

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y
UWQI EN LA QUEBRADA POTRERILLO EN LA VEREDA EL CALLAO, ZONA
RURAL DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR - CESAR PARA COLOMBIA**

**ANDREA CAMILA MUJICA RICO
MARCIAL ENRIQUE VILLAMIZAR OSIO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2021**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y
UWQI EN LA QUEBRADA POTRERILLO EN LA VEREDA EL CALLAO, ZONA
RURAL DEL MUNICIPIO DE VALLEDUPAR - CESAR PARA COLOMBIA**

**ANDREA CAMILA MUJICA RICO
MARCIAL ENRIQUE VILLAMIZAR OSIO**

**DIRECTOR
JOSÉ MAURICIO PÉREZ ROYERO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
PROGRAMA FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2021**

Dedicatoria

Dedicamos este espacio para expresar nuestros más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que han contribuido a la realización de este proyecto. Principalmente a Dios por este logro, por brindarnos la templanza de continuar a pesar de las dificultades durante este largo camino. A nuestros padres: BEATRIZ OSIO ORTIZ, MARCIAL VILLAMIZAR SOCARRAS, CARMEN RICO ESLEGUE y ORLANDO MUJICA AVILA por su apoyo constante, por su amor y confianza brindada. A nuestros hermanos: ALVARO PERALTA OSIO, ZAILETH PERALTA OSIO y ARIAGNA MUJICA RICO, por ser parte fundamental en cuanto a la motivación de luchar por ser ejemplo de vida para ellos.



Agradecimientos

Gracias a Dios padre por hacer esto posible, por su misericordia e infinito amor desde el primer momento en que decidimos emprender este largo camino. A nuestros padres por hacer de nosotros las personas que somos, por su incondicional apoyo y motivación. A nuestros compañeros de estudio por estar en los momentos difíciles, por su compañía y apoyo constante.

Al Ingeniero JOSÉ MAURICIO PEREZ ROYERO, por su orientación, seguimientos y supervisión de este proyecto. Al ingeniero PAUL KLEMENT ARIAS, por sus sabios consejos y paciencia, por guiarnos con la mejor energía y total disposición. Al ingeniero JHON FREDY DAZA CÁRDENAS, por su colaboración y total disposición.

A la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, por habernos brindado la oportunidad de ejercer nuestros estudios y hacer de esta una de nuestras mejores experiencias. A todo el equipo de docentes del DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y TECNOLOGIAS, por su labor y aportes a la construcción de nuestros conocimientos. Además, agradecer a cada uno de ellos por desarrollar las habilidades con las que hoy contamos.



Resumen

Si bien es cierto, las actividades agropecuarias a pesar de contribuir de manera significativa al desarrollo económico y social de las poblaciones por su significancia en cuanto a los beneficios de las mismas, en el mayor de los casos se deja a un lado el factor ambiental. Situación que convierte en vulnerable aquellos recursos que están en su entorno.

El presente proyecto de investigación pretende contribuir a través del uso de los indicadores ICA Y UWQI a la identificación de los posibles agentes contaminantes que por producto de las actividades agropecuarias u otras actividades relacionadas realizadas por la población de la finca El Sol en la vereda El Callao están afectando directamente a la quebrada con la que cuentan (Quebrada Potrerillo).

La implementación del indicador ICA dejó como resultado que la quebrada con la que cuenta la población está en estado regular, dando una señal de alerta AMARILLA. Mientras que el indicador UWQI arrojó como resultado que el estado de la quebrada es ACEPTABLE, dando una señal de alerta VERDE. Lo anterior es dado a que el indicador UWQI implementa 5 variables dejando a la relación NT/PT por fuera de su análisis, mientras que el ICA lo tiene en cuenta para el análisis de la calidad.

Lo anterior refleja claramente la incidencia del Nitrógeno Total y el Fosforo Total en la quebrada y su estado de calidad, convirtiéndose en alerta de presencia de detergentes y sustancias similares en la quebrada.

Palabras claves: Quebrada, Potrerillo, indicador, ICA, UWQI.



Abstract

Although it is true, agricultural activities despite contributing significantly to the economic and social development of the populations due to their significance in terms of their benefits, in most cases the environmental factor is left aside. Situation that makes vulnerable those resources that are in their environment.

This research project aims to contribute through the use of the ICA and UWQI indicators to the identification of possible pollutants resulting from agricultural activities or other related activities carried out by the population of the El Sol farm in the El Callao village. They are directly affecting the creek they have (Quebrada Potrerillo).

The implementation of the ICA indicator resulted in the population's stream being in a regular state, giving a YELLOW warning signal. While the UWQI indicator showed that the state of the stream is ACCEPTABLE, giving a GREEN warning signal. This is due to the fact that the UWQI indicator implements 5 variables, leaving the NT / PT ratio out of its analysis, while the ICA takes it into account for the quality analysis.

