

Determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO's) desde el nacimiento del río de oro hasta la desembocadura del Río Lato del Hato en el municipio de Piedecuesta, Santander.

Julio César Calvo Corredor

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

Luís Javier López Giraldo

PhD. Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Maestría en Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios por darme una nueva oportunidad para finalizar mi estudio de posgrado.

A mi familia por su apoyo incondicional, en especial a mi esposa Yaneth por su amor, a mis hijos que son el motor que me impulsan a cumplir mis metas.

A mi suegra Carmen López q.e.p.d. porque sé que desde donde este, ella está orgullosa de mí.
Te dedico este triunfo con gran cariño y aprecio.

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander por darme una nueva oportunidad de culminar estos estudios.

Al Doctor Luis Javier López Giraldo, por toda su ayuda y orientación.

A los doctores Crisóstomo Barajas y Humberto Escalante por su apoyo y ayuda incondicional.

Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción | 15 |
| 1. Planteamiento del Problema | 16 |
| 2. Justificación | 17 |
| 3. Objetivos..... | 18 |
| 3.1 Objetivo General..... | 18 |
| 3.2 Objetivos Específicos..... | 18 |
| 4. Cuerpo del Trabajo | 19 |
| 4.1 Marco Legal | 19 |
| 4.2 Marco Teórico – Conceptual | 24 |
| 4.2.1 Índice de Calidad del Agua (ICA). | 25 |
| 4.2.2 Cálculo del valor de cada variable. | 28 |
| 4.2.3 Índices de Contaminación (ICO's). | 33 |
| 5. Metodología del Proyecto | 36 |
| 6. Resultados Obtenidos..... | 40 |
| 7. Calculo de los índices de calidad y contaminación | 46 |
| 7.1 Índices de calidad del agua ENA 2010 y ENA 2014. | 46 |
| 7.2 Índices de contaminación – ICO's..... | 51 |
| 7.2.1 Índice de Contaminación por Mineralización - ICOMI..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 7.2.2 Índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO..... | 53 |
| 7.2.3 Índice de contaminación por solidos suspendidos totales – ICOSUS | 55 |
| 7.2.4 Índice de Contaminación por fosforo total – ICOTRO. | 56 |
| 7.2.5 Índice de contaminación por pH – ICOpH | 58 |
| 8. Conclusiones..... | 60 |
| 9. Recomendaciones | 63 |
| Referencias Bibliográficas | 65 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|--|-------------|
| <i>Figura 1.</i> Esquema red hidrográfica del departamento de Santander..... | 25 |
| <i>Figura 2.</i> Localización de los sitios de muestreo..... | 37 |
| <i>Figura 3.</i> Georreferenciación de los sitios de muestreo..... | 40 |
| <i>Figura 4.</i> Resultados de parámetros in situ..... | 41 |
| <i>Figura 5.</i> Resultados de parámetros en el laboratorio..... | 41 |
| <i>Figura 6.</i> Variación del pH en los sitios de muestreo..... | 42 |
| <i>Figura 7.</i> Variación de la temperatura de la muestra y del ambiente..... | 43 |
| <i>Figura 8.</i> Variación del oxígeno disuelto..... | 44 |
| <i>Figura 9.</i> Variación de la conductividad..... | 45 |
| <i>Figura 10.</i> Variación de la turbiedad..... | 46 |
| <i>Figura 11.</i> Valores de los índices calculados..... | 48 |
| <i>Figura 12.</i> Índices de calidad ICA y clasificación de las aguas..... | 48 |
| <i>Figura 13.</i> Comportamiento del ICA según ENA 2010..... | 50 |
| <i>Figura 14.</i> Comportamiento del ICA según ENA 2014..... | 50 |
| <i>Figura 15.</i> Cálculo y valoración del ICOMI..... | 51 |
| <i>Figura 16.</i> Comportamiento del ICOMI en el río de Oro..... | 52 |
| <i>Figura 17.</i> Cálculo y valoración del ICOMO..... | 53 |
| <i>Figura 18.</i> Comportamiento del ICOMO en el río de Oro..... | 54 |

| | |
|---|----|
| <i>Figura 19.</i> Cálculo y valoración del ICOSUS..... | 55 |
| <i>Figura 20.</i> Comportamiento del ICOSUS en el río de Oro..... | 56 |
| <i>Figura 21.</i> Cálculo y valoración del ICOTRO..... | 57 |
| <i>Figura 22.</i> Cálculo y valoración del ICOpH..... | 58 |
| <i>Figura 23.</i> Comportamiento del ICOpH en el río de Oro..... | 59 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. <i>Variables y ponderaciones para cálculo ICA ENA 2010 (IDEAM)</i> | 27 |
| Tabla 2. <i>Variables y ponderaciones para cálculo ICA ENA 2014</i> | 28 |
| Tabla 3. <i>Calificación de la calidad del agua - ICA</i> | 31 |
| Tabla 4. <i>Clasificación del índice de contaminación.</i> | 36 |
| Tabla 5. <i>Técnicas de análisis utilizadas.</i> | 39 |
| Tabla 6. <i>Resultados obtenidos para calcular ICA.</i> | 47 |

Glosario

Afluente: agua que llega o ingresa a un proceso.

Aguas Residuales Domésticas (ARD): son aquellas que proceden de las actividades que se desarrollan en las áreas residenciales.

Aguas Residuales no Domésticas (ARnD): son aquellas que proceden de las actividades industriales, comerciales, o de servicios que sean distintas a aquellas generadas por actividades domésticas.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB): entidad de carácter público encargada de la ejecución de políticas, planes, programas y proyectos en materia ambiental.

Efluente: agua que sale de un sistema o planta de tratamiento en mejores condiciones.

Estudio Nacional del Agua (ENA): documento misional que Informa periódicamente el estado y dinámica del agua y los recursos hídricos en Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiental (IDEAM): Institución pública de apoyo técnico y científico al Sistema Nacional Ambiental, que genera conocimiento, produce información sobre el estado y la dinámica de los recursos naturales y el medio ambiente.

Índice de Calidad del Agua (ICA): es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de variables (porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos

totales, demanda química de oxígeno, conductividad, potencial de hidrógeno, nitrógeno total, fósforo total), registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

Piedecuestana de Servicios Públicos ESP: empresa de servicios públicos del municipio de Piedecuesta.

Río de Oro: Subcuenca hidrográfica localizada en el municipio de Piedecuesta, departamento de Santander.

Río Lato del Hato: Subcuenca hidrográfica localizada en el municipio de Piedecuesta, departamento de Santander.

Resumen

Título: Determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO's) desde el nacimiento del río de oro hasta la desembocadura del Río Lato del Hato en el municipio de Piedecuesta, Santander*.

Autor: Julio César Calvo Corredor.**

Palabras Clave: Índice de calidad, índice de contaminación, río de oro, agua superficial y calidad del agua.

Descripción

En este proyecto se determinaron los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO's) desde el nacimiento del Río de Oro hasta aguas abajo de la desembocadura con el Río Lato del Hato en el municipio de Piedecuesta Santander. Para tal fin, se establecieron 13 sitios de monitoreo los cuales fueron escogidos teniendo en cuenta su ubicación dentro del casco urbano y en los tributarios del río de Oro, el fácil acceso vehicular, la seguridad en los sitios establecidos y la importancia de las actividades antrópicas que allí se ejecutan. Posteriormente, se estableció un protocolo de muestreo donde se escogieron los parámetros necesarios para calcular el índice de calidad propuesto por el IDEAM en los estudios nacionales del agua ENA 2010 y ENA 2014, los cuales incluyen 5 y 6 parámetros y los índices ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOpH e ICOTRO propuestos por Ramírez et al; las muestras fueron analizadas por un laboratorio acreditado en ISO 17025, como lo es el CEIAM de la UIS, con el fin de dar fe en la calidad de los datos producidos.

Se puede establecer a partir de los resultados obtenidos que el río de Oro en el tramo de estudio cuenta con la capacidad de recuperarse por sí mismo, aunque recibe las aguas residuales del sistema de tratamiento El Santuario de propiedad de la empresa de servicios públicos del municipio de Piedecuesta. Los valores obtenidos en los índices de calidad ENA 2010 y ENA 2014 muestran que las aguas superficiales del río de Oro está en buena y luego de recibir la descarga del Sistema de tratamiento proveniente de la quebrada Soratoque que es mala se considera regular lo cual indica que efectivamente si se empieza a depurar sola.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Maestría en Ingeniería Ambiental Director: Luis Javier López Giraldo PhD. Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Abstract

Title: Determination of the water quality and pollution indexes (ICA and ICO's) from the birth of the gold river until the drought of the Lato river of the Hato in the municipality of Piedecuesta, Santander*.

Author: Julio Cesar Calvo Corredor**

Keywords: Quality Index, Contamination Index, Gold River, Surface Water And Water Quality.

Description:

In this project the water quality and pollution indexes (ICA and ICO's) were determined from the source of the Río de Oro to downstream of the mouth with the Lato del Hato River in Piedecuesta Santander. To this end, 13 monitoring sites were established which were chosen taking into account their location within the urban area and in the tributaries of the Rio de Oro, easy vehicular access, security at established sites and the importance of anthropic activities that run there. Subsequently, a sampling protocol was established where the necessary parameters were chosen to calculate the quality index proposed by IDEAM in the national water studies ENA 2010 and ENA 2014, which include 5 and 6 parameters and the ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOpH and ICOTRO

The samples were analyzed by an ISO 17025 accredited laboratory, as is the CEIAM UIS, in order to attest to the quality of the data produced. It can be established from the results obtained that the Río de Oro in the study section has the capacity to recover on its own, although it receives wastewater from the El Santuario treatment system owned by the municipality's public services company of Piedecuesta. The values obtained in the quality indexes ENA 2010 and ENA 2014 show that the surface waters of the Rio de Oro are in good condition and after receiving the discharge of the treatment system from the Soratoque creek that is bad, it is considered to be regular which indicates that indeed if it starts to purify itself. As for the ICO's, there is no significant alteration due to mineralization as observed in the calculation of ICOMI, as is the ICOpH, the other indices ICOMO, ICOSUS and ICOTRO if they reflect variations which may be due to anthropic activities and possible effect of municipal dumping.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Maestría en Ingeniería Ambiental Director: Luís Javier López Giraldo PhD. Química, Bioquímica y Ciencia de Alimentos

Introducción

El plan de gestión ambiental de muchas entidades encargadas del manejo y control de los recursos hídricos incluye generalmente la planificación del mismo, con miras a su conservación y aprovechamiento sostenible. Dentro del marco de políticas globales en manejo integrado del recurso hídrico, se hace indispensable conocer como un cuerpo de agua superficial, se comporta ante varias situaciones como la descarga de contaminantes en su cauce o la propia capacidad de recuperación. La importancia de conocer y evaluar estos factores permite formular planes acordes a la realidad o tener herramientas técnicas más robustas para expedir normativas más restrictivas frente al uso indiscriminado del agua y suelo.

Una herramienta de planificación del recurso hídrico, son los modelos de simulación de calidad de agua, debido a que ilustran el comportamiento real e hipotético de un cuerpo de agua frente a la contaminación o descontaminación de origen natural o antrópico. El objetivo 3 del punto VI (Plan Hídrico Nacional), de la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (PGIRH) fue presentado ante el Consejo Nacional en el año 2009, en él se propone mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico. En la estrategia 3.2 (Reducción de la contaminación del recurso hídrico) se plantea como meta general, mantener o superar el valor de 17,2% del índice de calidad del agua, promedio anual, correspondiente a la categoría “Aceptable” en los cuerpos de agua evaluados por la Red Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua del IDEAM, pertenecientes a la macrocuenca Magdalena - Cauca.

La calidad de las corrientes hídricas es determinada por parámetros fisicoquímicos a través de diferentes métodos que permiten establecer los índices de calidad del agua (ICA) y de contaminación (ICO's), por lo que el presente proyecto de investigación buscó priorizar las estrategias más viables para el cuidado de la subcuenca Río de Oro en el municipio de Piedecuesta, lo cual resultaría un aporte importante para la preservación, conservación y control del recurso hídrico, así como para establecer el uso real del recurso o su posibilidad de recuperación para un uso futuro.

El presente proyecto se propuso realizar una caracterización de la calidad del recurso hídrico, desde el nacimiento del río de Oro en el municipio de Piedecuesta, para lo cual se estableció un punto de partida aguas abajo de la bocatoma que realiza la empresa de servicios públicos domiciliarios, Piedecuestana de Servicios Públicos ESP, hasta aguas abajo de la confluencia del río Lato del Hato, en trece (13) sitios de monitoreo que fueron escogidos estratégicamente para estimar el comportamiento de la calidad del agua a medida que avanza sobre un costado del municipio y además porque la CDMB como entidad ambiental no tiene contemplado estos sitios dentro de la red de monitoreo de calidad ambiental.

