del análisis de laboratorio de los 9 parámetros muestreados. La campaña de muestreo se desarrolló entre el 14 al 17 de enero del 2020 en acompañamiento de los técnicos del laboratorio acreditado BERAU VERITAS. A continuación, se presentan los resultados para cada parámetro por unidad hidrográfica; en la Tabla 10, U.H. Santa Rosa, Tabla 11 U.H. Jubones, Tabla 12 U.H. Puyango y Tabla 13 río Siete.

Tabla 9.

Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Santa Rosa

| U.H. | pH | Temp | Turb | STD | DQO | OD | Nitratos | Fosfatos | CF |
|-------------------|------|------|-------|------|------|------|----------|----------|------|
| Santa Rosa | | | | | | | | | |
| | | (°C) | (NTU) | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | NMP |
| Río Buenavista | 5,18 | 29 | 2,01 | 65 | 15 | 4,66 | <1,0 | 0,4 | 9200 |
| Río Caluguro | 8,58 | 31,4 | 0,39 | 95 | 18 | 4,86 | 1,04 | 0,3 | 1600 |
| /Caluguro | | | | | | | | | 00 |
| Río Byron | 6,50 | 29 | 0,56 | 170 | < 13 | 5,14 | 1,79 | 1,79 | <1,8 |
| Quebrada Las | 5,46 | 31,6 | 0,88 | 216 | < 13 | 4,72 | 3,17 | 0,1 | 4,5 |
| Moras | | | | | | | | | |
| Río Laguna de | 5,18 | 29 | 0,57 | 105 | < 13 | 4,80 | 1,06 | 0,2 | 4700 |
| Caña | | | | | | | | | |
| Río Raspas | 6,77 | 28 | 0,28 | 140 | 15 | 5,70 | < 1,0 | 0,3 | 33 |

Tabla 10.

Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Jubones

| U.H. | pH | Temp | Turb | STD | DQO | OD | Nitratos | Fosfatos | CF |
|-------------------------|------|------|-------|------|------|------|----------|----------|------|
| Jubones | | | | | | | | | |
| | | (°C) | (NTU) | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | NMP |
| Río Jubones / La Iberia | 7,15 | 29 | 7,89 | 108 | 13 | 5,10 | 1,10 | 0,4 | 170 |
| Río Casacay | 8,07 | 28 | 0,51 | 80 | < 13 | 5,80 | 1,68 | 0,1 | 23 |
| Río Chillayacu | 8,45 | 28 | 0,90 | 125 | < 13 | 5,67 | 1,66 | 0,2 | 1400 |
| Vertiente Pilliguro | 8,17 | 15 | 0,61 | 260 | < 13 | 4,70 | < 1,0 | 0,3 | 4,5 |

Tabla 11.

Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Puyango

| U.H. | pH | Temp | Turb | STD | DQO | OD | Nitratos | Fosfatos | CF |
|------------------------------------|------|------|-------|------|------|------|----------|----------|------|
| Puyango | | | | | | | | | |
| | | (°C) | (NTU) | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | NMP |
| Río Luis entre Morales y Portovelo | 8,81 | 25 | 1,86 | 140 | < 13 | 5,71 | < 1,0 | 0,4 | 130 |
| Río Luis | 8,55 | 25 | 2,07 | 72 | < 13 | 5,70 | < 1,0 | 0,5 | 790 |
| Unión Río Calera/ Amarillo | 8,40 | 25 | 1,87 | 70 | < 13 | 5,25 | 2,22 | 0,3 | 1600 |
| Unión Río Calera/ R. Pindo | 8,04 | 25 | 2,21 | 140 | < 13 | 5,44 | < 1,0 | 0,3 | 470 |
| Unión Río Pindo/ R. Luis | 8,48 | 25 | 1,27 | 40 | < 13 | 5,65 | < 1,0 | 0,2 | 48 |
| Río Moromoro | 9,23 | 25 | 0,62 | 110 | < 13 | 5,01 | < 1,0 | 0,4 | 210 |
| Río Balsas Puyango | 6,66 | 30 | 22,7 | 100 | 45 | 5,55 | 1,25 | 0,5 | 31 |
| Río Bosque Petrificado Puyango | 7,40 | 29 | 2,90 | 88 | < 13 | 5,62 | < 1,0 | 0,4 | 110 |
| Unión Río Moromoro y R. Balsas | 7,39 | 29 | 1,17 | 250 | 14 | 2,54 | < 1,0 | 0,3 | 5400 |

Tabla 12.

Resultado de parámetros de la unidad hidrográfica del río Siete

| U.H. | pH | Temp | Turb | STD | DQO | OD | Nitratos | Fosfatos | CF |
|------------------|------|------|-------|------|------|------|----------|----------|------|
| Río Siete | | | | | | | | | |
| | | (°C) | (NTU) | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | NMP |
| Río Siete | 6,52 | 30,2 | 2,85 | 375 | 60 | 4,30 | 16,1 | 0,2 | 1400 |

Cálculo de Qi mediante curvas de calidad

Para realizar el cálculo de la variable Qi se utilizaron las curvas de calidad elaboradas por Brown *et al.*, (1970) y las ecuaciones polinómicas ajustadas por Jiménez y Vélez (2006). Antes de realizar el cálculo de todos los parámetros, se realizó la estimación del porcentaje de saturación de oxígeno con la base del resultado del análisis en laboratorio para el parámetro de oxígeno disuelto.

Según Castillo y Sentis (2001) la presión barométrica disminuye con la altitud. Para el cálculo del WQINSF, el parámetro del oxígeno disuelto viene dado como porcentaje de saturación. En ese sentido, se utilizó la fórmula detallada en la ecuación 3 para la obtener la presión barométrica para cada muestra y a partir de esta variable calcular el porcentaje de saturación de oxígeno.

$$p(HPa) = 1.013,25 \left(1 - \frac{0,0065z}{288,15} \right)^{5,31} \quad (3)$$

donde z ha de expresarse en metros. A partir de esta relación, se ha establecido la atmósfera estandar.

El valor z se obtuvo a través del levantamiento de la información secundaria de altitud de cada muestra con un equipo sistema de posicionamiento global (GPS). A continuación, se demuestra cómo se obtuvo el porcentaje de saturación de oxígeno para la muestra tomada en el río Buenavista:

$$\begin{aligned}
 p(\text{HPa}) &= 1.013,25 \left(1 - \frac{0,0065 \times 9}{288,15} \right)^{5,31} \\
 p(\text{HPa}) &= 1.012,16 \\
 p(\text{mmHg}) &= 1.012,16 \times \frac{0,750062 \text{ mmHg}}{1 \text{ HPa}} \\
 p(\text{mmHg}) &= 759,18
 \end{aligned}$$

Con la presión atmosférica calculada podemos determinar la concentración máxima de oxígeno en el agua a una temperatura de 29 °C a partir de la tabla 3 lo cual arroja un valor de 7,67 mg/l. Con este dato podemos calcular el porcentaje de concentración de oxígeno de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Saturación } O_2 &= 4,66 \text{ mg/l} \times \frac{100\%}{7,67 \text{ mg/l}} \\
 \% \text{ Saturación } O_2 &= 60,76\%
 \end{aligned}$$

Este procedimiento se realizó para las 20 muestras de oxígeno disuelto y obtener este parámetro de acuerdo con el WQINSF. El laboratorio acreditado utilizó el método Standard Methods 22th 4500-O G (Oxigenometro) para analizar la muestra, sin embargo, el resultado fue entregado en mg/L. Por esta razón es que se utilizó este proceso de transformación. En la Tabla 14 se tabularon los resultados de la transformación de oxígeno disuelto en porcentaje de saturación de oxígeno para todas las muestras.

Tabla 13.*Resultados de la transformación de oxígeno disuelto en saturación de oxígeno*