1. Planteamiento del Problema

El Río de Oro nace en el Alto el Picacho, pertenece a una de las ocho (8) subcuencas del Río Lebrija, y hace parte de la red de monitoreo de agua en jurisdicción de la CDMB. La subcuenca tiene un área total de 56.940 hectáreas, encontrándose además en el corredor de alta montaña de la

cordillera oriental, entre los 3.500 y los 900 m.s.n.m., los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Tona comparten el borde urbano con la subcuenca.

La CDMB realizó un manejo administrativo del Río de Oro, subdividiéndolo en cinco (5) microcuencas denominadas: Oro Alto, Oro Medio, Oro Bajo, Río Lato y Río Frío.

Esta fuente hídrica, abastece a los municipios de Floridablanca y Piedecuesta en sus acueductos urbanos para el uso y consumo de agua doméstica, así como para otras actividades agropecuarias e industriales; pero durante los últimos años, el incremento de asentamientos urbanos cerca de la subcuenca ha producido el aumento de aguas residuales y residuos sólidos, causando graves impactos a la salud de los habitantes, el medio ambiente y la productividad económica del área de estudio.

Por tal razón se indaga si ¿Es posible emplear índices de calidad de agua e índices de contaminación, para realizar un diagnóstico que permita caracterizar y evaluar el estado real del Río de Oro; estableciendo así los posibles usos del recurso y compararlos con los criterios de calidad establecidos por la autoridad ambiental competente?

2. Justificación

El propósito de este proyecto consistió en determinar los índices de calidad y contaminación del agua en diferentes tramos del Río de Oro desde su nacimiento, hasta la confluencia con el Río Lato del hato, para su posterior análisis del estado en que se encuentran estas aguas superficiales. Este estudio es importante puesto que las aguas residuales que genera el municipio de Piedecuesta son

vertidas por la planta de tratamiento El Santuario. Todo lo anterior con el objetivo de cumplir los lineamientos normativos vigentes para la protección de la fuente hídrica y sus alrededores.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Determinar la calidad del agua desde el nacimiento del Río de Oro, hasta la confluencia con el Río Lato del Hato, mediante el uso de índices de calidad y descontaminación (ICA e ICO's) en el municipio de Piedecuesta Santander.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar el agua superficial del Río de Oro desde la parte alta del municipio de Piedecuesta, hasta aguas abajo de la confluencia con el Río Lato del Hato.

Cuantificar el índice de calidad de agua ICA, ENA 2010 y ENA 2014, y los índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH en el tramo de estudio.

Modelar la calidad de agua del Río de Oro después de la confluencia con la quebrada Soratoque la cual recibe la descarga de agua residual doméstica del municipio de Piedecuesta.

4. Cuerpo del Trabajo

4.1 Marco Legal

El marco normativo colombiano agrupa un conjunto de normas, encaminadas a la administración, control, vigilancia, mejoramiento y aprovechamiento, en lo concerniente al recurso hídrico. La normatividad ambiental estudiada para este proyecto está compuesta por: La Constitución Política de Colombia, Decreto Ley 2811 de 1974, Ley 9 de 1979, Ley 99 de 1993, Ley 142 de 1994, Ley 373 de 1997,

Decreto 1594 de 1984, Decreto 3930 de 2010 modificado por el Decreto 4728 de 2010, Documento CONPES 3177 de 2002 y la Resolución 0631 de 2015.

A continuación, se describen las anteriores normas legales:

- **Constitución Política Colombiana de 1991:**

Artículo 78: La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y restados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización.

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho de gozar de un ambiente sano. La Ley garantiza la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación.

Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

- **Decreto Ley 2811 de 1974:**

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Artículo 134: Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Para dichos fines deberá:

- Controlar la calidad del agua, mediante análisis periódicos, para que se mantenga apta para los fines a que está destinada, de acuerdo con su clasificación.

- Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores y de las marinas, para asegurar la preservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies, y para mantener la capacidad oxigenante y reguladora del clima continental.

- **Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan medidas sanitarias.**

Artículo 1. Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece:

- Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana;

- Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.

Artículo 2. Cuando en esta Ley o en sus reglamentaciones se hable de aguas, se entenderán tanto las públicas como las privadas.

Artículo 3. Para el control sanitario de los usos del agua se tendrán en cuenta las siguientes opciones, sin que su enunciación indique orden de prioridad.

- a) Consumo humano;

- b) Doméstico;
- c) Preservación de la flora y fauna;
- d) Agrícola y pecuario;
- e) Recreativo;
- f) Industrial;
- g) Transporte.

Artículo 4. El Ministerio de Salud establecerá cuáles usos que produzcan o puedan producir contaminación de las aguas, requerirán su autorización previa a la concesión o permiso que otorgue la autoridad competente para el uso del recurso.

Artículo 5. El Ministerio de Salud queda facultado para establecer las características deseables y admisibles que deben tener las aguas para efectos del control sanitario.

Artículo 6. En la determinación de las características deseables y admisibles de las aguas deberá tenerse en cuenta, por lo menos, uno de los siguientes criterios:

- ✓ La preservación de sus características naturales.
- ✓ La conservación de ciertos límites acordes con las necesidades del consumo humano y con el grado de desarrollo previsto en su área de influencia.
- ✓ El mejoramiento de sus características hasta alcanzar las calidades para consumo humano y las metas propuestas para un conveniente desarrollo en el área de influencia.

Artículo 8. La descarga de residuos en las aguas deberá ajustarse a las reglamentaciones que establezca el Ministerio de Salud para fuentes receptoras.

Artículo 9. No podrán utilizarse las aguas como sitio de disposición final de residuos sólidos, salvo los casos que autorice el Ministerio de Salud.

Artículo 10. Todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de Salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente.

Artículo 11. Antes de instalar cualquier establecimiento industrial, la persona interesada deberá solicitar y obtener del Ministerio de Salud o de la entidad en quien éste delegue autorización para verter los residuos líquidos.

Artículo 17. El Ministerio de Salud o la entidad delegada adelantarán investigaciones que permitan cuantificar los niveles reales de concentración de sustancias y determinar sus escalas de biodegradabilidad.

Artículo 20. El Ministerio de Salud o la entidad que él delegue, podrá exigir la modificación, remoción o disminución de una sustancia específica y aún prohibir la fabricación, importación y consumo de cualquier sustancia en razón a su peligrosidad para la salud y el ambiente.

- **Ley 99 de 1993:** Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la Gestión y Conservación del medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, se Organiza el SINA, y se dictan otras Disposiciones.

Artículo 48: Ante la evidente crisis generada a la diversidad biológica en nuestro planeta, se considera responsabilidad inaplazable e inherente al ejercicio de estas profesiones, propender, impulsar y apoyar, todos los programas encaminados a la protección del patrimonio pecuario nacional, de los recursos naturales, de la biodiversidad, de la fauna silvestre y del medio ambiente dentro de un manejo técnico y racional.

Artículo 49: Los profesionales de las ciencias animales son responsables de sus acciones y del resultado de estas, que tengan influencia sobre los recursos del medio ambiente y la biodiversidad.

- **Ley 142 de 1994:** Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

- **Ley 373 de 1997:** Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro de agua.

- **Decreto 1594 de 1984:** Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título I de la Ley 9 de 1979], así como el [Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto Ley 2811 de 1974] en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Artículo 38: Criterios admisibles para el uso del recurso agua en consumo humano y doméstico, donde son requeridos tratamientos convencionales para la potabilización.

Artículo 39: Criterios admisibles para el uso del recurso agua en consumo humano y doméstico, donde son requeridos tratamientos de desinfección para la potabilización.

- **Decreto 3930 de 2010:** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II Del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos de agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Artículo 6: Para adelantar el proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico la autoridad ambiental competente deberá tener en cuenta:

- ✓ Los criterios de calidad y normas vigentes de vertimiento en el momento del ordenamiento.

Artículo 28: El ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, alcantarillado público y al suelo. (Se tiene en cuenta las modificaciones descritas en el Art. No. 1, Decreto 4728 de 2010).

- **Documento CONPES 3177 de 2002:** Por el cual se dictan acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales.
- **Resolución 0631 de 2015:** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Es de obligatorio cumplimiento para todas aquellas personas que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de las mismas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público.

La norma estipula 56 parámetros en 8 sectores en 73 actividades de tipo industrial, comerciales y de servicios.

4.2 Marco Teórico – Conceptual

Según López, M y Barrero J. (1997), en el atlas de Santander, las cuencas hidrográficas son unidades que encierran todos los elementos ambientales y por ello, es particularmente importante su análisis y caracterización.

Casi la totalidad del área del departamento de Santander (98%) forma parte de la red hidrográfica de la margen derecha del río Magdalena Medio, el cual está conformado por un sistema de ciénagas y por diferentes cuencas, microcuencas y ríos afluentes que drenan la vertiente occidental de la cordillera oriental. En la siguiente figura se presenta la información principal relacionada con el inventario de las cuencas hidrográficas del departamento de Santander.



Figura 1. Esquema red hidrográfica del departamento de Santander.

4.2.1 Índice de Calidad del Agua (ICA). El índice de calidad del agua en corrientes superficiales fue propuesto por el IDEAM en el año 2010, en el estudio nacional del agua, posteriormente en el 2014 la misma entidad realizó un ajuste al mismo.

El índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

Para el caso específico del presente indicador, corresponde a una expresión numérica agregada y simplificada surgida de la sumatoria aritmética equiponderada de los valores que se obtienen al medir la concentración de cinco o seis variables fisicoquímicas básicas en las estaciones de monitoreo que hacen parte de la red básica de monitoreo de calidad de agua y que evalúan la calidad del agua en las corrientes superficiales.

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación, permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). La comparación temporal de la calidad del agua calificada mediante las cinco categorías y colores simplifica la interpretación, la identificación de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades. Los valores del indicador pueden ser localizados en mapas, asociándolos al punto que identifica la ubicación de las estaciones de monitoreo.

El indicador se puede calcular con un diferente conjunto de variables medidas, cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos, de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidos los diferentes cuerpos de agua y del tipo de cuerpo de agua. Para el caso colombiano, se ha medido desde 2005, en las corrientes superficiales, un conjunto de cinco variables, a saber: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH total. A partir de 2009, en las estaciones de la Red se ha medido adicionalmente nitrógeno y fósforo totales.

La fórmula de cálculo del índice es:

$$ICA_{njk} = \sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

ICA_{njk} : Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t , evaluado con base en n variables.

W_i : Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i .

I_{ikjt} : Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada del período de tiempo t .

n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA 2010 o ICA 2014 que se seleccione.

Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo t y, además, el ICA promedio de ese periodo, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA \text{ promedio}_{njt} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt})}{m} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

m : Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador 1.

En las siguientes tablas se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplea 5 o 6 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 1.

Variables y ponderaciones para cálculo ICA ENA 2010 (IDEAM)

| Variable | Unidad de medida | Ponderación |
|----------------------------------|--------------------|-------------|
| Oxígeno disuelto, OD | % Saturación | 0,2 |
| Sólidos suspendidos totales; SST | mg/L | 0,2 |
| Demanda química de oxígeno, DQO | mg/L | 0,2 |
| Conductividad eléctrica, CE | $\frac{\mu S}{cm}$ | 0,2 |
| Potencial de hidrógeno, pH | Unidades de pH | 0,2 |

Nota. Información tomada del IDEAM

Tabla 2.

Variables y ponderaciones para cálculo ICA ENA 2014

| Variable | Unidad de medida | Ponderación |
|--|--------------------|-------------|
| Oxígeno disuelto, OD | % Saturación | 0,17 |
| Sólidos suspendidos totales, SST | mg/L | 0,17 |
| Demanda química de oxígeno, DQO | mg/L | 0,17 |
| Nitrógeno total / Fósforo total, NT/PT | - | 0,17 |
| Conductividad eléctrica, CE | $\frac{\mu S}{cm}$ | 0,17 |
| Potencial de hidrógeno, pH | Unidades de pH | 0,15 |

Nota. Información tomada del IDEAM

4.2.2 Cálculo del valor de cada variable. Cada curva indica en la ordenada la calidad del agua en una escala de 0 a 1; en la abscisa se definen varios niveles de la variable en. Cuando se toman como referencia las curvas desarrolladas por Ramírez y Viña (1997) respecto al concepto de contaminación, para traducirlo a términos de calidad el subíndice se toma como la diferencia entre uno (1) y el índice de contaminación respectivo de la magnitud de la variable.

A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia.

- **Oxígeno Disuelto (OD):** Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.

Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} :

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/L) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p : Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/L), a la presión no estándar, es decir oxígeno de saturación.

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor del índice I_{OD} se calcula de la siguiente manera:

Para porcentajes de saturación de oxígeno menores del 100%

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor a 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * PS_{OD} - 1) \quad \text{Ecuación 5}$$

- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente, dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST) \quad \text{Ecuación 6}$$

Si $SST \leq 4,5$ mg/L entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$ mg/L, entonces $I_{SST} = 0$

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo, refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica.

El índice se calcula de acuerdo a las siguientes condiciones:

Si $DQO \leq 20$ mg/L, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < \text{DQO} \leq 25 \text{ mg/L}$, entonces $I_{\text{DQO}} = 0,71$

Si $25 < \text{DQO} \leq 40 \text{ mg/L}$, entonces $I_{\text{DQO}} = 0,51$

Si $40 < \text{DQO} \leq 80 \text{ mg/L}$, entonces $I_{\text{DQO}} = 0,26$

Si $\text{DQO} > 80 \text{ mg/L}$, entonces $I_{\text{DQO}} = 0,125$

- **Conductividad Eléctrica (C.E.).** La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua conducen la corriente en muy baja escala.

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 * \text{Log}_{10} C.E.)} \quad \text{Ecuación 7}$$

- **Potencial de hidrogeno (pH).** El término pH es una forma de expresar la concentración de ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez es importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH. Los valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.

El índice de pH se determina teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

Si el $\text{pH} < 4$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,1$

Si $4 < \text{pH} \leq 7$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,02628419 * e^{(\text{pH}*0,520025)}$

Si $7 < \text{pH} \leq 8$, entonces $I_{\text{pH}} = 1$

Si $8 < \text{pH} \leq 11$, entonces $I_{\text{pH}} = 1 * e^{[(\text{pH}-8)-0,187742]}$

Si $\text{pH} > 11$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,1$

- **Nitrógeno Total / Fósforo Total (NT/PT).** Mide la degradación por intervención antrópica, indica la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales.

La manera de calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:

Si $15 \leq \text{NT/PT} \leq 20$, entonces $I_{\text{NT/PT}} = 0,8$

Si $10 < \text{NT/PT} < 15$, entonces $I_{\text{NT/PT}} = 0,6$

Si $5 < \text{NT/PT} \leq 10$, entonces $I_{\text{NT/PT}} = 0,35$

Si $\text{NT/PT} \leq 5$, o $\text{NT/PT} > 20$, entonces $I_{\text{NT/PT}} = 0,15$

Tabla 3.

Calificación de la calidad del agua - ICA

| Rango de valores del indicador | Calificación de la calidad del agua | Señal de alerta |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 0,00 – 0,25 | Muy mala | Rojo |
| 0,26 – 0,50 | Mala | Naranja |
| 0,51 – 0,70 | Regular | Amarillo |
| 0,71 – 0,90 | Aceptable | Verde |
| 0,91 – 1,00 | Buena | Azul |

Nota. Información tomada del IDEAM

Los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador han sido clasificados en categorías, de acuerdo con ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la tabla 3, se registra la relación entre valores y calificación.

El estado de las corrientes superficiales se puede visualizar mediante mapas de puntos, con las estaciones categorizadas de acuerdo con los valores calculados del Índice de calidad del agua.

- **Finalidad / Propósito:** El indicador refleja las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de una corriente de agua, y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación de manera ágil en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico. Permite conceptuar respecto a las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. Su formulación permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica.

Se han identificado aplicaciones básicas del índice:

- ✓ Análisis de tendencias: para determinar degradación o recuperación de la calidad hídrica a través de un período de tiempo.
- ✓ Agregar información: para mostrar de forma fácilmente comprensible las variaciones que presenta la calidad de las aguas superficiales.
- ✓ Cumplimiento de estándares.
- ✓ Clasificación de sitios: pueden compararse las condiciones ambientales en diferentes áreas geográficas.
- ✓ Asignación de recursos: para ayudar a tomar decisiones en la asignación de fondos y determinación de prioridades.
- ✓ Información pública: para informar al público acerca de las condiciones del recurso.

4.2.3 Índices de Contaminación (ICO's). Los índices de contaminación fueron propuestos por Ramírez et al (1997 y 1999) los cuales son:

- ✓ ICOMI por mineralización.
- ✓ ICOMO por materia orgánica.
- ✓ ICOSUS por sólidos suspendidos.
- ✓ ICOTRO o troffa del sistema.
- ✓ ICOpH por potencial de hidrogeno

Los ICO's se definen de la siguiente manera:

- **Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI).** Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: Conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, Dureza por cuanto recoge los cationes de calcio y magnesio, y Alcalinidad porque recoge los aniones carbonatos y bicarbonatos.

Un ICOMI próximo a cero, refleja muy baja contaminación por mineralización, sucede entonces lo contrario si es cercano a uno.

$$ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$$I_{Conductividad} = 10^{-3,26 + 1,34 * LOG_{10}(Conductividad)} \quad \text{Ecuación 9}$$

Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, tienen un índice $I_{Conductividad} = 1$

$$I_{Dureza} = 10^{-9,09 + 4,40 * LOG_{10}(Dureza)} \quad \text{Ecuación 10}$$

Durezas mayores a 100 mg/L, tienen un índice $I_{Dureza} = 1$

Durezas menores a 30 mg/L, tienen un índice $I_{Dureza} = 0$

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 * (Alcalinidad) \quad \text{Ecuación 11}$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/L, tienen un índice $I_{alcalinidad} = 1$

Alcalinidades menores a 50 mg/L, tienen un índice $I_{\text{alcalinidad}} = 0$

- **Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO).** Representa un indicador de contaminación en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, en la cual las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera, la respuesta ambiental del cuerpo de agua a este tipo de polución.

Este indicador fue desarrollado por Ramírez, et al. (1998), a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia.

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo de agua.

$$ICOMO = \frac{1}{3} * (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxígeno \%}) \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 * LOG_{10}(DBO) \quad \text{Ecuación 13}$$

DBO > 30 mg/L, tienen un índice $I_{DBO} = 1$

DBO < 2 mg/L, tienen un índice $I_{DBO} = 0$

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1,44 + 0,56 * LOG_{10}(C.T.) \quad \text{Ecuación 14}$$

Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100 ml) tienen un $I_{Coliformes\ totales} = 1$

Coliformes Totales < 500 (NMP/100 ml) tienen un $I_{Coliformes\ totales} = 0$

Cuando el porcentaje de saturación de OD es menor de 100%, el índice se determina de la siguiente manera:

$$I_{Oxígeno \%} = 1 - 0,01 * \%SOD \quad \text{Ecuación 15}$$

Para % de saturación de oxígeno mayores a 100%, tienen un índice $I_{\%SOD} = 0$.

- **Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS).** Se determina tan solo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Su principal causa la constituyen los procesos erosivos y extractivos. Otras formas de expresar este índice son a través de la turbiedad del agua.

$$ICOSUS = -0.02 + 0,003 * SST \quad \text{Ecuación 16}$$

Sólidos suspendidos > a 340 (mg/L) tiene un ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos < a 10 (mg/L) tiene un ICOSUS = 0

- **Índice de contaminación trófico (ICOTRO).** Se determina por la concentración del fósforo total presente en el agua, indicando eutrofización. El fósforo al igual que el nitrógeno son nutrientes esenciales para la vida, pero el exceso de ellos en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos, y fósforo orgánico. La determinación se realiza convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

A diferencia de los índices anteriores se determina un valor entre 0 y 1, la concentración de fósforo total se define por sí misma.

✓ Oligotrofia: < 0,01

✓ Mesotrofia: 0,01 – 0,02

✓ Eutrofia: 0,02 – 1,00

✓ Hipereutrofia: > 1,00

- **Índice de Contaminación por pH (ICOpH).** Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del suelo.

$$ICOpH = \frac{e^{-3,108 + 3,45 * pH}}{1 + e^{-31,08 + 3,45 * pH}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Tabla 4.

Clasificación del índice de contaminación.

| Valor ICO | Grado de contaminación | Escala de Color |
|-------------|------------------------|-----------------|
| 0,00 – 0,20 | Ninguno | Azul |
| 0,21 – 0,40 | Bajo | Verde |
| 0,41 – 0,60 | Medio | Amarillo |
| 0,61 – 0,80 | Alto | Naranja |
| 0,81 – 1,00 | Muy Alto | Rojo |

Fuente: Ramírez et al. (1997)

5. Metodología del Proyecto

La finalidad del presente estudio fue conocer y determinar la calidad del agua del Río de Oro en el área comprendida aguas arriba hasta la confluencia con el Río Lato del Hato, en el municipio de Piedecuesta, para ello se utilizó como parámetros de medición el índice de Calidad de Agua (ICA) y los Índices de Contaminación (ICO's) los cuales se encuentran contenidos en el Estudio Nacional del Agua (ENA 2010 y ENA 2014); estos índices son aceptados como referencias del estado del agua por el IDEAM.

Inicialmente se procedió a establecer los sitios de muestreo, para lo cual se realizó un reconocimiento de campo mediante una visita de inspección ocular donde se seleccionaron los sitios, se georreferenciaron con ayuda de un GPSMAP 64s marca GARMIN.

Para la selección de los sitios de muestreo se tuvo en cuenta que estos estuvieran involucrados sobre el río de Oro dentro del casco urbano para determinar la incidencia de las actividades

antrópicas, por lo tanto se establecieron los primeros 5 puntos, el primero se escogió que tuviese el mínimo impacto o presión sobre el recurso por parte de la población civil, por lo que se tomó como partida un sitio ubicado aguas abajo de la bocatoma del acueducto municipal, luego se escogieron los puntos 2 al 5 que presentaran la incidencia de asentamientos humanos, que fuera de fácil acceso vial y la seguridad de estos; se seleccionaron los puntos tratando de ser equidistantes, después se seleccionaron los puntos 6 y 7 antes de la descarga de la quebrada Soratoque (punto 8) que es tributaria del río de Oro y trae consigo el vertimiento de aguas residuales del sistema de tratamiento el Santuario, luego se escogieron los puntos 9 aguas abajo de la mezcla del río de Oro y la quebrada en mención, posteriormente se tomaron los puntos 10, 12 y 13 antes y después de la confluencia con el río Lato del Hato (punto 12), con el fin de poder establecer el impacto en la calidad del agua del río de Oro.

Con ayuda de Google Earth se localizan los sitios seleccionados, con el fin de tener una idea clara del espaciamiento entre los mismos, como se puede apreciar en la figura 2.



Figura 2. Localización de los sitios de muestreo.

Posteriormente se procedió a establecer el protocolo de muestreo para lo cual se tuvo en cuenta la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667 del ICONTEC (2004) en las partes 1, 2, 3, y 6 que establece las guías para el diseño de programas de muestreo, las técnicas de muestreo, la preservación y el manejo de las muestras, y el muestreo de ríos y corrientes respectivamente, así como las establecidas por el IDEAM y los protocolos del Laboratorio del Centro de Estudios Ambientales de la UIS – CEIAM, quien se encuentra acreditado bajo la norma ISO-17025 por el IDEAM.

Se tomaron muestras dentro del área delimitada, en ellas se midieron los siguientes parámetros in situ: pH, temperatura de la muestra y el ambiente, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno disuelto, conductividad y turbiedad, posteriormente se realizó la recolección, preservación y almacenamiento de las muestras siguiendo los lineamientos del IDEAM labor que fue realizada por el laboratorio del CEIAM – UIS.

Es importante señalar que este muestreo fue realizado una sola vez el día 24 de junio de 2019 por el CEIAM, en razón a los costos que estos generan y los análisis no fueron solicitados por ninguna autoridad ambiental.

El cálculo del ICA incluye la ponderación de seis (6) variables: oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales (SST), pH y la relación nitrógeno total/ fósforo total (NT/PT).

El cálculo de los ICO's permite evaluar la contaminación de las aguas de forma general, incluye los parámetros de conductividad, dureza y alcalinidad, DBO5, % saturación de oxígeno disuelto, coliformes totales, sólidos suspendidos totales, pH y fosforo total.

Las técnicas usadas para determinar los anteriores parámetros son las que tiene acreditado el laboratorio del CEIAM-UIS por el IDEAM, las cuales se enuncian a continuación.

La conservación, sellado, almacenamiento y transporte de las muestras se realizó acorde a lo establecido en los protocolos de muestreo ya enunciados anteriormente.

En la siguiente tabla se especifica las técnicas de muestreo y preservación de las muestras

Tabla 5.

Técnicas de análisis utilizadas.

| Parámetro | Técnica de análisis |
|-------------------------------------|--|
| pH | SM 4500 H+B |
| Temperatura | SM 2550 B |
| % de Saturación de Oxígeno Disuelto | SM 4500 - OG |
| Conductividad Eléctrica | Electrométrico, SM 2510 B |
| Turbiedad | Nefelométrico, SM 2130 B |
| Demanda Química de Oxígeno | Reflujo cerrado – Volumétrico, SM 5220 D |
| Sólidos Suspendidos Totales | Gravimétrico, SM 2540 D |
| Nitrógeno Total | Destilación – Volumétrico SM 4500 Norg B, SM 4500 NH ₃ B, C |
| Fósforo Total | Digestión, SM 4500 – P B, D |
| Dureza Total | Volumétrico con EDTA, SM 2340 C |
| Alcalinidad Total | Volumétrico, SM 2320 B |
| Demanda Biológica de Oxígeno | Incubación SM 5210 B, SM 4500 - OG |
| Coliformes Totales | |

Finalmente se procedió a realizar el cálculo de los índices de calidad ENA 2010 y ENA 2014 del IDEAM y los índices de Contaminación ICO's los cuales son: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH, para lo cual se construyó una hoja de cálculo en EXCEL para sus respectivos resultados.