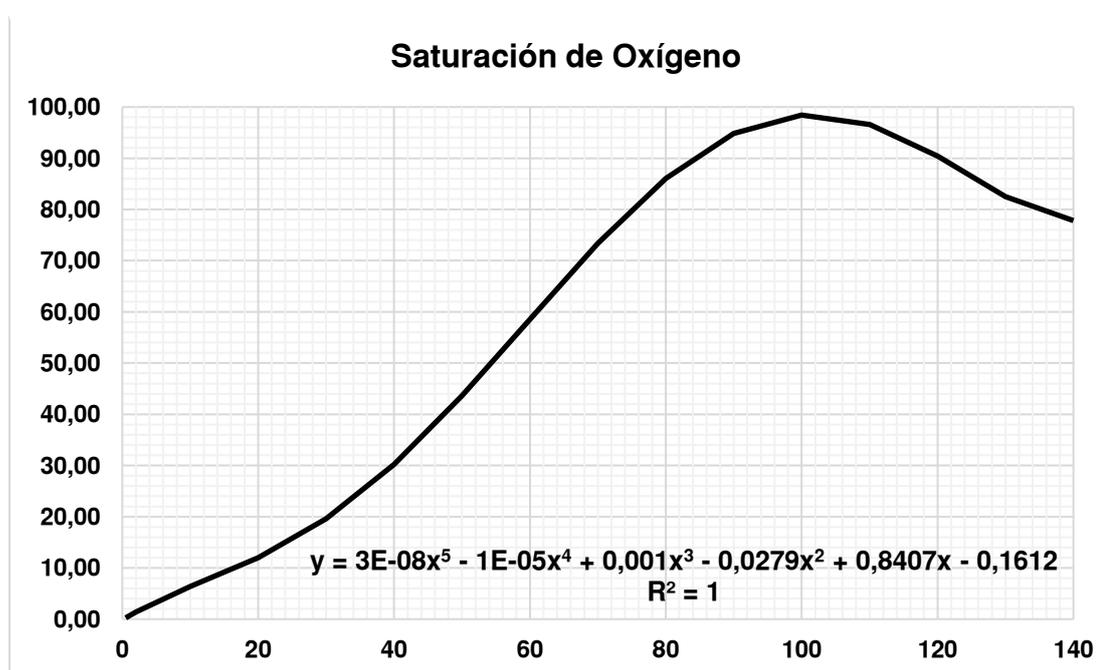
| Muestra en cuenca hidrográfica | Oxígeno disuelto (mg/l) | Saturación de oxígeno (%) |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| Río Buenavista | 4,66 | 60,76% |
| Río Calaguro/ Calaguro | 4,86 | 65,59 |
| Río Byron | 5,14 | 67,72 |
| Quebradas Las Moras | 4,72 | 65,46 |
| Laguna de Caña | 4,80 | 62,66 |
| Río Luis entre Morales y Portovelo | 5,71 | 78,87 |
| Río Luis | 5,70 | 76,10 |
| Unión entre Río Calera y Amarillo | 5,70 | 74,51 |
| Unión entre Río Calera y Pindo | 5,44 | 70,65 |
| Unión entre Río Pindo y Luis | 5,65 | 73,76 |
| Río Moromoro | 5,01 | 67,52 |
| Vertiente Pilliguro | 4,70 | 70,68 |
| Río Chillayacu | 5,67 | 76,52 |
| Río Casacay | 5,80 | 75,23 |
| Río Raspas | 5,70 | 73,73 |
| Río Bosque Petrificado Puyango | 5,62 | 76,05 |
| Río Balsas Puyango | 5,55 | 77,51 |
| Unión Río Moromo y Balsas | 2,54 | 36,29 |
| Río Jubones/ La Iberia | 5,10 | 66,67 |
| Río Siete | 4,30 | 57,26 |

Una vez obtenidos todos los parámetros en las unidades necesarias para el cálculo de Qi de acuerdo con la metodología WQINSF, se utilizaron las curvas de calidad y las ecuaciones ajustadas. Se utilizó el mismo procedimiento para todas las muestras y parámetros con su respectiva curva de calidad y ecuación. A continuación, se pormenoriza como se realizó el cálculo de Qi para el parámetro saturación de oxígeno del río Buenavista.

Se obtuvo la curva de calidad y la ecuación mediante los criterios establecidos por Brown *et al.*, (1970) y Jimenez y Velez (2006). En la Figura 16 se puede observar la curva de calidad y la ecuación polinómica ajustada. Para obtener mejores resultados, se reemplazó la variable X por el resultado obtenido de laboratorio transformado a saturación de oxígeno. El resultado de Y es el valor de Qi.

Figura 16.

Curva de calidad y ecuación polinómica ajustada



A continuación, se presenta la ecuación 4 para el parámetro saturación de oxígeno y el reemplazo de esta para obtener el Qi para la muestra del río Buenavista.

$$Y = 3E - 08x^5 - 1E - 05x^4 + 0,001x^3 - 0,027x^2 + 0,8407x - 0,1612$$

donde x es el resultado de laboratorio, y; "y" el Qi

$$Y = 3E-08x^5 - 1E-05x^4 + 0,001x^3 - 0,0279x^2 + 0,8407x - 0,1612$$

$$Y = 3E-08(60,76)^5 - 1E-05(60,76)^4 + 0,001(60,76)^3 - 0,0279(60,76)^2 + 0,8407(60,76) - 0,1612$$

$$Y = 59,74 = Qi$$

Este proceso se aplicó para todos los parámetros de cada una de las muestras. Estos se tabularon en una tabla para realizar el cálculo del WQINSF a través de la aplicación de la fórmula una vez que se hayan obtenido las 2 variables necesarias.

Cálculo de WQINSF

En esta subsección se muestra el procedimiento realizado para el cálculo de WQINSF a través de la multiplicación de la variable obtenida de Q_i de cada parámetro por su respectivo factor de significancia. Para ejemplificar el proceso se utilizaron los análisis del río Buenavista, en la tabla 14 se detallan los parámetros, la variable Q_i obtenida, el factor de significancia y el producto entre ambas, la suma de esto representa el índice de la calidad. En los anexos se pueden encontrar los cálculos para todas las muestras y parámetros de WQINSF.

Tabla 14.

Producto entre el factor de significancia (W_i) y la variable Q_i para la muestra de río Buenavista

| Parámetro de calidad de agua | Q_i | W_i | $Q_i \times W_i$ |
|---|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Coliformes fecales (CF) | 10 | 0,15 | 1,5 |
| Potencial de hidrógeno (pH) | 32,14 | 0,12 | 3,86 |
| Demanda Química de Oxígeno | 100 | 0,10 | 10 |
| Nitratos (NO_3^{-1}) | 100 | 0,10 | 10 |
| Fosfatos (PO_4^{3-}) | 73 | 0,10 | 7,3 |
| Cambio de la Temperatura | 92 | 0,10 | 9,2 |
| Turbidez | 92,5 | 0,08 | 7,4 |
| Sólidos Totales Disueltos (STD) | 85 | 0,08 | 6,8 |
| Oxígeno disuelto (OD) | 59,74 | 0,17 | 10,15 |
| | WQINSF | | 66,21 |

Este proceso se realizó para cada una de las 20 muestras y se la tabuló en la Tabla 15 en donde se organizaron los resultados por unidad hidrográfica, índice de calidad del agua obtenido y la determinación de rango de calidad en color y expresión.

Tabla 15.

Resultados de Índice de Calidad de Agua según NSF

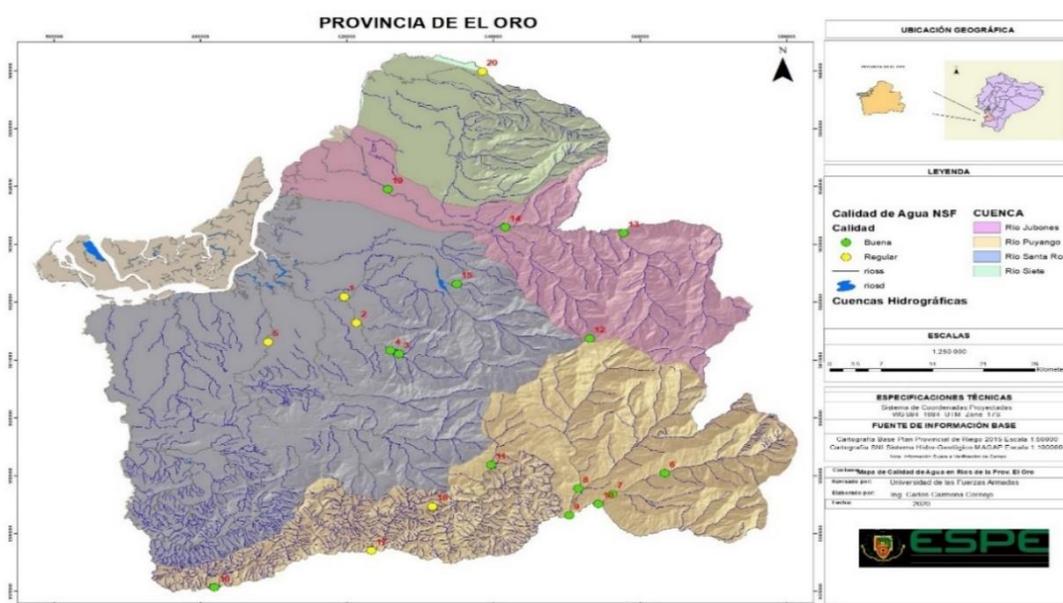
| Cuenca Hidrográfica | Punto | Nombre de la Muestra | NSF | Calidad |
|---------------------------------|--------------|--|------------|----------------|
| Río Siete U.H. 1395 | 20 | Agua de Río Siete | 57,11 | Regular |
| Río Jubones U.H. 1394 | 19 | Agua de Río Jubones La Iberia | 77,93 | Buena |
| | 14 | Agua de Río Casacay | 86,33 | Buena |
| | 13 | Agua de río Chillayacu | 76,53 | Buena |
| | 12 | Agua Natural Vertiente Pilliguro Chilla | 85,13 | Buena |
| Río Santa Rosa U.H. 1393 | 1 | Agua de Río Buenavista | 66,26 | Regular |
| | 2 | Agua de río Caluguro en Caluguro | 70,8 | Regular |
| | 3 | Agua de Río Byron | 84,77 | Buena |
| | 4 | Agua de río Byron quebrada Las Moras | 79,29 | Buena |
| | 5 | Agua de Río Laguna de Caña | 67,80 | Regular |
| | 15 | Agua de Río Raspas | 74,50 | Buena |
| Río Puyango U.H. 1392 | 6 | Agua de río Luis entre Morales y Portovelo | 77,79 | Buena |
| | 7 | Agua de río Luis | 76,00 | Buena |
| | 8 | Agua de Río de Unión Calera y Amarillo | 73,49 | Buena |
| | 9 | Agua de Río de Unión Calera y Río Pindo | 79,21 | Buena |
| | 10 | Agua de Unión de río Pindo y Río Luis | 81,88 | Buena |
| | 11 | Agua de Río Moromoro | 73,93 | Buena |
| | 17 | Agua de Río Balsas Puyango | 67,74 | Regular |
| | 16 | Agua de Río Bosque Petrificado de Puyango | 83,04 | Buena |
| | 18 | Agua de Río (Unión de río Moromoro y Río Balsas) | 68,57 | Regular |

Georreferenciación de los resultados de WQINSF

En la Figura 17 se puede observar el mapa hidrográfico de la provincia de El Oro con los puntos muestrales en donde se aplicó el índice de calidad del agua de NSF. Se pintaron de acuerdo con el resultado del índice de calidad en verde: buena y amarillo: regular.