6. Resultados Obtenidos

A continuación, se referencian y describen los sitios de muestreo, como se dijo anteriormente se establecieron 13 sitios de muestreo, 11 de ellos directamente en el río de Oro y 2 en los tributarios quebrada Soratoque y río Lato del Hato

| SITIOS | COORDENADAS | | | | | | DESCRIPCION DEL SITIO DE MUESTREO EN EL RIO DE ORO Y TRIBUTARIOS |
|--------|-----------------|-----|--------|------------------|-----|--------|--|
| | Latitud - Norte | | | Longitud - Oeste | | | |
| 1 | 06° | 59' | 31,23" | 73° | 02' | 20,45" | Río de Oro aguas abajo de la bocatoma del acueducto municipal de Piedecuesta |
| 2 | 06° | 59' | 17,53" | 73° | 02' | 32,03" | Río de Oro sobre el costado derecho de la vía nacional bogotá - B/manga detrás del restaurante los troncos |
| 3 | 06° | 59' | 8,40" | 73° | 02' | 41,06" | Río de Oro al costado del puente que comunica al barrio la Candelaria con el sector del molino |
| 4 | 06° | 58' | 46,34" | 73° | 02' | 55,54" | Río de Oro abajo del puente que comunica la carretera antigua con el centro del municipio Cra 6 con Calle 17 |
| 5 | 06° | 58' | 29,12" | 73° | 03' | 11,11" | Río de Oro al costado del puente donde se encuentra la estación de metrolinea en el barrio Barrohondo |
| 6 | 06° | 58' | 15,85" | 73° | 04' | 17,10" | Río de Oro sobre el costado izquierdo del puente de lata en el sector rural |
| 7 | 06° | 58' | 20,46" | 73° | 04' | 50,29" | Río de Oro antes de la unión con la quebrada Soratoque |
| 8 | 06° | 58' | 20,95" | 73° | 04' | 50,44" | Quebrada Soratoque antes de unión al río de Oro contiene las aguas residuales de la PTAR el santuario |
| 9 | 06° | 58' | 20,90" | 73° | 04' | 51,20" | Río de Oro después de la unión de los puntos 7 y 8 |
| 10 | 06° | 58' | 17,44" | 73° | 05' | 29,77" | Río de oro antes de la unión con el río Lato del Hato |
| 11 | 06° | 58' | 18,08" | 73° | 05' | 30,66" | Río Lato del Hato antes de la unión del río de Oro |
| 12 | 06° | 58' | 16,91" | 73° | 05' | 30,93" | Río de Oro después de la unión de los puntos 10 y 11 |
| 13 | 06° | 58' | 3,30" | 73° | 05' | 42,79" | Río de Oro 500 metros abajo del punto 12 |

Figura 3. Georreferenciación de los sitios de muestreo.

Los resultados obtenidos durante el muestreo llevado a cabo en compañía del laboratorio del CEIAM-UIS, se observan en las siguientes tablas, primero los parámetros in situ y después los parámetros de los análisis realizados en el laboratorio.

| Parametro | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Punto 6 | Punto 7 | Punto 8 | Punto 9 | Punto 10 | Punto 11 | Punto 12 | Punto 13 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| pH (unidades de pH) | 6,71 | 7,14 | 7,26 | 7,29 | 7,35 | 6,56 | 7,7 | 7,52 | 7,75 | 7,09 | 6,76 | 6,84 | 7,17 |
| Temperatura muestra (°C) | 20,3 | 20,4 | 20,5 | 20,2 | 26,1 | 22,3 | 20,7 | 25,7 | 20,9 | 27,6 | 23 | 23,8 | 23,1 |
| Temperatura ambiente (°C) | 26,5 | 26,6 | 28 | 25,4 | 21,5 | 26,1 | 29,5 | 28,2 | 25,2 | 23,3 | 26,5 | 29 | 30,3 |
| Oxígeno Disuelto (mg/L) | 8,06 | 5,67 | 4,84 | 4,53 | 4,27 | 3,34 | 7,65 | 3,3 | 7,02 | 5,91 | 7,74 | 6,87 | 5,44 |
| Saturación OD (%) | 91 | 68,5 | 60 | 56,8 | 53,3 | 42,2 | 94,1 | 41,7 | 88,1 | 87 | 89,7 | 88,7 | 70,4 |
| Conductividad (µs/cm) | 79,6 | 80,1 | 81,5 | 93,7 | 100 | 126,1 | 111,9 | 703 | 211,9 | 212,1 | 132,6 | 212,3 | 209,8 |
| Turbiedad (NTU) | 2 | 74 | 41 | 33 | 24 | 5 | 52 | 258 | 59 | 278 | 81 | 134 | 115 |

Figura 4. Resultados de parámetros in situ. Nota. Tomado de: Laboratorio del CEIAM - UIS

| Parametro | Punto 1 | Punto 2 | Punto 3 | Punto 4 | Punto 5 | Punto 6 | Punto 7 | Punto 8 | Punto 9 | Punto 10 | Punto 11 | Punto 12 | Punto 13 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| DQO (mg/L O ₂) | < 15 | < 15 | < 15 | < 15 | 15 | 20 | < 15 | 277 | 72 | 67 | 36 | 41 | 77 |
| DBO5 (mg/L O ₂) | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | 5 | 6 | < 2 | 177 | 20 | 13 | 6 | 11 | 22 |
| SST (mg/L) | < 20 | 86 | 46 | 36 | 28 | < 20 | 91 | 268 | 122 | 285 | 93 | 140 | 120 |
| Alcalinidad (mg/L CaCO ₃) | 40 | 41 | 40 | 43 | 45 | 52 | 46 | 194 | 70 | 70 | 49 | 67 | 75 |
| Dureza Total (mg/L CaCO ₃) | 36 | 38 | 38 | 38 | 38 | 43 | 44 | 78 | 54 | 65 | 41 | 57 | 55 |
| Nitrogeno Total (mg/L) | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | 30,3 | 8,1 | 7,3 | 4,4 | 11,1 | 8,9 |
| Fósforo total (mg/L) | < 0,1 | 0,1 | < 0,1 | < 0,1 | 1,8 | 0,3 | 0,1 | 5,9 | 1 | 1,3 | 0,3 | 0,8 | 0,5 |
| Coliformes Totales (NMP/100 ml) | 5400 | 1400 | 5500 | 92000 | 2E+05 | 2E+05 | 1200 | 1E+05 | 28000 | 2E+06 | 2E+05 | 9E+05 | 4E+05 |

Figura 5. Resultados de parámetros en el laboratorio.

Nota. Tomado de: Laboratorio del CEIAM - UIS

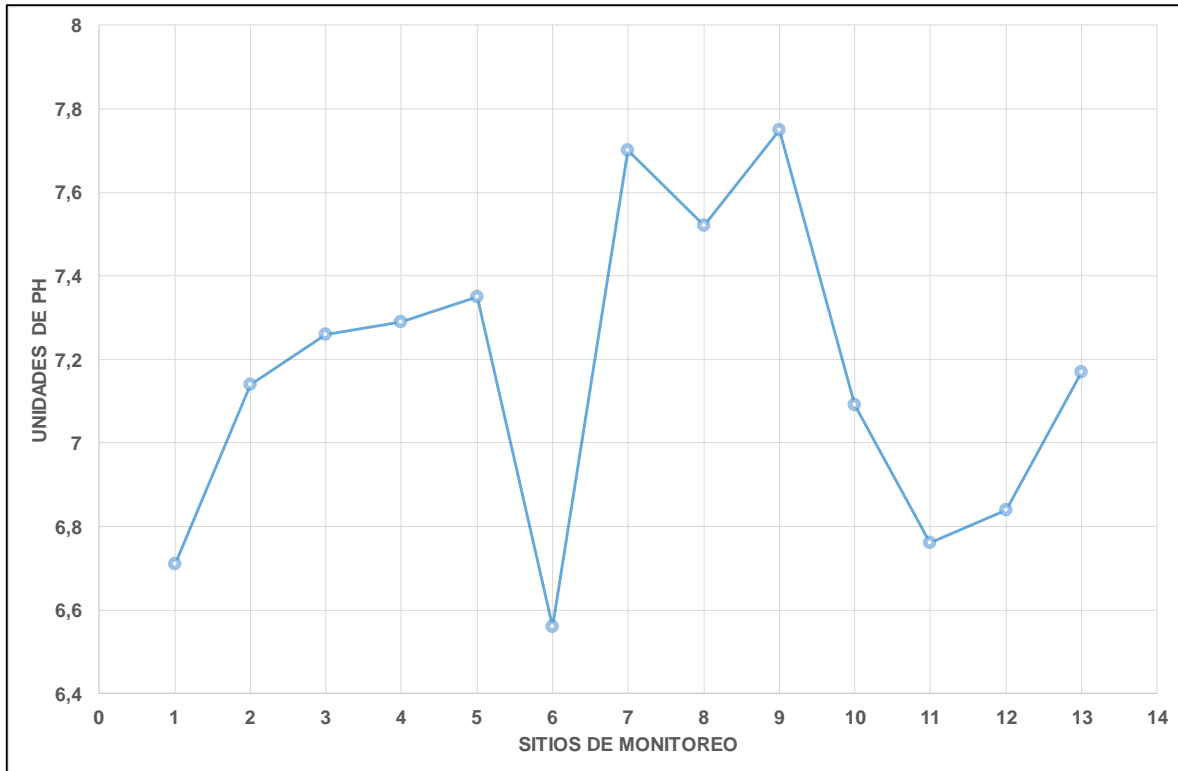


Figura 6. Variación del pH en los sitios de muestreo.

En la figura 3 se puede apreciar que la variación del pH va desde 6,56 hasta 7,75, lo que indica que su variación es poca y por consiguiente el ICOpH debe mostrar que no se afecta la calidad del agua.

En los sitios de muestreo 1, 6 y 11 que son respectivamente el punto de partida donde se cree que la afectación antrópica es mínima, el punto 6 es un sitio donde el agua no recibe la presión de los puntos anteriores (2,3,4 y 5) de las actividades que se realizan en el municipio y el punto 11 que es la desembocadura del río Lato del Hato, donde se presume que igualmente la presión por actividades realizadas por los seres humanos son bajas, se puede apreciar que los valores del pH están relativamente en un rango entre 6,6 y 6,7 sin embargo a medida que se avanza en el cuerpo de agua se ejerce presión sobre este por las actividades realizadas en el municipio, el pH se empieza

a aumentar logrando valores por encima de 7,0 que si bien son casi neutros no deberán impactar fuertemente en la calidad del agua.

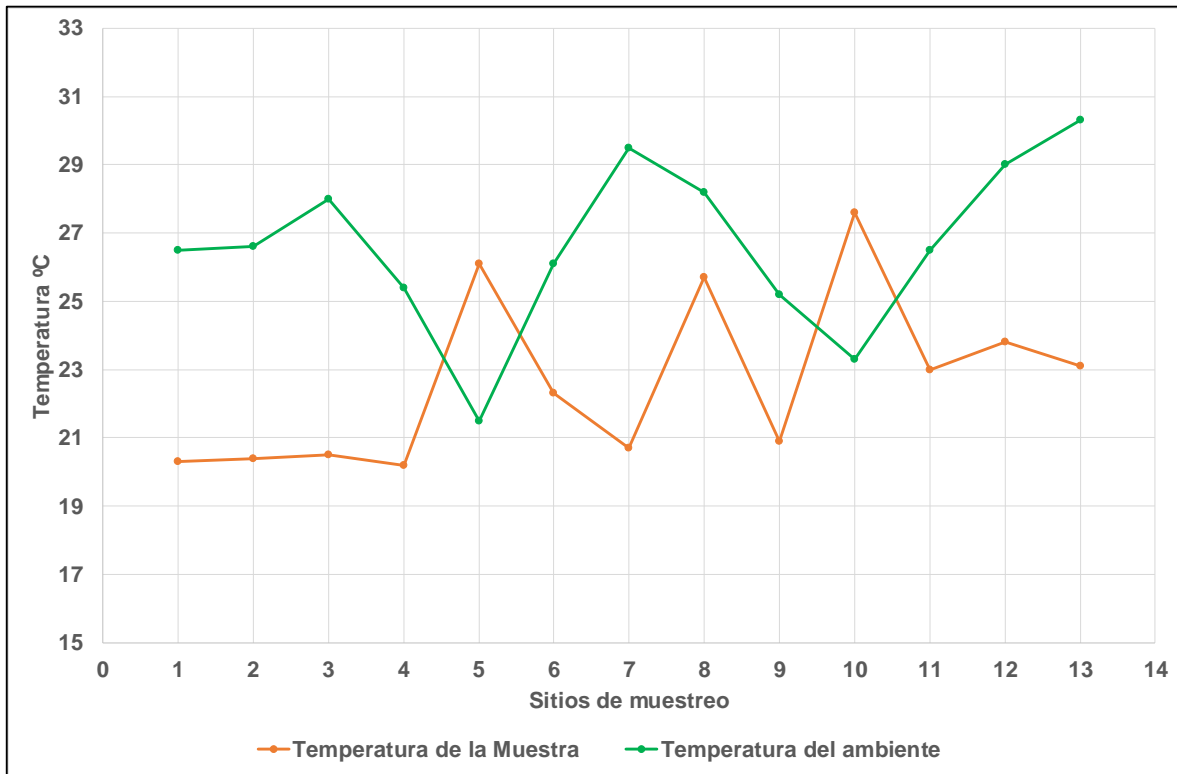


Figura 7. Variación de la temperatura de la muestra y del ambiente.

Como se puede observar la temperatura tanto de las muestras como del ambiente varían entre 20 y 30 grados Celsius, lo que significa que el cuerpo hídrico no presenta una amenaza potencial para la hidrobiología que allí vive, ya que si se compara con la resolución 0631 de 2015, estas temperaturas están por debajo de los 40 °C que es el límite máximo permisible para vertimientos, por tal razón se puede afirmar que la temperatura no sufrió cambios drásticos durante el muestreo y que se encuentra entre los límites normales de un cuerpo de agua con las características que presenta el río de Oro en el tramo de estudio.

En la siguiente ilustración se puede apreciar como el agua del río de Oro que viene con un oxígeno disuelto de 8, empieza a disminuir por acción de las actividades antrópicas que se realizan en la zona comprendida entre los sitios de muestreo 2 y 6, después el oxígeno tiende a recuperarse en el punto 7, posiblemente porque entre los dos puntos hay aproximadamente 1,5 km y no se ve la presión de las viviendas puesto que el punto queda en el área rural del municipio. En el punto 8 se obtiene una medida baja de la cantidad de oxígeno disuelto (3,3 mg/L), la cual tal vez se debe a que la quebrada Soratoque trae el vertimiento del sistema de tratamiento de agua residual el Santuario del municipio de Piedecuesta. Luego de la mezcla del río de Oro con la quebrada en el punto 9 se observa que la fuente hídrica comienza nuevamente a aumentar la concentración de oxígeno disuelto, este aumento podría asociarse con los procesos naturales de reoxigenación propios de las fuentes hídricas.

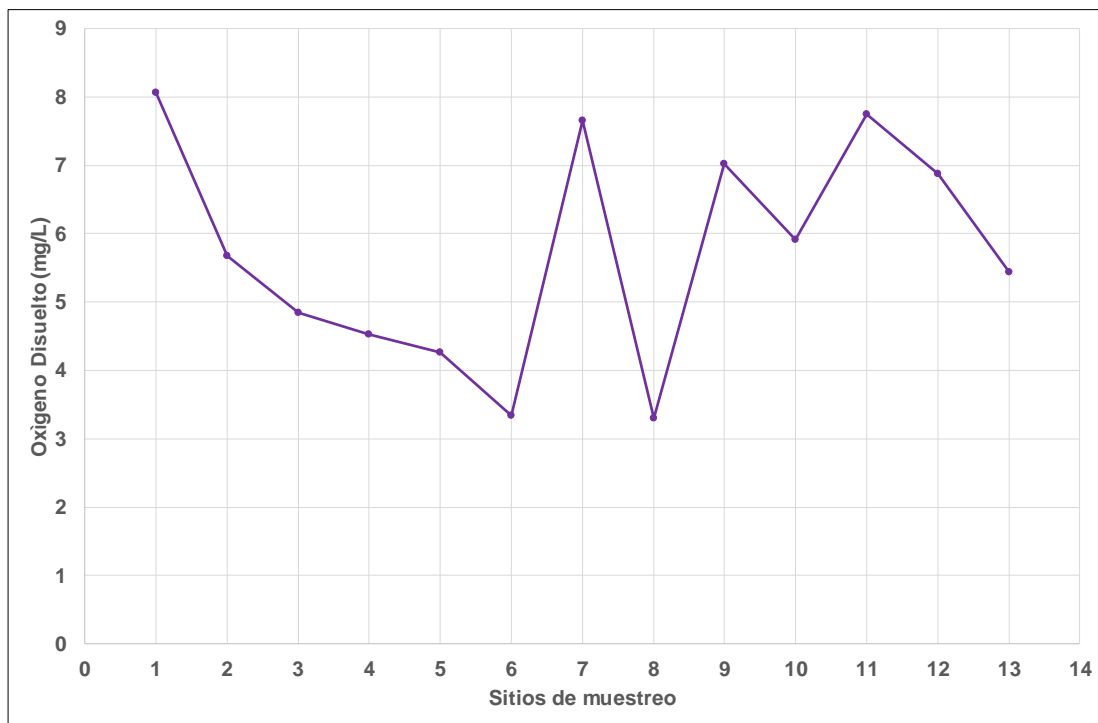


Figura 8. Variación del oxígeno disuelto.

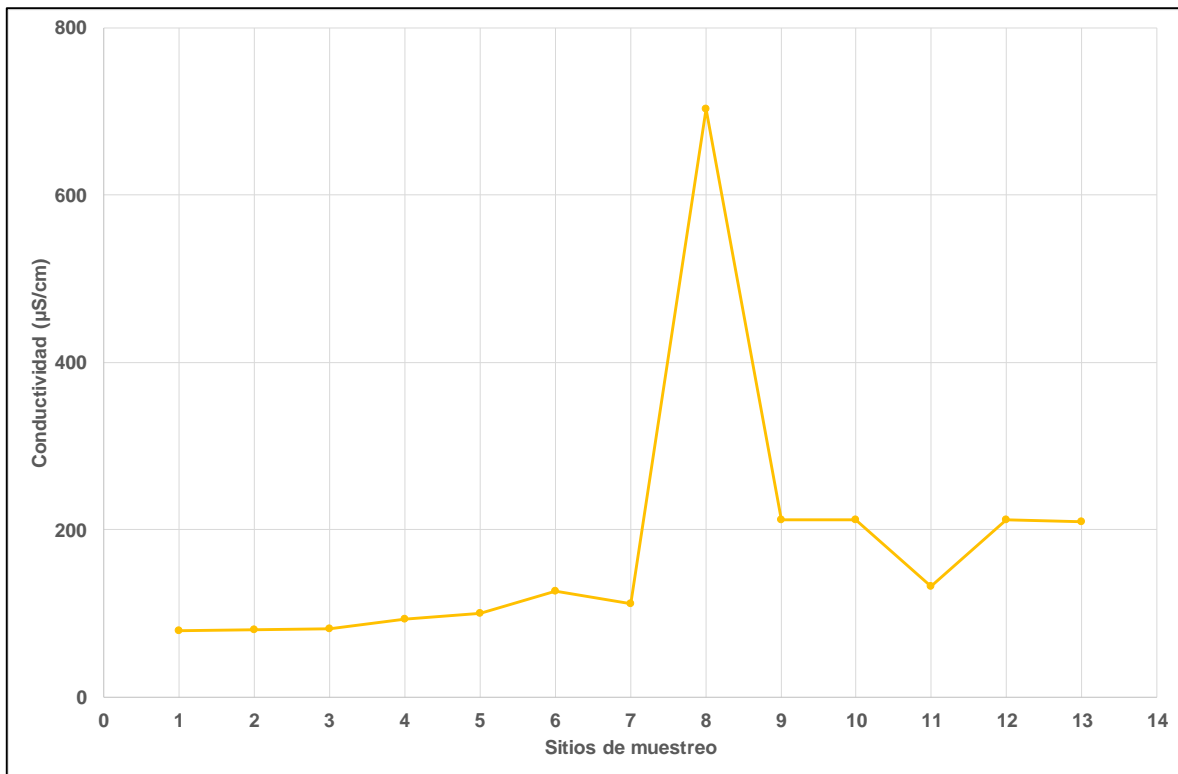


Figura 9. Variación de la conductividad.

Con excepción del punto 8, los valores de la conductividad oscilan entre 80 y 212 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aproximadamente. En el punto 8, el valor llega a ser 703 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente esto sea resultado del transporte de las aguas residuales, así mismo se puede apreciar en la figura que a medida que el río de Oro avanza la conductividad va aumentando, es importante señalar que la conductividad es el parámetro que permite determinar la posibilidad de uso de un agua para riego.

Como se puede apreciar en la variación de la turbiedad (Figura 7) esta comienza a tener cambios significativos después de la unión de la quebrada Soratoque con el río de Oro (punto 8), con un cambio significativo por el aporte de sólidos suspendidos totales. En el punto 10 se ve nuevamente el incremento en la Turbiedad la cual desciende con la entrada del tributario río Lato del Hato.

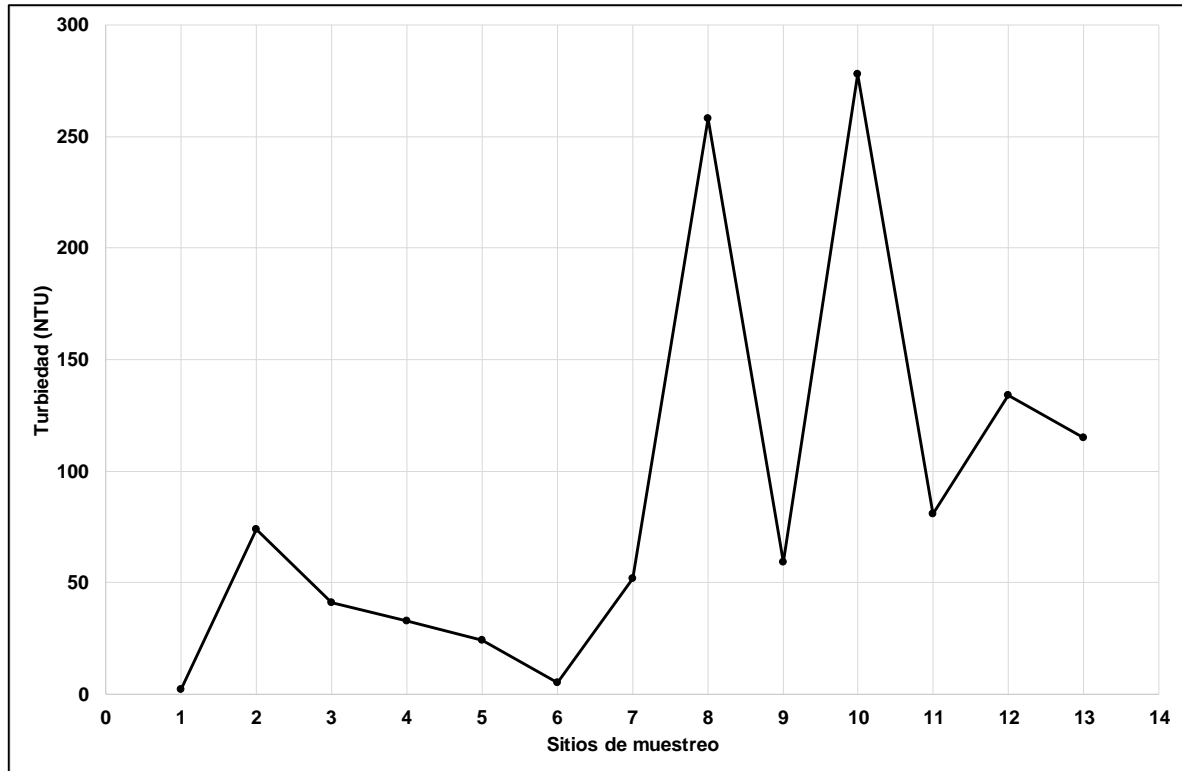


Figura 10. Variación de la turbiedad.

7. Calculo de los índices de calidad y contaminación

7.1 Índices de calidad del agua ENA 2010 y ENA 2014.

Con base en los resultados obtenidos de los muestreos realizados se procedió a realizar una hoja de cálculo en Excel (ver anexo), para establecer el valor de los índices y su correspondiente ICA.

Tabla 6.