Figura 17.

Mapa de los índices de calidad de agua en la provincia de El Oro



Análisis y discusión de resultados

Con la base de los resultados generados en este trabajo, **se descarta la hipótesis planteada**. Esta establecía que la calidad del agua de las 4 unidades hidrográficas más importantes de la provincia de El Oro es de mala calidad según la escala de la metodología de WQINSF que va de excelente, buena, regular, mala y muy mala.

A partir de los resultados encontrados se pudo establecer que, con la base de WQINSF **la calidad del agua del río Siete es regular, de los 4 muestreos en la cuenca del río Jubones, todas reflejaron buena calidad. Para la unidad hidrográfica del río Santa Rosa los resultados se dividen en 50% de buena**

calidad y 50% de calidad regular. Por último, para la unidad hidrográfica de río Puyango, de las 9 muestras evaluadas, 7 son de resultaron de buena calidad y 2 de calidad regular.

Estos resultados se contraponen a lo evaluado para el río Siete por PRODEMINCA (1998) y Valverde y Galarza (2012); por Hruschka y Salinas (1996), Vaca y Pozo (2014) para la cuenca del río Santa Rosa; por PRODEMINCA (1998) para la cuena alta de la unidad hidrográfica del río Puyango y por CISPDR (2016) para la cuenca baja del río Jubones. Esto se debe a que el WQINSF no considera dentro de los parámetros a analizar metales pesados, metaloides u otro parámetro distinto a ph, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos, saturación de oxígeno, turbidez, nitratos, sulfatos, coliformes fecales y cambios de temperatura.

Los niveles de calidad de agua de las U.H., analizadas pueden llevar a inferir erróneamente que dichos cuerpos hídricos estudiados se encuentran en buen estado de conservación. Sin embargo, es importante recordar que el WQINSF estaba orientado a la evaluación de aguas superficiales crudas para el suministro público de agua. Es decir, aguas que teóricamente no reciben descargas industriales. Según Brown *et al.*, (1972) el WQINSF fue ideado para comparar la calidad de agua de las captaciones de agua cruda para el suministro del agua potable para las ciudades.

Dejar fuera del análisis a plaguicidas, metales y metaloides, el WQINSF puede provocar errores de interpretación si no se considera el contexto ambiental en el cual fueron evaluados los cuerpos hídricos. Es necesario realizar un diagnóstico o línea de base detallado como parte del proceso de cálculo del WQINSF. Una de las principales desventajas del WQINSF es que representa la calidad general del agua, más no la calidad y aptitud con respecto a un uso en específico (Wills y Irvine, 1996).

Habiendo detallado la dificultad presupuestaria y administrativa de incrementar el número de mediciones de las características fisicoquímicas del agua, se puede introducir, a forma de información inicial, los resultados adquiridos en los muestreos puntuales a forma de distribución previa y como la adición de nuevos datos, en el futuro, irían influyendo en el resultado final del indicador (Beamonte, Casino y Veres, 2004).

Este factor que podría haber persuadido en los resultados, es el número de muestras realizadas por cada U.H. Esto puede inducir a percepciones equivocadas con respecto a la calidad del agua. **La selección de la unidad muestral se basó en la disponibilidad de recursos y se orientó hacia áreas en las que, según la creencia popular, existe mayor contaminación.**

Es importante destacar que el **WQINSF no involucra parámetros químicos como la presencia de mercurio en agua** (muchas veces se encuentra en sedimentos en mayor medida) o de plomo. Esto se debe a que este índice de calidad fue diseñado para comparar cuerpos hídricos destinados a captaciones para la potabilización y distribución en centros poblados. Una de las desventajas de este ICA de NSF es que puede inducir incertidumbre y subjetividad en áreas con problemáticas ambientales complejas (Shweta y Prashant, 2013).

Esto podría explicar porque en los puntos de muestreo de la **unión del río Calera con el río Amarillo con un índice de calidad NSF de 73,49 “buena”** y en el sector de la Iberia del río Jubones con índice de calidad NSF de 77,93, sean caracterizados según la calificación de la calidad como “buena”. Esto considerando que en ambos puntos se conoce la alta carga contaminante que tienen los metales pesados.

Otra razón para que estos 2 puntos de muestreo hayan obtenido el índice de calidad de agua como bueno, es que en el mes de enero ya han empezado las

primeras tormentas de la temporada lluviosa, aportado al caudal y, por ende, diluyendo en gran medida la carga contaminante. Según Maldonado y Cisneros (2014) **los muestreos realizados en estación lluviosa al sur del Ecuador dan mejores resultados en comparación a los meses de estiaje con WQINSF** debido a la dilución de agentes como el fosfato y nitrato mediante las precipitaciones.

Sin embargo, Jimenez y Vélez (2006) plantean que durante la estación lluviosa el transporte de sedimentos aumenta y que una mayor cantidad de nutrientes provenientes de practicas agrícolas se transportan mediante la escorrentía como carga difusa.

Las aguas con pH bajo no son recomendables para ser usadas en riego agrícola pues tienen a solubilizar cationes tóxicos para los cultivos como aluminio, hierro y manganeso (Villegas, 1995). De acuerdo con Pontón y Ramirez (2018) en una campaña de monitoreos **en la cuenca alta del río Piñas (U.H. Puyango) se pudieron obtener valores ligeramete ácidos producto del tipo de geología** de la región (formación volcánica Saraguro).

Unidad hidrográfica Río Jubones

Los resultados obtenidos para las cuencas hidrográficas analizadas de la U.H. del río Jubones fue la siguiente: “calidad buena” para los ríos “Jubones La Iberia” (77,93 puntos), “Casacay” (86,33 puntos), “Chillayacu” (76,53 puntos) y “Vertiente Pilliguro Chilla” (85,13 puntos). Además, se pudo determinar que, sobre la base de los análisis del laboratorio, estos cuerpos hídricos están aptos para la conservación de la vida acuática y riego en plantaciones agrícolas de acuerdo con el anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Cabe destacar que la cuenca del río Jubones es el más importante de la red hídrica de la provincia de El Oro, debido a que el río principal con el mismo nombre se lo

emplea en las actividades agrícolas específicamente en el cultivo de banano y justamente en la vertiente Pilliguro Chilla nace el río Casacay donde se abastece el agua potable de los cantones Machala, Pasaje y el Guabo cubriendo casi la mitad de la población orense (Valdiviezo-Rivera, Garzón-Santomaro, Inclán, Mena-Jaén y González, 2018).

Con la base de los resultados de este trabajo se obtuvo el WQINSF para los 4 ríos estudiados de la U.H. Jubones. Estos obtuvieron una clasificación de calidad “**Buena**” con el valor más alto en el río Casacay con un resultado de 86.33 y el valor más bajo de calidad de agua de la cuenca citada se obtuvo un valor de 76,53 con el río Chillayacu. El único parámetro que incide negativamente en la contaminación de la calidad de agua en los 4 ríos muestreados son los “Coliformes Fecales” en el río Chillayacu con un valor de 1400 NMP / 100 ml y seguidamente le sigue el río Jubones en la Iberia con un valor de 170 NMP/100 ml.

Mite *et al.*, (2016), Baccaro *et al.*, (2006) y Torres *et al.*, (2009), realizaron trabajos aplicando este índice orientado al uso de la fuente para consumo humano previo al tratamiento convencional, en donde se determinó que el parámetro que presenta una mayor incidencia en el valor final del ICA, son los coliformes fecales. Si un solo **parámetro fisicoquímico o microbiológico es clasificado en un nivel erróneo**, arrastra consigo la calidad del agua en su conjunto (Beamonte, Casino y Veres, 2004).