Resultados obtenidos para calcular ICA.

| RESULTADOS DE LABORATORIO CEIAM - UIS | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|---------------|---------------|-------------------------------------|------|--------------|--------------|-------|
| SITIO ID | %SOD (%) | SST (mg/L) | DQO (mg/L) | Conduc- tividad (μ S/cm) | pH | NT (mg/L) | PT (mg/L) | NT/PT |
| 1 | 91,0 | 20 | 15 | 79,6 | 6,71 | 3,0 | 0,1 | 30 |
| 2 | 68,5 | 86 | 15 | 80,1 | 7,14 | 3,0 | 0,1 | 30 |
| 3 | 60,0 | 46 | 15 | 81,5 | 7,26 | 3,0 | 0,1 | 30 |
| 4 | 56,8 | 36 | 15 | 93,7 | 7,29 | 3,0 | 0,1 | 30 |
| 5 | 53,3 | 28 | 15 | 100,0 | 7,35 | 3,0 | 1,8 | 1,67 |
| 6 | 42,2 | 20 | 20 | 126,1 | 6,56 | 3,0 | 0,3 | 10 |
| 7 | 94,1 | 91 | 15 | 111,9 | 7,70 | 3,0 | 0,1 | 30 |
| 8 | 41,7 | 268 | 277 | 703,0 | 7,52 | 30,3 | 5,9 | 5,14 |
| 9 | 88,1 | 122 | 72 | 211,9 | 7,75 | 8,1 | 1,0 | 8,10 |
| 10 | 87,0 | 285 | 67 | 212,1 | 7,09 | 7,3 | 1,3 | 5,62 |
| 11 | 89,7 | 93 | 36 | 132,6 | 6,76 | 4,4 | 0,3 | 14,67 |
| 12 | 88,7 | 140 | 41 | 212,3 | 6,84 | 11,1 | 0,8 | 13,88 |
| 13 | 70,4 | 120 | 77 | 209,8 | 7,17 | 8,9 | 0,5 | 17,80 |

| SITIO ID | ÍNDICES | | | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | I OD | I SST | I DQO | I C.E | I pH | I NT/PT |
| 1 | 0,910 | 0,960 | 0,910 | 0,806 | 0,861 | 0,150 |
| 2 | 0,685 | 0,762 | 0,910 | 0,805 | 1,000 | 0,150 |
| 3 | 0,600 | 0,882 | 0,910 | 0,800 | 1,000 | 0,150 |
| 4 | 0,568 | 0,912 | 0,910 | 0,759 | 1,000 | 0,150 |
| 5 | 0,533 | 0,936 | 0,910 | 0,737 | 1,000 | 0,150 |
| 6 | 0,422 | 0,960 | 0,910 | 0,641 | 0,797 | 0,350 |
| 7 | 0,941 | 0,747 | 0,910 | 0,694 | 1,000 | 0,150 |
| 8 | 0,417 | 0,216 | 0,125 | 0,000 | 1,000 | 0,350 |
| 9 | 0,881 | 0,654 | 0,260 | 0,281 | 1,000 | 0,350 |
| 10 | 0,870 | 0,165 | 0,260 | 0,280 | 1,000 | 0,350 |
| 11 | 0,897 | 0,741 | 0,510 | 0,616 | 0,884 | 0,600 |
| 12 | 0,887 | 0,600 | 0,260 | 0,279 | 0,921 | 0,600 |
| 13 | 0,704 | 0,660 | 0,260 | 0,290 | 1,000 | 0,800 |

Figura 11. Valores de los índices calculados

| SITIO ID | ICA'S | | CALIDAD ENA2010 | CALIDAD ENA2014 |
|----------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| | ICA ENA 2010 | ICA ENA 2014 | | |
| 1 | 0,89 | 0,76 | Aceptable | Aceptable |
| 2 | 0,83 | 0,71 | Aceptable | Aceptable |
| 3 | 0,84 | 0,72 | Aceptable | Aceptable |
| 4 | 0,83 | 0,71 | Aceptable | Aceptable |
| 5 | 0,82 | 0,71 | Aceptable | Aceptable |
| 6 | 0,75 | 0,68 | Aceptable | Regular |
| 7 | 0,86 | 0,74 | Aceptable | Aceptable |
| 8 | 0,35 | 0,34 | Mala | Mala |
| 9 | 0,62 | 0,56 | Regular | Regular |
| 10 | 0,51 | 0,48 | Regular | Mala |
| 11 | 0,73 | 0,70 | Aceptable | Regular |
| 12 | 0,59 | 0,58 | Regular | Regular |
| 13 | 0,58 | 0,61 | Regular | Regular |

Figura 12. Índices de calidad ICA y clasificación de las aguas.

Como se puede observar en términos generales el ICA ENA 2010 e ICA ENA 2014 varían solo en el punto 6 para los primeros 7 sitios de muestreo, esto se debe a que el ICA ENA 2014 incluye los parámetros de nitrógeno y fósforo total y en el punto 6 empieza la zona rural, la presencia de ese cambio se puede deber al uso de fosforo en la zona ya sea por algún agroquímico que se utilice.

Para el tributario de la quebrada Soratoque se obtienen valores similares, pero después en el punto 10 se presentan valores desiguales de nitrógeno lo que puede indicar que la presencia de actividades agropecuarias está influyen en la calidad de ICA, dichas actividades están relacionadas a la ganadería.

Se considera que el ICA ENA 2014 es más estricto a la hora de calcular la calidad del agua debido precisamente a la inclusión del nitrógeno y el fósforo total, lo que es importante a la hora de sacar conclusiones, porque tiene en cuenta actividades antrópicas que sucedan en el área de estudio y para este caso dichas actividades se ven reflejadas en el uso del suelo por actividades de agricultura y ganadería que pueden estar aportando estos parámetros ya sea por escorrentía directa o por infiltración de los mismos en el suelo.

Importante recordar que el punto 11 es el tributario río Lato del Hato, quien a pesar de estar en la misma subcuenca también presenta una alteración en el cálculo del ICA ENA 2014 en comparación con el ICA ENA 2010 que esta como aceptable, posiblemente por la misma causa de las actividades antrópicas de la zona donde se ubica.

Desafortunadamente se aprecia que el agua en el punto 1 que debería ser buena no lo es, lo que se representaría con el color azul, ya que esta zona está libre supuestamente de actividades, pero se sabe que la zona alta del municipio es apetecida por la población para realizar actividades recreativas en este caso de baño, lo que podría estar afectando la calidad del cuerpo hídrico.

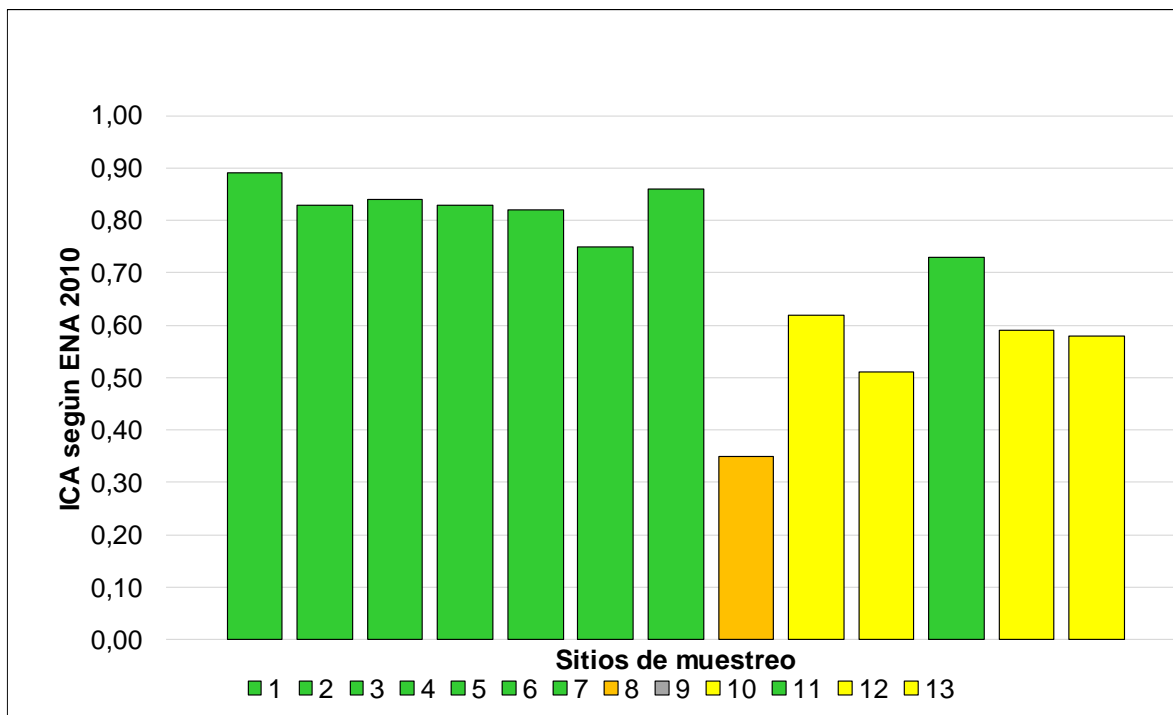


Figura 13. Comportamiento del ICA según ENA 2010.

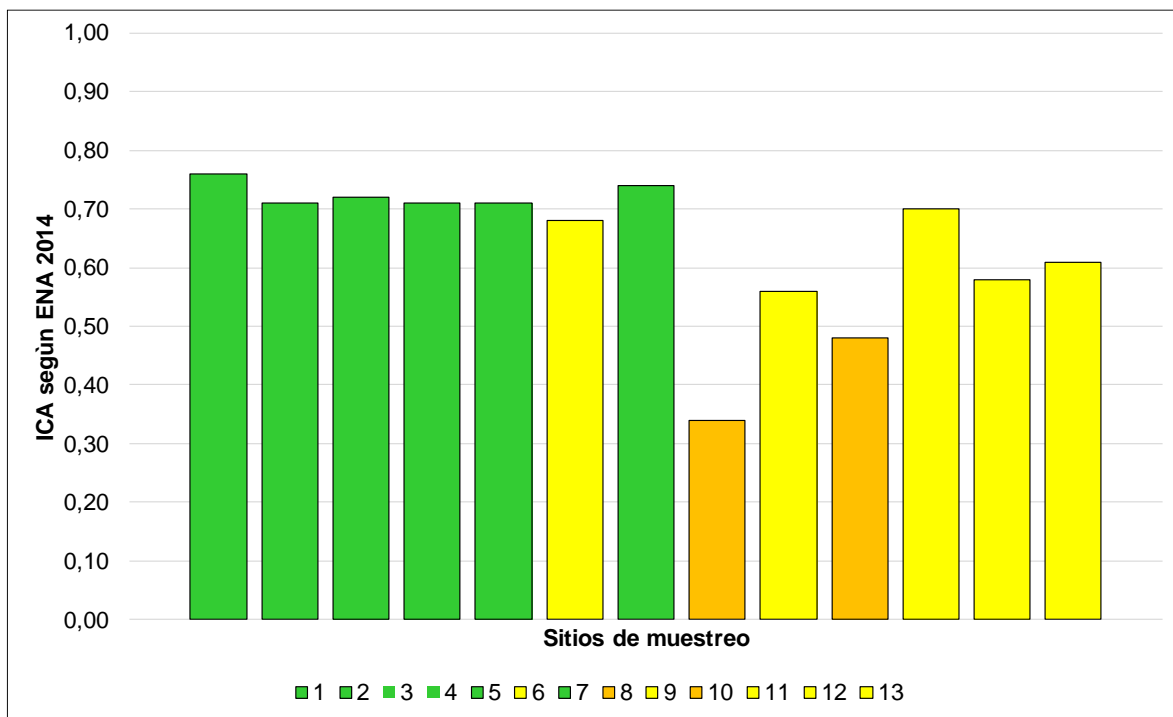


Figura 14. Comportamiento del ICA según ENA 2014.

7.2 Índices de contaminación – ICO's

Según los resultados obtenidos de los muestreos realizados se procedió a realizar una hoja de cálculo en Excel (ver anexo), para establecer el valor de los ICO's.

7.2.1 Índice de Contaminación por Mineralización - ICOMI

| SITIO ID | RESULTADOS DE LABORATORIO | | | CÁLCULO DE ÍNDICES | | | ICOMI | CONTAMINACIÓN |
|----------|---------------------------|--------|-------------|--------------------|----------|---------------|-------|---------------|
| | Conductividad | Dureza | Alcalinidad | ICE | I Dureza | I Alcalinidad | | |
| 1 | 79,6 | 36 | 40 | 0,194 | 0,006 | 0,000 | 0,07 | Ninguna |
| 2 | 80,1 | 38 | 41 | 0,195 | 0,007 | 0,000 | 0,07 | Ninguna |
| 3 | 81,5 | 38 | 40 | 0,200 | 0,007 | 0,000 | 0,07 | Ninguna |
| 4 | 93,7 | 38 | 43 | 0,241 | 0,007 | 0,000 | 0,08 | Ninguna |
| 5 | 100,0 | 38 | 45 | 0,263 | 0,007 | 0,000 | 0,09 | Ninguna |
| 6 | 126,1 | 43 | 52 | 0,359 | 0,013 | 0,010 | 0,13 | Ninguna |
| 7 | 111,9 | 44 | 46 | 0,306 | 0,014 | 0,000 | 0,11 | Ninguna |
| 8 | 703,0 | 78 | 194 | 1,000 | 0,172 | 0,720 | 0,63 | Alta |
| 9 | 211,9 | 54 | 70 | 0,719 | 0,034 | 0,100 | 0,28 | Baja |
| 10 | 212,1 | 65 | 70 | 0,720 | 0,077 | 0,100 | 0,30 | Baja |
| 11 | 132,6 | 41 | 49 | 0,384 | 0,010 | 0,000 | 0,13 | Ninguna |
| 12 | 212,3 | 57 | 67 | 0,721 | 0,043 | 0,085 | 0,28 | Baja |
| 13 | 209,8 | 55 | 75 | 0,710 | 0,037 | 0,125 | 0,29 | Baja |

Figura 15. Cálculo y valoración del ICOMI.