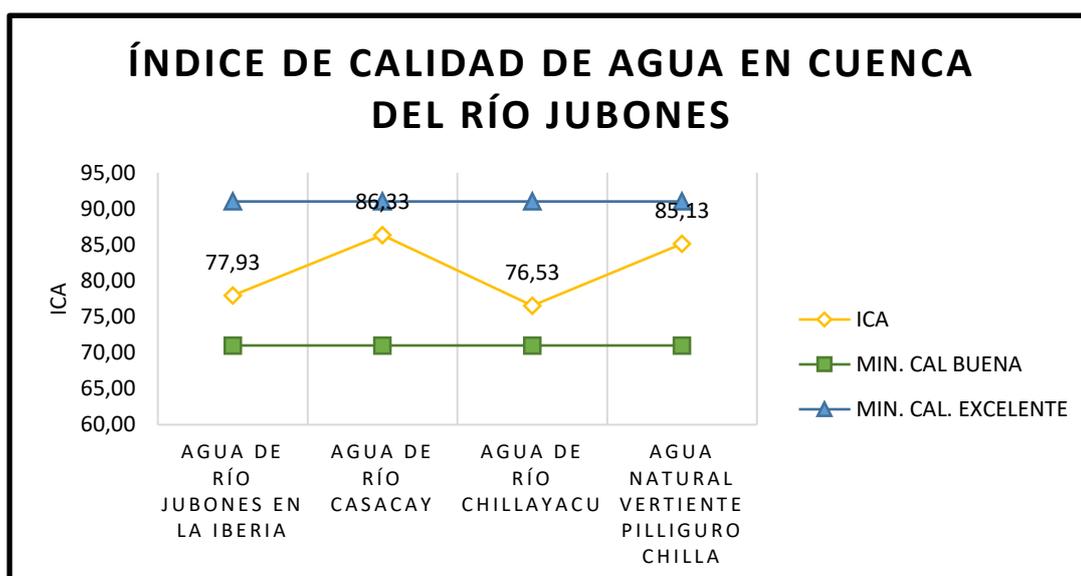
Esto se puede explicar con el factor de significancia atribuido a cada uno de los parámetros que representa el peso de cada uno con respecto a los demás. En ese sentido, tanto el oxígeno disuelto con el 17% y los coliformes fecales con 15%, son los parámetros que más importancia se les ha asignado para este índice de la calidad del agua. De acuerdo con Fernandez y Solano (2005) los métodos que asignan pesos fijos a las variables tienen un gran peso estadístico, por ende, aporta una influencia importante sobre el índice.

Es por eso por lo que, a pesar de que la muestra **del río Chillayacu se encuentra con buena calidad**, se debe tomar en consideración que los valores reportados de coliformes fecales detectados superan los valores máximos permisibles de 1 000 NMP/100 ml para “Consumo Humano y doméstico”. Según Mancomunidad del río Jubones (2012) esta circunstancia se da en la cuenca alta del río Jubones debido a las malas prácticas de ganadería. En varias fuentes de agua el ganado ingresa a la fuente, la pisa y deja orina y heces, ocasionando la proliferación de microbacterias y parásitos (coliformes fecales).

En la Figura 18 se pueden observar los resultados del índice de calidad para los cuerpos hídricos de la unidad hidrográfica del río Jubones en color amarillo, los rangos de calificación de calidad excelente en azul y buena en verde. La ubicación de los puntos muestrales en el eje “x” corresponden de derecha a izquierda la distribución desde la cuenca alta hasta la zona de desembocadura en el Océano Pacífico.

Figura 18.

Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Jubones



Unidad hidrográfica Río Puyango

Según FUNSAD (2001) con la base de los resultados obtenidos de la campaña de muestreos del año 2000, **los sedimentos en el río Calera**, aguas debajo de las plantas de beneficio del sector El Pache en Portovelo, alcanzan los 1 784 ng/g en estación lluviosa y 2 739 ng/g en estiaje.

La contaminación asociada a los **efluentes producto de la cianuración** de las plantas de beneficio, en especial sobre el río Calera, **han ocasionado altas concentraciones de cianuro total y cianuro libre en la cuenca baja de la cuenca Puyango-Tumbes en Perú**. Según Hruschka y Salinas (1996) en la cuenca alta de la U.H. del río Puyango, cerca de las plantas de beneficio de Portovelo, se encontraron concentraciones de mercurio en sedimento de 1650 ppm y plomo de 8350 ppm.

Al comparar los índices de calidad de agua obtenidos en la **cuenca del río Puyango** se pudo identificar dos puntos críticos con puntajes **“Regular”**. Por un lado, con un puntaje de 67,74 en la muestra “Río Balsas Puyango” y por otro lado con un puntaje de 68,57 en la muestra “Río unión Moromoro y río Balsas”. Respecto a la muestra “Balsas Puyango” fue tomada en el río Puyango en la que confluyen los ríos Calera, Amarillo, Pindo entre otros tributarios del río principal donde fue tomada la muestra y es donde sus orillas existen más de **400 plantas de beneficio en donde procesan la roca** para obtener oro por medio de procesos de amalgamación con mercurio y lixiviación con cianuro los cuales inciden en la contaminación del recurso hídrico (Mora, Jumbo-Flores, González-Merizalde y Bermeo-Flores, 2016).

En cuanto a la muestra de Agua **“Río unión Río Moromoro y Río Balsas”** con un índice de calidad calculado de “Regular” se identificó que los valores de Oxígeno Disuelto con un porcentaje de saturación de 36,29 % está muy por debajo del 80 % como criterio para la Preservación de la Vida Acuática, Uso Agrícola y para Usos para

finés recreativos tanto para contacto primario como de secundario establecidos en las tablas 2, 3, 5 y 6 del anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente lo que hay que tomar en consideración que es la única muestra de las 20 realizadas con este valor atípico.

Otro parámetro importante que afectó la calidad del recurso hídrico fue la excesiva cantidad de coliformes fecales con un valor de 5400 NMP / 100 ml lo que sobrepasa los límites máximos permisibles para Consumo Humano, Riego Agrícola, Pecuario, Fines Recreativos mediante Contacto Primario y Secundario establecidos en las tablas 1, 3, 5, 6 y 7 del anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio del Ambiente, esto se debe; particularmente por el inadecuado manejo de residuos pecuarios por donde se identificó puntos de descarga durante la toma de muestras y a lo corroborado por el MAE (2016) que, de acuerdo con el mapa de usos de suelo, **la actividad ganadera incluyendo la pecuario cubre el 34,34 % del territorio de la cuenca del río Puyango.**

En la cuenca del río Puyango se obtuvieron resultados de **“Buena”** calidad de agua en las muestras “Agua de Río Luis entre Morales y Portovelo” (77,79 puntos), “Agua de río Luis” (76 puntos), “Agua de río unión Calera y Amarillo” (73,49 puntos), “Agua de río unión Calera y Pindo” (79,21 puntos), “Agua de río Pindo y Luis” (81,88 puntos), “Agua de río Moromoro” (73,93 puntos) y “Agua de río Bosque Petrificado de Puyango” (83,04 puntos) con únicos problemas de presencia de Coliformes Fecales.

Con la base de los resultados obtenidos de **la aplicación del WQINSF para la unión del río Calera y Amarillo, se determinó que la calidad del agua del río era Buena con una puntuación de 73,49.** Cuenca abajo, en el punto muestral de la unión del río Calera y río Pindo se obtuvo como resultado que la calidad de agua era Buena con un puntaje de 79,21. Estos resultados pueden considerarse opuestos a los

obtenidos por MAE (2014) en los que se encontró que las aguas negras y grises del sistema de alcantarillado de la ciudad de Portovelo son descargadas al río Calera.

Esta contraposición de los resultados obtenidos con respecto a otros autores parecen responder a la concepción misma del WQINSF. Cuando se debatió este índice de la calidad del agua inicialmente estaba orientado a la evaluación de las captaciones de agua para el suministro público. Esto se refleja con lo obtenido en el análisis de laboratorio para el parámetro coliformes fecales en el punto muestral unión del río Calera y río Amarillo. Para dicho punto se obtuvo 1600 NMP/100ml de coliformes fecales, y aguas abajo, en la unión del río Calera con el río Pindo, de 470 NMP/100 ml de coliformes fecales.

Esto guarda concordancia con lo descrito por Marín y Pineda (2011) que establecieron que el Cianuro tenía una concentración 963% más alta de lo permitido en la norma ambiental nacional para los ríos Amarillo y Calera. En ese contexto, recomiendan que el agua de estos ríos no es apta para consumo humano, pecuario ni sus sedimentos para usos agrícolas, comerciales, residenciales e industriales ya que en ambos casos tienen niveles demasiado altos de concentración de Cianuro.

De acuerdo con PRODEMINCA (1998) en casi la totalidad de la cuenca del río Puyango, la calidad del agua y sedimentos es de tal magnitud que se ha perdido toda forma de vida superior y no se recomienda en lo absoluto el uso del agua para consumo o irrigación. Según MAE (2014) debido a la minería informal se ha reducido la vegetación en zona ribereña a lo largo del sistema río Calera – río Pindo. Esto ha ocasionado una fuerte erosión reflejada en la cantidad de sólidos en suspensión ocasionado por los efluentes de la industria minera.

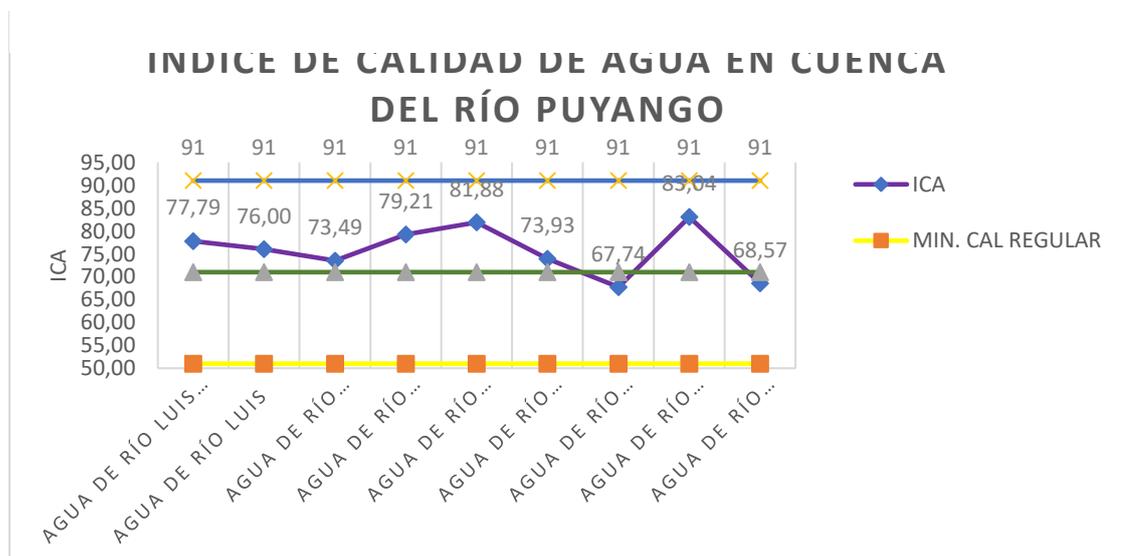
Esta acumulación de sustancias químicas está reflejada en índice de calidad de agua al verificar que los parámetros Demanda Química de Oxígeno con un valor de

45 mg/l supera los límites máximos permisibles para Consumo Humano y Preservación de la vida Acuática establecidos en la tabla 1 y 2 del anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente y como la apariencia física del cuerpo hídrico se vio totalmente oscurecida por la presencia de químicos usados en minería como se explicó anteriormente, la turbidez con un resultado de 22,7 NTU también tiene un valor importante que reduce la calidad del agua como una medida de impedimento de la refracción de la luz ya que contiene sustancias suspendidas siendo el valor más alto en todos los veinte cuerpos hídricos muestreados.

Por último, otro factor que persiste en la reducción del índice de calidad de agua en el cuerpo hídrico del río Siete es la excesiva presencia de coliformes fecales con un valor de 1400 NMP/100 sobrepasando los límites máximos permisibles para consumo humano, preservación de la vida acuática y pecuario establecidos en las tablas 1, 2 y 4 respectivamente del anexo 1 el Texto Unificado de Legislación Secundario Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. En la Figura 19

Figura 19.

Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Puyango



Unidad hidrográfica Río Siete

Respecto a la cuenca del río Siete, se pudo determinar que el río del mismo nombre tiene una calidad de agua “Regular” con un puntaje de 57,11. **El parámetro clave que incidió en la representación de este valor fue la demanda química de oxígeno** que al tener un resultado de 60 mg/l sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 2 para la preservación de la vida acuática en aguas dulces, así como para el consumo humano del Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental.

La demanda química de oxígeno nos brinda un diagnóstico confiable para juzgar el grado de la contaminación del agua. Aguas con alta demanda química de oxígeno no son deseables para la pesca o agricultura (Effendi y Romanto, 2015). De acuerdo con (Valverde y Galarza, 2012) DQO nos permite inferir que existe contaminación por materia inorgánica no biodegradable. Sin embargo, para el WQINSF se le asigna un factor de significancia de 10% del total de todos los parámetros considerados. En ese contexto, es clara la orientación hacia asignación sobre la calidad y no sobre el grado de contaminación del índice.

Según el trabajo de Valverde y Galarza (2012) el río Siete superaba el límite establecido por la EPA (Environmental Protection Agency) de 5,2 µg/l de Cianuro total para la protección de la vida acuática de agua dulce. Esto se debe a la presencia de metal-cianuros estables que son fácilmente biodisponibles, los mismos que están asociados a las colas mineras. Sin embargo, de la unidad muestral analizada en este trabajo, la metodología del WQINSF no incorpora el Cianuro total. De esta forma, el resultado obtenido de índice de calidad de agua de 57,11 y en el rango de calidad de regular, puede llevar a interpretaciones subjetivas.

El muestreo analizado corresponde a un punto cerca de la desembocadura de la cuenca del río Siete al Océano Pacífico. Esto significa que contiene todo el aporte de los tributarios que lo conforman. De acuerdo con Swedish Environmental (1996) la dispersión de desechos sólidos de las plantas de beneficio (relaves) aproximadamente 10.000 toneladas de relaves son descargadas anualmente al río Siete pudiendo llegar al mar pasando por el estuario. **Los relaves mineros poseen una alta demanda química de oxígeno debido a que contiene reactivos entre ellos nitratos y sulfuros** en proceso de flotación y cianuros en procesos de cianuración los cuales se emplean para separar el metal deseado por acción gravimétrica (Espín, Jarrín y Escobar, 2017).

Otro parámetro que también contribuyó al resultado de “regular” de la calidad de agua del río Siete fue la presencia alta de sólidos disueltos totales. Este parámetro, que de hecho resultó contener la mayor concentración de todas las 20 muestras recolectadas, podría estar ocasionado por la presencia sustancias químicas usadas en el proceso de beneficio de minería metálica. **Cuenca arriba del río Siete se encuentran no solo galerías de explotación minera sino también plantas industriales de beneficio** que usan cianuro de sodio y cianuro de potasio, mercurio, ácido sulfúrico y disolventes para separar los minerales de la mena, ácido nítrico, nitrato de amonio usados para concentrar minerales de oro, cobre y plata mediante procesos químicos con utilización de agua (Conant y Fadem, 2011).

Se entiende que la Demanda Química de Oxígeno es el reflejo de la cantidad de materia orgánica bio degradable y no biodegradable que se encuentra en el medio acuoso y ese valor sobre la norma es producido por los relaves de la minería metálica adyacentes a la ribera del río Siete. **La presencia de nitratos en el río Siete es altamente preocupante.** Según Villegas (1995) las concentraciones mayores de 0.9 mg/l de nitratos en las aguas afectan la eutrofización de las aguas. En ese contexto,

se puede presumir con la base de la información analizada que **el río Siete tiene un aporte importante de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo provenientes de las fincas bananeras**

La presencia de nitratos en la época lluviosa puede deberse al resultado de lixiviación de los fertilizantes que contienen nitrato de amonio, contaminación fecal de animales de sangre caliente y, contaminación fecal humana (Stevenson, 1999). Sin embargo, durante el estiaje la presencia de sales disueltas se incrementa hasta provocar que las aguas podrían no ser apta para el riego de cultivos agrícolas (Caicedo *et al.*, 2019).

Al haber obtenido la calificación más baja sobre las 20 muestras, es imprescindible que se realicen estudios más detallados y a profundidad. No solo aumentar la unidad muestral sino también incluir más parámetros (cianuro, mercurio, metales y metaloides) y reconsiderar un índice de contaminación en lugar de un índice de la calidad.

Para futuros estudios, el análisis de esta unidad hidrográfica debería coordinarse con el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Azuay debido a que la cuenca media y alta se encuentra en esa provincia, además de mantener el punto muestreado en este estudio para realizar comparaciones en futuras campañas. En la Figura 20 se presenta en un gráfico el resultado del índice de calidad para el río Siete.

Figura 20.

Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Siete



Unidad Hidrográfica Santa Rosa

Según Vaca y Pozo (2014) las principales fuentes de contaminantes de la cuenca del río Santa Rosa son: minería en la cuenca alta y desechos sólidos y aguas residuales producto de la falta de saneamiento ambiental en las poblaciones asentadas en los márgenes de los tributarios en la cuenca media y baja.

Analizando los índices de calidad obtenidos para la U.H. del río Santa Rosa se detectó que la mitad de las muestras, es decir, 3 de ellas tienen una calidad de agua **“Regular”** mientras que las otras 3 muestras tienen una calidad **“Buena”**. Los tres ríos que pertenecen a la calidad de agua “regular” desde el menor hasta el mayor puntaje corresponden a las muestras llamadas “Agua de río Buenavista” (66,26 puntos), “Agua de Laguna de Caña” (67,80 puntos) y “Agua de río Caluguro en Caluguro” (70,80 puntos).

Con respecto a los cuerpos hídricos con calidad de agua “Buena” según WQINSF, se encuentran las muestras “Agua de Río Byron” (84,77), “Agua de Río Byron quebrada las Moras” (79,29) y “Agua de Río Raspas” (74,50). Sin embargo, hay que notar que el pH de la muestra “Agua de río Byron quebrada Las Moras” tiene un resultado pH ligeramente ácido igual a 5,46 lo que dificulta de cierta manera el empleo del líquido vital para recreación o agua potable por la ligera acidez. Esta acidez puede deberse a las recientes actividades mineras encontradas en el sector en donde se tomó la muestra.

La calidad más baja de la cuenca hídrica reflejada en el río Buenavista se debe a la **acidificación** del cuerpo de agua. De acuerdo con los resultados obtenidos por el laboratorio acreditado, se reflejó un resultado de un pH igual a 5,18. Eso puede estar siendo ocasionado por procesos de infiltración desde las zonas de cultivo de banano. Estas fincas continuamente aplican agroquímicos durante el proceso de cultivo y también aplican sustancias químicas en el proceso de cosecha de la fruta lo cual aporta en la modificación del pH natural tal como se observó en un estudio realizado por Victorero (2015) durante un análisis de efluentes de carácter ácido (pH = 4,1) en el procesamiento del banano.

De igual manera sucede en la muestra de Laguna de Caña. Se pudo observar que el cuerpo hídrico está deteriorado por la acidificación de sus aguas por tener un resultado de pH igual a 5,18 similar caso al río Buenavista. Contrario a una creencia popular, parámetros como el pH, dureza, color, nitritos y fosfatos aumentan en la época lluviosa (Baque *et al.*, 2016). Carrera-Villacrés *et al.*, (2018) encontró en el Río Grande (Manabí) una posible influencia de la temperatura y la reducción del caudal con el aumento de la concentración de fosfatos, Generalmente se cree que ante un mayor caudal producto de los eventos de tormenta, la mayoría de los contaminantes se diluyen en el cuerpo hídrico estudiado.