Según los valores obtenidos se puede apreciar que desde el sitio de muestreo numero 1 hasta el sitio numero 7, el rio de Oro no presenta contaminación por mineralización tanto por influencia de sólidos, calcio, magnesio, carbonatos y bicarbonatos entre otros, pero al recibir la quebrada Soratoque la calidad del agua se ve alterada pasando a Baja debido a que la anterior tiene un ICOMI calificado como Alto, es decir el grado de contaminación esta presente y se puede ver en

los resultados del punto 8 al variar considerablemente los valores para los 3 parámetros. EL rio Lato del Hato punto 11 no presenta contaminación por mineralización lo cual hace que el rio de Oro se mantenga con un índice bajo, posiblemente a medida que avance el rio se va deteriorando más por las actividades que presenta.

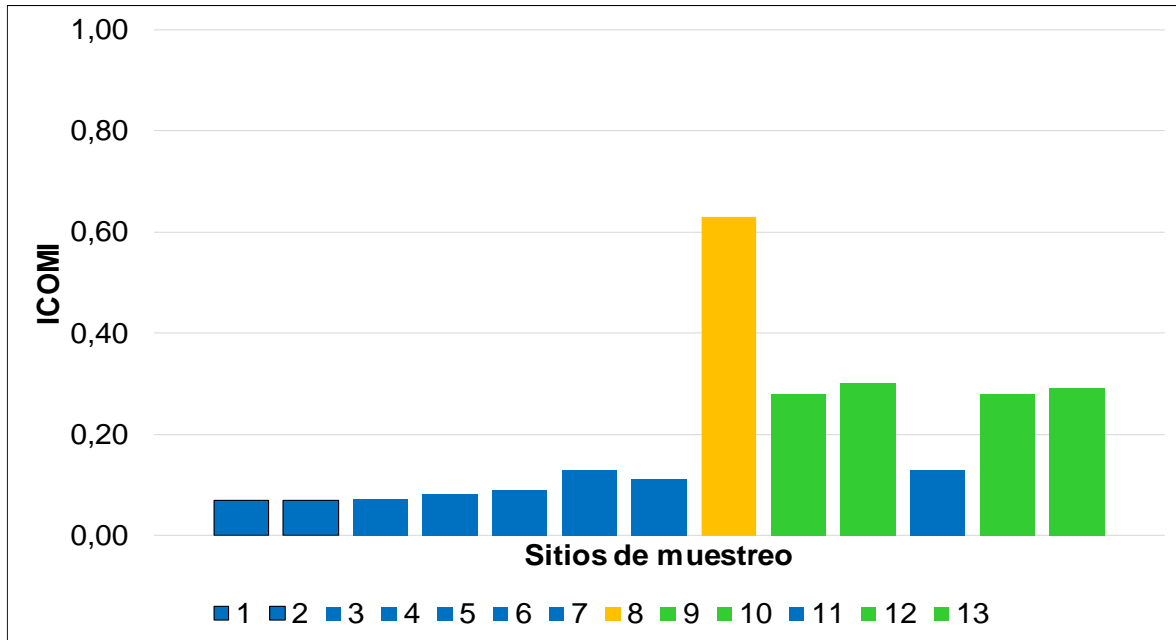


Figura 16. Comportamiento del ICOMI en el rio de Oro

7.2.2 Índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO

| SITIO ID | RESULTADOS DE LABORATORIO | | | CÁLCULO DE ÍNDICES | | | ICOMO | CONTAMINACIÓN |
|----------|---------------------------|--------------|-----------|--------------------|----------------|-------------|-------|---------------|
| | DBO ₅ | Col. Totales | % Oxígeno | I DBO | I Col. totales | I % Oxígeno | | |
| 1 | 2 | 5.400 | 91 | 0,161 | 0,650 | 0,090 | 0,30 | Baja |
| 2 | 2 | 1.400 | 68,5 | 0,161 | 0,322 | 0,315 | 0,27 | Baja |
| 3 | 2 | 5.500 | 60,0 | 0,161 | 0,655 | 0,400 | 0,41 | Media |
| 4 | 2 | 92.000 | 56,8 | 0,161 | 1,000 | 0,432 | 0,53 | Media |
| 5 | 5 | 160.000 | 53,3 | 0,439 | 1,000 | 0,467 | 0,64 | Alta |
| 6 | 6 | 160.000 | 42,2 | 0,495 | 1,000 | 0,578 | 0,69 | Alta |
| 7 | 2 | 1.200 | 94,1 | 0,161 | 0,284 | 0,059 | 0,17 | Ninguna |
| 8 | 177 | 140.000 | 41,7 | 1,000 | 1,000 | 0,583 | 0,86 | Muy alta |
| 9 | 20 | 28.000 | 88,1 | 0,861 | 1,000 | 0,119 | 0,66 | Alta |
| 10 | 13 | 1.600.000 | 87,0 | 0,730 | 1,000 | 0,130 | 0,62 | Alta |
| 11 | 6 | 220.000 | 89,7 | 0,495 | 1,000 | 0,103 | 0,53 | Media |
| 12 | 11 | 920.000 | 88,7 | 0,679 | 1,000 | 0,113 | 0,60 | Media |
| 13 | 22 | 350.000 | 70,4 | 0,890 | 1,000 | 0,296 | 0,73 | Alta |

Figura 17. Cálculo y valoración del ICOMO.

Según los valores obtenidos el índice de contaminación por materia orgánica varía a medida que avanza el río de Oro, se puede apreciar que la DBO₅ presenta valores bajos o cercanos al límite de detección del laboratorio, lo que indica que el aporte por este parámetro es bajo, pero al recibir el tributario que conlleva las aguas residuales del municipio la contaminación es muy alta, en cuanto a los coliformes vemos que estos sí varían a lo largo del transcurso del cauce y se puede esperar que el valor en el punto 7 antes de la mezcla con la quebrada Soratoque fuese bajo como se presenta, este parámetro es más dado a que varía por las presiones que ejerce la población civil sobre el cuerpo hídrico, donde se puede decir que algunas viviendas del municipio que fueron reformadas, realizaron conexiones erróneas a la red pluvial, contribuyendo de esta manera con este parámetro y el oxígeno disuelto como era de esperarse esta alterado en el punto 8. El cálculo

del ICOMO se aprecia que la contaminación va creciendo de empezar en baja y llegar a alta en el recorrido que realiza el cuerpo de agua.

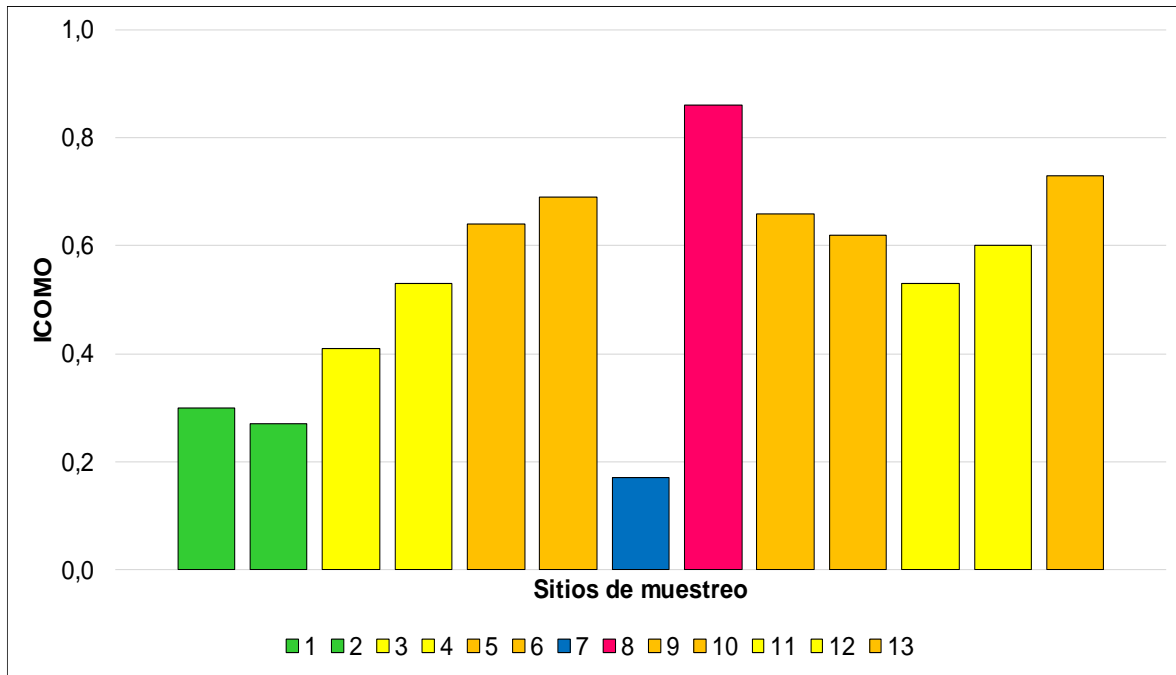


Figura 18. Comportamiento del ICOMO en el río de Oro.

7.2.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos totales – ICOSUS

| SITIO ID | RESULTADOS DE LABORATORIO | | CONTAMINACIÓN |
|----------|---------------------------|--------|---------------|
| | SST | ICOSUS | |
| 1 | 20 | 0,04 | Ninguna |
| 2 | 86 | 0,24 | Baja |
| 3 | 46 | 0,12 | Ninguna |
| 4 | 36 | 0,09 | Ninguna |
| 5 | 28 | 0,06 | Ninguna |
| 6 | 20 | 0,04 | Ninguna |
| 7 | 91 | 0,25 | Baja |
| 8 | 268 | 0,78 | Alta |
| 9 | 122 | 0,35 | Baja |
| 10 | 285 | 0,84 | Muy alta |
| 11 | 93 | 0,26 | Baja |
| 12 | 140 | 0,40 | Baja |
| 13 | 120 | 0,34 | Baja |

Figura 19. Cálculo y valoración del ICOSUS.

Como se puede apreciar en los cálculos realizados el ICOSUS varía lo que indica que el río de Oro cambia de no tener contaminación a tener baja contaminación, lo cual se puede empezar a observar en el punto 2 donde aguas arriba hacen extracción de material de arrastre artesanal es decir sacan arena del río; además como se esperaba el punto 8 nuevamente altera la calidad del

agua esta vez por sólidos suspendidos totales. Cercal al punto 10 también se hacen actividades de extracción manual de arena del río de Oro.

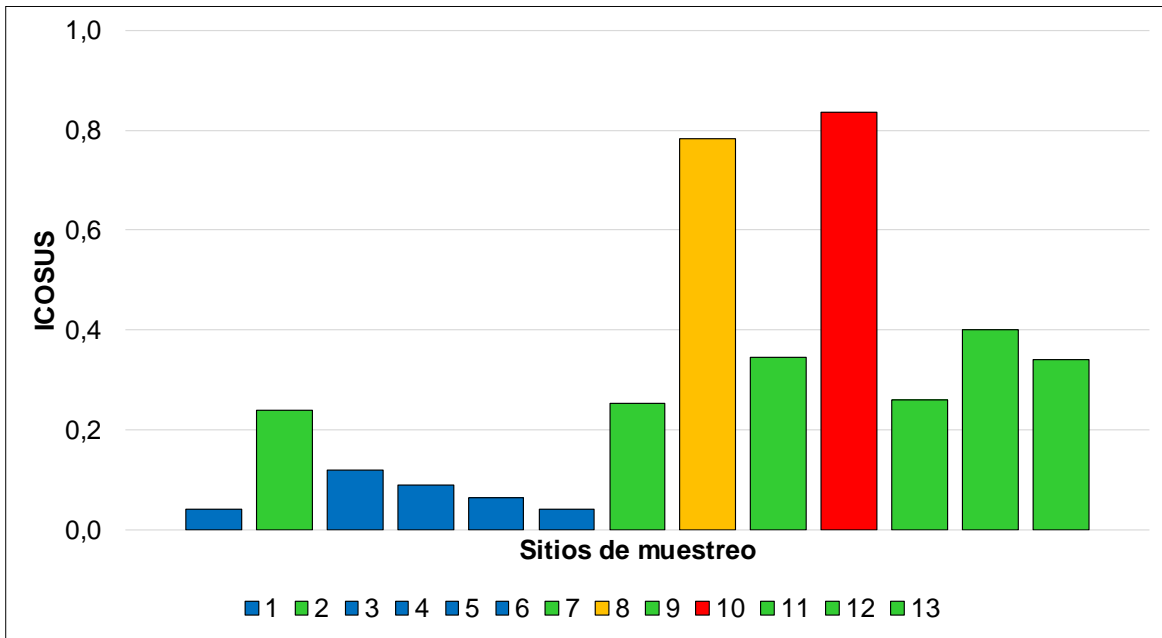


Figura 20. Comportamiento del ICOSUS en el río de Oro.