En ese contexto, lo que se ha demostrado es que durante los procesos de tormenta (época lluviosa) y durante grandes caudales las sales se disuelven por lo que durante este periodo el agua es inadecuada para el riego de cultivos (Caicedo, Balmaseda, Tandazo, Layana y Sánchez, 2019). Carrera-Villacrés *et al.*, (2018) encontraron una posible influencia de la conductividad eléctrica (se puede inferir la cantidad de iones disueltos en agua) en la sequía que afectan los equilibrios químicos de las especies de fósforos como los ortofosfatos. Mientras mayor sea la conductividad eléctrica mayor la concentración de sales (Carrera-Villacrés *et al.*, 2020)

El índice de calidad del agua del río Caluguro en el sitio Caluguro obtenido fue de “regular”. Sin embargo, en los análisis realizados se observó que el primer factor que incidió en el puntaje de calidad de agua es la presencia de Coliformes Fecales con un resultado sumamente elevado de 160000 NMP/100 ml. Según FAO (2015) la calidad del **agua se deteriora constantemente, sobre todo cerca de las áreas pobladas**. Las mayoría de los ríos del país tienen una preocupante presencia de microorganismos patógenos. Esto puede explicarse debido a que cuenca arriba de este cuerpo hídrico no se tratan las aguas residuales de los asentamientos humanos.

Al comparar estos resultados con los demás cuerpos hídricos de la unidad hidrográfica del río Santa Rosa corresponde al valor más alto de las muestras analizadas lo que también se ha reflejado en una reducida cantidad Oxígeno Disuelto por tener un porcentaje de saturación muy baja de 65,59 % comprometiendo la vida acuática.

La principal y mayor aportante de contaminantes al río Santa Rosa es la actividad minera, especialmente la asentada en el sector El Guayabo. En este sitio se encuentran la mayoría de las concesiones mineras que descargan drenaje ácido proveniente de las galerías y relaves mineros producto del procesamiento de beneficio de material metálico (Angamarca, Valarezo y Zea, 2020).

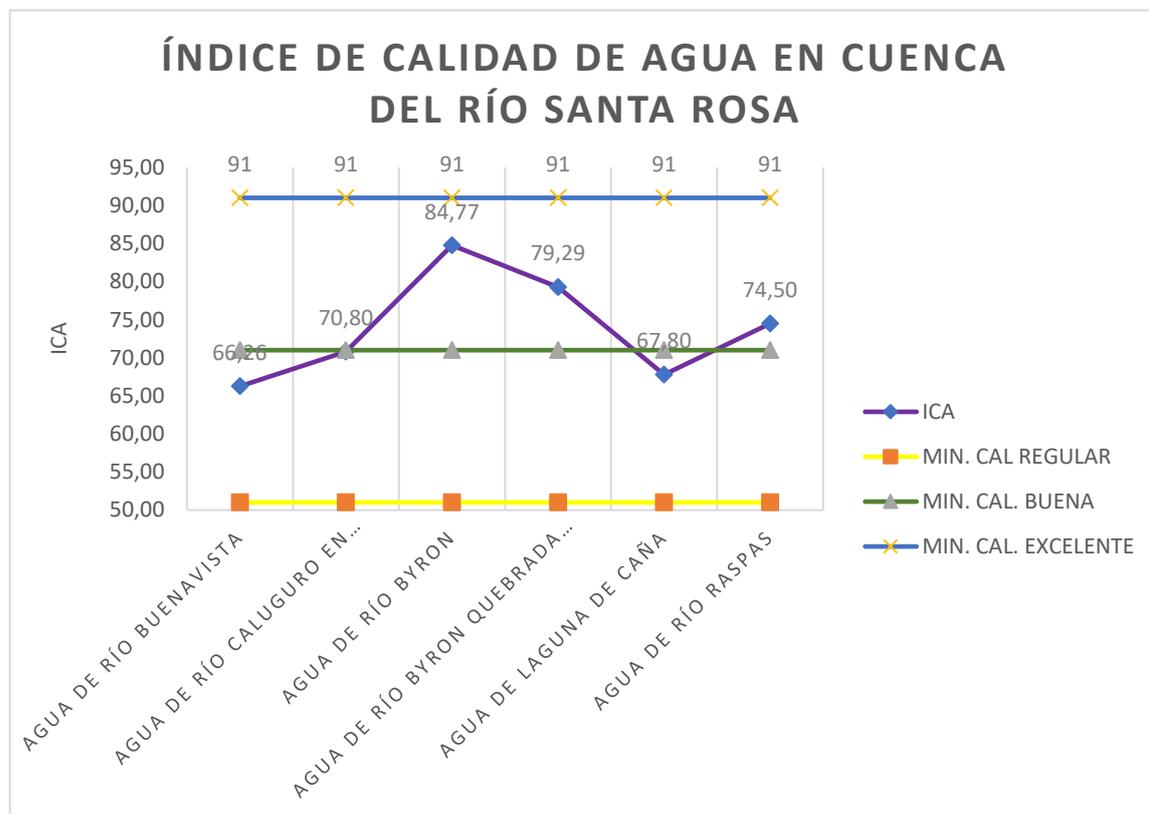
Este grupo de cuerpos hídricos incumplen con la normativa ecuatoriana establecida en el anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria ya que los parámetros analizados incumplen con los criterios de calidad de aguas para consumo humano, preservación de la vida acuática y para fines recreativos establecidos en la tabla 1, 2 y 5 de la referida norma.

Según Villegas (1995) el nivel mínimo de oxígeno disuelto para la conservación de la vida acuática es de 5 mg/l. En ese contexto, cabe destacar que la normativa ambiental del Ecuador exige un valor aproximado. La tabla 1 de límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que solo necesitan tratamiento convencional detalla que el oxígeno disuelto no debe ser menos a 6 mg/l.

En la Figura 21 se detalla los resultados del índice de la calidad de agua para la unidad hidrográfica del río Santa Rosa.

Figura 21.

Índice de la calidad del agua de la U.H. del río Santa Rosa



Con respecto a los parámetros que no se consideraron dentro del WQINSF Brown *et al.*, (1970) señalaban que, para aguas que se presuman contaminadas con plaguicidas y elementos tóxicos, eran necesarios procedimientos especiales. Por ejemplo, para pesticidas, de cualquier tipo, si el contenido total detectable de la muestra evaluada excedía en 0,1 mg/l (100 ppm), el agua automáticamente debía calificarse con el cero y el valor más bajo de la escala del índice de calidad de agua.

El procedimiento sugerido para incluir a elementos tóxicos en el índice de la calidad del agua podría ser establecer un límite máximo para cada elemento. Si algún elemento tóxico supera el límite máximo permisible, el índice de la calidad del agua automáticamente se debería marcar en cero. Estos límites máximos permisibles a ser

considerados pueden ser los Estandar para Agua de Consumo del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de Norteamérica.

Bajo este criterio, y según la discusión realizada entre los resultados obtenidos en este trabajo y la bibliografía analizada, se puede inferir que para un río con un alto grado de complejidad e intervención pueden resultar mas precisos los índices de contaminación. O en su defecto, realizar una aproximación superadora de este trabajo en donde se pueda incorporar los criterios expuestos por Brown *et al.*, (1970). La importancia de este trabajo radicó en el analisis de las factibilidades técnicas, presupuestarias y metodologicas para evaluar las unidades hidrográficas de la provincia de El Oro.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En la cuenca del río Jubones, los cuatros cuerpos hídricos muestreados catalogados con los nombres “Agua de río Jubones en la Iberia”, “Agua de río Casacay”, “Agua de río Chillayacu” y “Agua natural vertiente Pilliguro Chilla”, se obtuvieron valores de “Buena” Calidad de Agua.

La cuenca del río Siete en donde se obtuvo la muestra en el cuerpo hídrico del mismo nombre, se calculó un Índice de Calidad de Agua catalogado como “Regular” relacionada a las actividades mineras.

Respecto a la cuenca del río Santa Rosa las muestras catalogadas como “Agua de río Byron”, “Agua de río Byron quebrada Las Moras” y “Agua de río Raspas” tienen una “Buena” calidad de agua. Sin embargo, las muestras tomadas como “Agua de río Buenavista”, “Agua de río Caluguro en Caluguro”, “Agua de Laguna de Caña” y “Agua de río Raspas” se consiguieron una calidad de tipo “Regular” reflejadas por la actividad bananera e inadecuado manejo sanitario de las actividades humanas.

La cuenca alta de la cuenca hidrográfica Puyango-Tumbes, en particular la unidad hidrográfica estudiada dentro de la jurisdicción de la provincia de El Oro se encuentra altamente contaminada producto de la actividad e industria minera. El resultado obtenido mediante el WQINSF de 2 muestras como agua de calidad regular y 7 como buena, se debe a que la metodología para el cálculo de estos índices no toma en consideración parámetros como los metales pesados o metaloides. El aporte contaminante de estos últimos es el responsable del

deterioro de la calidad del agua de los puntos muestrales para la unidad hidrográfica del río Puyango.

En la cuenca del río Puyango se determinó que las muestras “Agua de río Luis entre Morales y Portovelo”, “Agua de río Luis”, “Agua de Río de Unión Calera y Amarillo”, “Agua de Río de Unión Calera y Río Pindo”, “Agua de Unión de río Pindo y Río Luis”, “Agua de Río Moromoro” y “Agua de Río Bosque Petrificado de Puyango” tienen un Índice de Calidad de Agua catalogada como “Buena”. Pero dos muestras con el nombre “Agua de Río Balsas Puyango” y “Agua de río unión Moromoro y río Balsas” tienen un Índice de Calidad de Agua tipo “Regular” generada por un lado por los efluentes de las plantas de beneficio de minerales situadas junto al río Calera y por las actividades pecuarias junto al río Balsas y Moromoro.

Los parámetros que influyeron en la calidad de agua fueron los coliformes fecales y porcentaje de saturación de oxígeno, los cuales están relacionados con contaminación por aguas residuales y por otro lado la Demanda Química de Oxígeno y Turbidez que están concatenados por sustancias xenobióticas generados por las actividades mineras.

Los resultados del cálculo del índice de calidad del agua de NSF de los 4 ríos de la provincia de El Oro podrían inducir a errores de interpretación debido a la unidad muestral. Debido a los efectos de la pandemia de COVID 19 sobre los presupuestos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, los muestreos carecieron de un modelo pareado que analice los puntos predeterminados, pero en distintas épocas del año, sobre todo en 2 condiciones claramente definidas: época de estiaje y temporada de tormentas.

Según Jimenez y Vélez (2006) un muestro único que no considere la simultaneidad de la información recopilada puede inducir a errores de interpretación.

Esto no significa que el resultado sea erróneo, sino que se debe prestar especial atención a la interpretación de los índices con respecto a la periodicidad del muestreo. Si las muestras fueron tomadas durante el periodo de tormenta, para subsanar lo expuesto, se debe emprender una próxima campaña de muestreos que complementa este estudio enfocándose en la época de estiaje en los meses de junio-julio-agosto-septiembre-octubre-noviembre.

Recomendaciones

Las autoridades de control deben hacer un seguimiento de las actividades agrícolas y mineras que afectan constantemente a la calidad del agua de los cuerpos hídricos emplazadas en los ríos Siete y Puyango.

Se debe reconsiderar la aplicación, para el plan de monitoreo de la calidad del agua de los ríos de la provincia de El Oro, un índice de contaminación que describa el grado de contaminación y este acorde con el uso potencial del recurso hídrico.

Es necesario ejecutar monitoreos permanentes y de ser posibles automáticos en los cuerpos hídricos de la provincia de El Oro para que pueda compararse la calidad de agua no solamente en el cualquier momento del tiempo sino de manera continua en diferentes calendarios de tiempo con el objeto de evaluar en distintitos tiempos la evolución de la calidad del agua.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, sobre la base del artículo 26, numeral 6 y 8 del Código Orgánico del Ambiente, debe implementar un plan de Monitoreo de la Calidad del Agua que conste de estaciones fijas de muestreo, por lo menos para las 4 unidades hidrográficas más importantes, con una periodicidad mínima de 2 veces al año (temporada de tormentas y estiaje) y de parámetros fisicoquímicos, biológicos, presencia de plaguicidas, metaloides y metales. De esta manera, se podrá realizar el cálculo de un índice de la calidad del agua o índice de

contaminación, según corresponda, y que dichos resultados sean comparables al haberse considerado la misma metodología, las mismas estaciones de muestreo, misma época del año y las mismas variables.

Se debe entablar capacitaciones permanentes a las diferentes representantes de las actividades agrícolas y mineras con el fin de sensibilizar las afectaciones que pueden ocasionar a la salud y al ambiente si no aplican buenas prácticas ambientales.

En comunidades localizadas en cuencas altas en donde existen problemas de contaminación de cuerpos hídricos o de déficit hídrico para consumo se pueden implementar los atrapanieblas. Según Carrera-Villacrés *et al.*, (2017) los prototipos han obtenido resultados prometedores como la recolección diaria de 5 a 10 litros de agua por cada atrapaniebla, y alrededor de 20 litros por día durante la temporada de lluvias.

Bibliografía

- Angamarca, D., Valarezo, L., & Zea, G. (2020). *Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del río Santa Rosa, provincia El Oro*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arevalo, M., & Ortega, A. (2019). *Gestión Ambiental*. Madrid, España: SINTESIS S.A.
- Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuer, E., & Andreoli, Y. (2006). Calidad de agua para el consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *Revista de investigaciones agropecuarias*.
- Ball, R., & Church, R. (1980). Water quality indexing and scoring. *Journal of the environmental engineering division*, 757-771.
- Baque, R., Simba, L., González, B., Suatunce, P., Diaz, E., & Cadme, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón del Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 109-117.
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. CRC Press.
- Beamonte, E., Casino, A., & Veres, E. (2004). Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la comunidad Valenciana. *Estadística española*, 357-384.
- Behar, R., Zúñiga, M., & Rojas, O. (1997). Análisis y valoración del índice de la calidad del agua (ICA) de la NSF: caso río Cali y Meléndez. *Facultad de Ingeniería Universidad del Valle*.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & O'connor, M. (1972). *A water quality index- Crashing the psychological barrier*. Michigan, Estados Unidos de Norteamérica.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A water quality index- Do we dare? *Water and sewage works*.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A water quality index- Do we dare? *Simposio Nacional de instrumentación y datos para la gestión de la calidad del agua*. Madison, Estados Unidos de Norteamérica: Universidad de Wisconsin.
- Caicedo, O., Balmaseda, C., Tandazo, J., Layana, E., & Sánchez, V. (2019). Calidad para el riego de las aguas del río San Pablo, cantón Babahoyo, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Canter, L. (1998). *Manual de evaluación de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. McGraw-Hill.
- Cardona, A., Faustino, J., Jiménez, F., & Velásquez, S. (2003). *Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras*. Turrialba, Costa Rica.
- Carrera-Villacrés, D. (2011). *Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica del río Verde- Matehuela, San Luis Potosí*. Montecillo, México: Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Carrera-Villacrés, D., Guerrón, E., Cajas, L., Gonzalez, T., Guaman, E., & Velarde, P. (2018). Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el río Grande, cantón Chone. *Congreso de Ciencia y Tecnología*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- Carrera-Villacrés, D., Guevara, P., Tamayo, L., & Guallichico, D. (2015). Análisis multivariado de las aguas de la Subcuenca del río Ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola. *X Congreso de*

- ciencia y tecnología* (págs. 123-129). Quito: ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas).
- Carrera-Villacrés, D., Lieva, C., Zapata, M., Aguirre, E., Díaz, M., Galarraga, L., & Jaramillo, A. (2020). Dynamic model and geospatial study for soil loss in the ancestral community of La Toglla. *International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. LACCEI*.
- Carrera-Villacrés, D., Robalino, I., Rodriguez, F., Sandoval, W., Hidalgo, D., & Toulkeredis, T. (2017). An innovative fog catcher system applied in the andean communities of Ecuador. *American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1917-1923*.
- Castillo, E., & Sentis, F. (2001). *Agrometeorología*.
- Castro, M. (2019). *Los 15 países más contaminados del mundo*.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Sanitaria*.
- CISPDR. (2016). *Plan Hidráulico Regional de la Demarcación Hidrográfica Jubones*. Machala, Ecuador: Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research.
- Colomb, B., Kiniry, J., & Debaeke, P. (2000). Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown Maize. *Journal Agronomy, 428-499*.
- Conant, J., & Fadem, P. (2011). *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Hesperian.
- Crespi, M., & Huertas, J. (1986). Determinación simplificada de la demanda química de oxígeno por el método del dicromato. *Boletín del Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial, 89-97*.
- Deininger, R., & Maciunas, J. (1971). *A water quality index for public water supplies*. Michigan, Estados Unidos de Norteamérica: University of Michigan.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. C. (2002). *Gestión de agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Santiago de Chile, Chile: Recursos Naturales e Infraestructura: CEPAL.
- Effendi, H., & Romanto, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung river, Banten province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences, 228-237*.
- Espín, D., Jarrín, J., & Escobar, O. (2017). Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto río Blanco. *Ciencias de seguridad y defensa, 1-13*.
- FAO. (2015). *AQUASTAT Perfil de país - Ecuador*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Felsot, A. (1992). *Measuring water quality*. Illinois, Estados Unidos de Norteamérica: Agricultural experiment station.
- Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Indices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICOs) del agua. En N. Fernandez, & F. Solano, *Indíces de calidad y de contaminación del agua* (págs. 43-113). Bogota, Colombia: Universidad de Pamplona.
- Fernandez, N., Ramirez, A., & Solano, F. (2012). Physico-chemical water quality indices - a comparative review. *Bistua*.
- FUNSAD. (2001). *La pequeña minería del oro: impactos en el ambiente y la salud humana en la cuenca del Puyango, sur del Ecuador*. Quito, Ecuador: Fundación Salud, Ambiente y Desarrollo - CIID.
- García, H. (2017). Índice de vulnerabilidad del recurso hídrico con fines de riego en la cuenca hidrográfica del río Naranjo, Cuba. *Revista geográfica de América central, 315-330*.
- Garzón-Santomaro, C., Prieto-Albuja, C., Brito, J., & Mena-Jaén, J. (2019). *Propuesta para el establecimiento del subsistema de áreas naturales de conservación y*