7.2.4 Índice de Contaminación por fosforo total – ICOTRO. Cálculo y valoración del ICOMI

| SITIO ID | RESULTADOS DE LABORATORIO | |
|----------|---------------------------|---------------|
| | Fósforo Total | ICOTRO |
| 1 | 0,10 | Eutrofia |
| 2 | 0,10 | Eutrofia |
| 3 | 0,10 | Eutrofia |
| 4 | 0,10 | Eutrofia |
| 5 | 1,80 | Hipereutrofia |
| 6 | 0,30 | Eutrofia |
| 7 | 0,10 | Eutrofia |
| 8 | 5,90 | Hipereutrofia |
| 9 | 1,00 | Hipereutrofia |
| 10 | 1,30 | Hipereutrofia |
| 11 | 0,30 | Eutrofia |
| 12 | 0,80 | Eutrofia |
| 13 | 0,50 | Eutrofia |

Figura 21. Cálculo y valoración del ICOTRO.

Como se puede observar el río de Oro presenta contaminación por fósforo total, ya que todos los valores generan que se presente eutrofia o hipereutrofia. Siendo el punto 8 el que mas aporta y el punto 5 que es donde se sale del casco urbano hacia el área rural el segundo que mas aporta fósforo, se desconocen las razones de los valores, pero podría ser por detergentes o insumos agrícolas.

7.2.5 Índice de contaminación por pH – ICOpH

| SITIO ID | RESULTADOS DE LABORATORIO | | CONTAMINACIÓN |
|----------|---------------------------|--------|---------------|
| | pH | ICO pH | |
| 1 | 6,71 | 0,003 | Ninguna |
| 2 | 7,14 | 0,002 | Ninguna |
| 3 | 7,26 | 0,002 | Ninguna |
| 4 | 7,29 | 0,003 | Ninguna |
| 5 | 7,35 | 0,003 | Ninguna |
| 6 | 6,56 | 0,004 | Ninguna |
| 7 | 7,70 | 0,011 | Ninguna |
| 8 | 7,52 | 0,006 | Ninguna |
| 9 | 7,75 | 0,013 | Ninguna |
| 10 | 7,09 | 0,001 | Ninguna |
| 11 | 6,76 | 0,002 | Ninguna |
| 12 | 6,84 | 0,002 | Ninguna |
| 13 | 7,17 | 0,002 | Ninguna |

Figura 22. Cálculo y valoración del ICOpH.

Como se puede apreciar en el cálculo del ICOpH la incidencia de este parámetro sobre la calidad del agua es nula, es decir no se contamina en cuerpo hídrico del río de Oro por el pH, debido a que los valores están en un rango cercano al neutro.

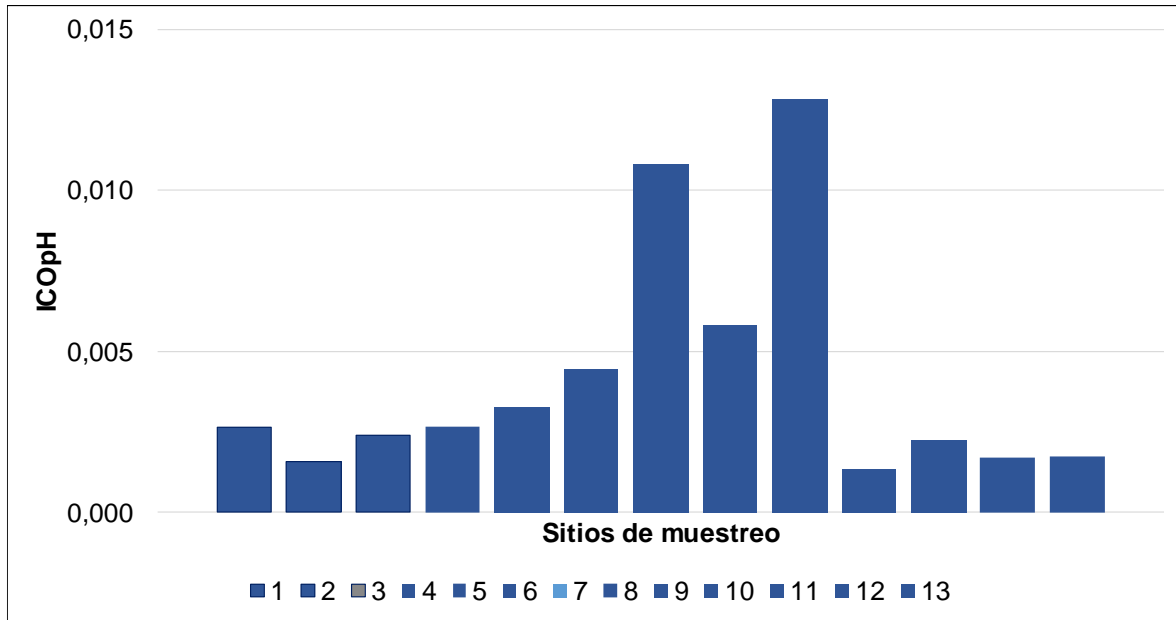


Figura 23. Comportamiento del ICOpH en el rio de Oro.

8. Conclusiones

Es importante que se utilice como instrumento de gestión el programa de uso eficiente y ahorro de agua el cual fue reglamentado por la Ley 373 de 1997 y que permite controlar el uso del recurso hídrico, también se considera importante que la empresa de servicios públicos quien es la responsable del tratamiento de las aguas residuales en la PTAR del Santuario, siga realizando la operación y el mantenimiento adecuado de la misma, para que la quebrada Soratoque que recibe la descarga no sea afectada drásticamente.

Los ICA e ICO's son herramientas que pueden emplearse para la programación y el control de la contaminación de los cuerpos hídricos; permitiendo así una administración ágil y eficaz del recurso hídrico.

El vertimiento de aguas residuales domésticas que genera el municipio de Piedecuesta, aunque posee algún tipo de tratamiento, está generando el deterioro de la quebrada Soratoque y a su vez una disminución en la calidad del agua de Rio de Oro. Así las cosas, se recomienda realizar un ajuste a los procesos de la PTAR mencionada que conlleve a la disminución de carga orgánica, la cual fue identificada como uno de los parámetros que más afectó la calidad del agua en dicho punto de muestreo.

El estudio realizado permite conocer como se ve afectada la calidad del agua en el rio de Oro por su paso en el municipio de Piedecuesta, se puede observar que desde el sitio 1 las actividades antrópicas, están contribuyendo a la contaminación del recurso, porque se pudo ver actividades de extracción de material de arrastre, talleres de mecánica y metalmecánica, y descargas de aguas

residuales domésticas sin ningún tipo de tratamiento, sumado a que existe población que arroja residuos sólidos a este importante recurso hídrico. A si mismo las corrientes tributarias en este caso la quebrada Soratoque y el rio Hato del Lato aportan también carga contaminante lo que ayuda al deterioro.

Según los cálculos realizados hasta el punto 7 es decir antes de la confluencia con la quebrada Soratoque los índices de calidad ENA 2010 y ENA 2014 muestran que la calidad del agua es buena, y después de recibir la descarga de las aguas residuales provenientes de la PTAR el Santuario la calidad del agua pasa a ser regular en términos generales, esto quiere decir que el poder de autopurificación del rio de Oro es bajo, lo que se convierte en un problema debido a que aguas abajo de la zona de estudio se encuentran actividades agroindustriales que contribuyen con el incremento en el deterioro de calidad de agua y además se recibe las descargas de aguas residuales de los municipios de Floridablanca, Bucaramanga y Girón.

Según el ICOMI calculado también se puede apreciar que después de la quebrada Soratoque el índice por contaminación por mineralización muestra que el agua del rio de Oro, pasa de no tener contaminación a tener una contaminación baja, lo que indica que no es una amenaza para la calidad del agua, pero si se deben tomar correctivos para que el deterioro del cuerpo hídrico no vaya en aumento.

Según el ICOMO calculado en los sitios, si se puede apreciar un deterioro en la calidad de recurso hídrico del río de Oro por la presencia de los coliformes totales, los resultados de los muestreos son altos para este tipo de cuerpos hídricos, la contaminación se puede evidenciar porque está entre media y alta.

Con respecto al ICOSUS la contaminación encontrada está entre ninguna y baja, lo que indica que es un buen indicador que los sólidos suspendidos totales no genera grandes efectos en la calidad de agua.

El pH medido durante el muestreo indica que no hay contaminación, lo cual se evidencia en el ICOpH calculado.

El ICOTRO evaluado indica que la mayoría de los puntos presenta eutrofia quiere decir que el nivel de nitrógeno total en el agua es bajo, lo que evidencia que hay poco aporte de nutrientes en el agua.

9. Recomendaciones

La autoridad ambiental competente debe involucrar a los actores que intervienen o deben intervenir el río de Oro en el área de estudio, para que se generen proyectos que logren mejorar la calidad del agua, por lo cual se debe monitorear con mayor frecuencia los sitios seleccionados e incluirlos en lo posible dentro de la red de monitoreo de calidad hídrica, para que el río de Oro se pueda recuperar a lo largo de su trayecto, esto debido a los gastos que genera realizar un muestreo de este tipo y la autoridad ambiental y los actores cuentan con los recursos para este fin.

Realizar un seguimiento periódico que permita identificar los puntos críticos en los que la calidad de la fuente hídrica se ve disminuida. De esta forma las autoridades del municipio de Piedecuesta y la Piedecuestana de Servicios Públicos ESP podrán tomar decisiones acertadas en pro de mejorar la calidad del agua.

Es conveniente que las autoridades ambientales en el departamento de Santander, puedan iniciar la construcción de los índices de calidad y contaminación propios para las respectivas cuencas hidrográficas y así poder determinar el valor de ponderación de cada variable, como las autoridades ambientales tienen en su poder la información ambiental respecto a los vertimientos y cuerpos receptores de cada cuencas, se debe establecer los criterios de calidad ambiental reales, que logren la implementación de la política para la gestión integral del recurso hídrico y así poder mantener o lograr la calidad de los respectivos cuerpos hídricos que existen en el departamento.

Las autoridades ambientales deben trabajar de la mano con las universidades en el caso específico con la UIS, ya que ésta tiene acreditado varios laboratorios que permiten dar confianza y credibilidad a la hora de medir la calidad y contaminación hídrica.

Referencias Bibliográficas

- Colombia. Congreso de la República. (11, julio, 1994). Ley 142 Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1994, no. 41433. p. 1-819
- Colombia. Congreso de la República. (11, junio, 1997). Ley 373 Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1997, no. 43058. p. 1-6
- Colombia. Congreso de la República. (18, julio, 1979). Ley 9 Por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1979, no. 35308. p. 1-90
- Colombia. Congreso de la República. (22, diciembre, 1993). Ley 99 Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y la conservación del medio Ambiente y los recursos renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1993, no. 41146. p. 1-12
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17, marzo, 2015). Resolución 0631 Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2015, no. 49486. p. 1-73
- Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (18, diciembre, 1974). Decreto Ley 2811 Por el cual se dicta el código nacional de recursos renovables y de protección al medio ambiente. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1975, no. 34243. p. 1-64
- Constitución política de Colombia (1991) Bogotá D.C 2010. Recuperado en 2 diciembre 2019. en <https://www.ramajudicial.gov.co/documents/10228/1547471/CONSTITUCION-Interiores.pdf>

- Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga. (2007) Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro. Bucaramanga: CDMB Recuperado en 21 noviembre 2019. <http://cdmb.gov.co/web/ciudadano/centro-de-descargas/1182-pomca-rio-oro>
- Departamento Nacional De Planeación. (2002) Documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES 3177 de. Por el cual se adoptan las acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales, Bogotá D.C. Recuperado en 27 noviembre 2019 <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>
- Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2010) Estudio Nacional del Agua 2010. Bogotá: IDEAM Recuperado en 28 octubre 2019. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015) Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá: IDEAM Recuperado el 30 octubre 2019. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Ramírez, *et al.* (1999) Índices de contaminación para la caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. Bogotá D.C.: CT&F. Vol. 1 p. 89- 97
- Subdirección de Ordenamiento y Planificación Integral del Territorio - SOPIT. (2010) Informe evaluación de la red de monitoreo de la calidad de agua año 2010. Bucaramanga: Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga - CDMB,. p. 8-21
- Subdirección De Ordenamiento Y Planificación Integral Del Territorio - SOPIT. (2011) Informe evaluación de la red de monitoreo de la calidad de agua año 2011. Bucaramanga: Corporación Autónoma Regional Para La Defensa De La Meseta De Bucaramanga - CDMB,. p. 7-30