- diseño del corredor ecológico de la provincia de El Oro. Quito, Ecuador: GADPEO-INABIO.
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquía, Colombia*. Antioquía.
- Guerra, M. (2010). *La agonía del Puyango: agua, minería y contaminación*.
- Guillén, V., Teck, H., Kohlmann, B., & Yeomans, J. (2012). Microorganismos como bioindicadores de la calidad del agua. *Tierra tropical: sostenibilidad, ambiente y sociedad.*, 65-93.
- Hruschka, F., & Salinas, C. (1996). *Estudio Colectivo de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental de las Plantas de Beneficio Mineral Aurífero ubicadas en la Vega del río Calera/Salado*. Zaruma, Ecuador: CENDA-COSUDE Projekt Consult.
- ICB Editores. (2017). *Calidad del aguas: Usos y aprovechamiento*. . Málaga, España.: ICB Editores.
- Industrial, M. (2017). www.aguasresiduales.info. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/las-formas-multiples-del-nitrogeno>
- Jena, V., Dixit, S., & Gupta, S. (2013). Assessment of water quality index of industrial area surface water samples. *International Journal of ChemTech Research*, 278-283.
- Jimenez, M., & Vélez, M. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, 53-69.
- La Hora. (2009). Continúa contaminación de río en el El Oro. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/920698/continua-contaminacion-de-ros-en-el-oro>
- La Hora. (2010). Sigue contaminación en río Calaguro. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101032885/sigue-contaminacion-en-rc3ado-caluguro>
- León, A. (2016). *Evaluación de la calidad del agua del río Siete en el sector minero del cantón Camilo Ponce Enriquez, provincia del Azuay*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.
- MacDonald, G. (1971). Uses of environmental indices in policy formulation. En *Indicators of environmental quality* (págs. 15-21). Philadelphia: William Thomas.
- MAE. (2013). *Acuerdo ministerial sobre lineamientos de gestión para la conectividad con fines de conservación*. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155307.pdf>
- MAE. (2013). *Sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MAE. (2014). *Ordenamiento ambiental integral en la cuenca del río Puyango*. Quito, Ecuador: Subsecretaría de Calidad Ambiental - Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MAE. (2016). *Pasivos ambientales y reparación integral: experiencias de gestión en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Maldonado, G., & Cisneros, M. (2014). *Monitoreo de la calidad del agua del río Malacatos, tramo comprendido desde los Dos Puentes hasta el sector de Sauces Norte*. Loja, Ecuador: UTPL.
- Malina, J. (1996). Water quality. En L. Mays, *Water resources handbook*. McGraw-Hill.
- Mancomunidad del río Jubones. (2012). *Agua y gobernanza: apoyo para el desarrollo de los municipios de la mancomunidad de la cuenca del río Jubones*. Machala, Ecuador: Fons Valencia per la Solidaritat - SENAGUA.
- Marín, S., & Pineda, E. (2011). *Aporte dinámico de cianuro, mercurio, plomo y arsénico en los cauces naturales de los río Calera y Amarillo en el distrito minero*

- Portovelo-Zaruma*. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja UTPL.
- Mason, L., Amrhein, C., Goodson, C., Matsumoto, M., & Anderson, M. (2005). Reducing sediment and phosphorus in tributary waters with alum and polyacrylamide. *Journal Environmental Quality*, 1998-2004.
- Merchán, S. (2006). *Contaminación del agua del río Jubones y su incidencia en las enfermedades de la piel de la población de La Iberia, cantón El Guabo*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala .
- Metcalf, J. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. . *Environmental pollution*, 101-139.
- Misaghi, F., Delgosha, F., Razzaghmanesh, M., & Myers, B. (2017). Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: a case of study of the Ghezel Ozan River. *Science of the Total Environment*, 107-116. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717304916?via%3Dihub>
- Mitchell, M., Stapp, W., & Bixby, K. (1991). *Manual de campo del Proyecto de río: Una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo*. New Mexico, USA: Proyecto del Río.
- Mite, R., Ochoa, L., Osorio, B., Suatunce, P., Ocampo, E., & Arevalo, L. (2016). Calidad de agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia Unemi*, 109-117. doi:<http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/357>
- Naciones Unidas. (2018). *La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: CEPAL.
- OMS. (1998). *Guías para la calidad de agua potable: vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Ongley, E. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de recursos hídricos*. . Roma, Italia. : FAO.
- OPS. (2020). *Cada año mueren 126 millones de personas a causa de la insalubridad del medio ambiente*. Organización Panamericana de Salud. Obtenido de https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1691:cada-ano-mueren-126-millones-de-personas-a-causa-de-la-insalubridad-del-medio-ambiente-revela-el-informe-de-la-oms&Itemid=360
- Ott, W. (1978). *Environmental indices: theory and practice*.
- Ott, W. (1981). *Environmental index: theory and practice*. . Michigan, Estados Unidos de Norteamérica: Ann Arbor Science Publishers Inc.
- Pathack, S., & Bhattacharjee, J. (1994). Effect of pollutants on survival of *Escherichia coli* in microcosm of river water. *Bulletin environmental contamination and toxicology*, 198-203.
- Perez-Osorio, G., Arriola-Morales, J., García, T., Saldana, M., & Mendoza, J. (2016). Assessment of the quality of the water of four jagueyes in the state park "Flor del Bosque". . *Ra Ximhai*, 153-168.
- Pontón, R., & Ramirez, M. (2018). *Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Piñas mediante los índices ICA y BMWP*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- PRODEMINCA. (1998). *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el Sur del Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio de Energía y Minas.
- Quiroz, L., & Izquierdo, E. M. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*.

- Ramos, L. (2006). *Caracterización de la calidad del agua del río Jubones por medio de los parámetros DQO, pH y temperatura, en el trayecto Tres Cerritos-Pasaje*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Reolon, L. (2010). *Programa de formación Iberoamericano en materia de aguas*. Buenos Aires, Argentina. .
- Roberto, R. (2009). *La problemática global del agua*. El Cid.
- Saborio, J. (2009). Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral. *Revista Geográfica de América Central*, 25-35.
- Sandoval-Moreno, A., & Ochoa, M. (2010). Grupos locales, acceso al agua y su problemática de contaminación en la ciénega de Chapala, Michoacán. *Economía, sociedad y territorio*, 683-719.
- SENAGUA. (2011). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador*. Quito: UICN-SENAGUA y Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of water quality using WQI (water quality index) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*, 131-144.
- Seoáñez, C. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Mundi-Prensa.
- Seoáñez, M. (1999). *Ingeniería del medioambiente aplicada al medio natural continental*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Shrestha, S., & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmentl modelling & software*, 464-475.
- Shweta, B., & Prashant, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 34-38.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Sello editorial de la Universidad de Medellín.
- Solis, H. (1993). Abastecimiento de agua: problemática de los recursos hídricos. . *Clases de manejo de Cuencas*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Stambuk-Giljanovic, N. (1999). Water quality evaluation by index in Dalmatia. *Elsevier Science*, 3423-3449.
- Stevenson, S. (1999). Aquatic habitat assessment: common methods. *American fisheries Society*.
- Swedish Environmental. (1996). *Monitoreo ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*. UCP PRODEMINCA.
- Terrado, M., Barceló, D., Tauler, R., Borrell, E., & De campos, S. (2010). Surface water quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks. *Trends in analytic chemistry*, 40-52.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 34-38.
- UNESCO. (2017). *Día mundial del agua 2017: Las aguas residuales, el recursos desaprovechado*. UNESCO. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2017/>
- Vaca, F., & Pozo, W. (2014). *Evaluación ambiental de la calidad del agua del río Santa Rosa y lineamientos para un plan ambiental*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Valdiviezo-Rivera, J., Garzón-Santomaro, C., Inclán, D., Mena-Jaén, J., & González, D. (2018). *Ecosistemas dulceacuícolas de la provincia de El Oro: Peces y macroinvertebrados acuáticos indicadores biológicos del páramo al manglar*. Quito, Ecuador: GADPEO-INABIO.
- Valverde, P., & Galarza, B. (2012). *Caracterización geoquímica e isotópica del agua superficial y subterránea en el área de influencia del río Siete y de las*

- actividades mineras en el distrito minero de Ponce Enriquez*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.
- Vereda, Q. (2008). *Calidad de aguas*. Tolima, Colombia.: Universidad de Tolima. .
- Victorero, R. (2015). *Propuesta de tratamiento de efluentes del proceso de embalaje de banano para exportación en el cantón La Maná*. Quevedo, Ecuador: UTEQ.
- Villegas, J. (1995). *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad*. Turrialba, Costa Rica: CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza).
- Vite, H., Vargas, O., Vargas, L., & Vargas, J. (2018). *Internet de las cosas aplicado a la producción agropecuaria*. Guayaquil, Ecuador: COMPAS.
- Wills, M., & Irvine, K. (1996). *Application of the national sanitation foundation water quality index in Cazenovia Creek*. Mid. States Geograph.

Anexos

Anexo 1: Permiso del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro para usar datos tomados en campo

Anexo 2: Mapa de muestreo

Anexo 3: Reporte de laboratorio acreditado de las muestras realizadas

Anexo 4: Cálculo del Índice de Calidad de Agua de muestras tomadas en campo

Anexo 5: Mapa de Índices de Calidad de Agua en ríos de la provincia de El Oro

Anexo 6: Registro fotográfico de áreas de estudio