The above clearly reflects the incidence of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the stream and its quality status, becoming an alert for the presence of detergents and similar substances in the stream.

Keywords: Quebrada, Potrerillo, indicator, ICA, UWQI.



Tabla de Contenido

Resumen.....	III
Introducción	10
1. Planteamiento del Problema	12
1.1. Formulación del Problema	13
1.2. Sistematización del Problema	13
2. Justificación	14
3. Objetivos.....	16
3.1. Objetivo General	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. Marco Referencial.....	17
4.1. Antecedentes	17
4.2. Marco Teórico	20
4.2.1. Fuentes Hídricas	20
4.2.2. Principales Contaminantes de la Fuente Hídrica.....	20
4.2.3. Parámetros Físicos y Químicos del Agua.....	21
4.2.4. Prevención de la Contaminación por Actividades Agrícolas	23
4.2.5. Prevención de la Contaminación por Arrastre de Agua de Lluvia en Zonas Urbanas.....	23
4.2.6. Indicadores Ambientales	23
4.2.7. Indicadores Hídricos.....	25
4.3. Marco Conceptual	32
4.4. Marco Contextual.....	34
4.4.1. Localización.....	34
4.4.2. Zona de estudio.....	35
4.4.3. Clima	35

4.4.4. Relieve	35
4.5. Marco Legal	36
5. Marco Metodológico.....	38
5.1. Línea y Sublínea de Investigación	38
5.2. Tipo de Investigación	38
5.3. Nivel de Investigación.....	38
5.4. Población de Estudio.....	38
5.5. Muestra Poblacional.....	39
5.6. Desarrollo Metodológico.....	39
5.6.1. Etapa 1: Determinar las Propiedades Físicas y Químicas de la Quebrada Potrerillo en Periodo de Lluvia (Diciembre, 2020) y Seco (Julio, 2021).....	39
5.6.2. Etapa 2: Establecer la Calidad del Agua en Diferentes Tramos de la Quebrada Potrerillo Utilizando los Índices de Calidad del Agua (ICA) y UWQI.....	41
5.6.3. Etapa 3: Analizar la Correlación Estadística Presentada entre los Parámetros Físicos y Químicos Obtenidos de la Quebrada Potrerillo en Periodo de Lluvia (Diciembre, 2020) y Seco (Julio, 2021).....	41
5.6.4. Etapa 4: Diseñar Estrategias que Permitan Medidas de Conservación y Protección de la Fuente Hídrica Quebrada Potrerillo.....	41
6. Resultados y Análisis.....	43
6.1. Ubicación de las Estaciones de Muestreo y Toma de Muestras en la Quebrada Potrerillo.....	43
6.1.1. Estaciones de Muestreo	43
6.1.2. Toma de Muestras	46
6.2. Análisis de los Parámetros Físicos y Químicos de la Quebrada Potrerillo	46
6.2.1. Temperatura.....	50
6.2.2. pH	51
6.2.3. Conductividad Eléctrica	52
6.2.4. Solidos Suspendidos Totales	54

6.2.5. Oxígeno Disuelto	55
6.2.6. Fosforo Total	56
6.2.7. Nitrógeno Total.....	57
6.2.8. Demanda Química de Oxígeno.....	58
6.3. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA).....	60
6.4. Determinación del Índice UWQI	61
6.5. Análisis de las Relaciones Estadísticas Presentadas entre los Parámetros Físicos y Químicos	62
6.6. Análisis de Componentes Principales (ACP).....	65
6.7. Estrategias para la Protección y Conservación de la Quebrada Potrerillo	67
Conclusiones	70
Recomendaciones	72
Referencias.....	73
Anexos	80



Lista de Tablas

Tabla 1. Parámetros físicos del agua.....	21
Tabla 2. Parámetros químicos del agua.	22
Tabla 3. Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables.....	27
Tabla 4. Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno.	28
Tabla 5. Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables.....	31
Tabla 6. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.	31
Tabla 7. Aspectos legales.....	36
Tabla 8. Métodos para determinar los parámetros físicos y químicos.....	40
Tabla 9. Estaciones de muestreo.....	43
Tabla 10. Descripción de los puntos de las estaciones de muestreo (julio, 2021).....	44
Tabla 11. Descripción de los puntos de las estaciones de muestreo en periodo de lluvia (diciembre, 2020).....	45
Tabla 12. Fecha de muestreo.	46
Tabla 13. Parámetros físicos y químicos de la Quebrada Potrerillo en periodo de lluvia (diciembre, 2020).....	48
Tabla 14. Parámetros físicos y químicos de la Quebrada Potrerillo Periodo Seco (julio, 2021)..	49
Tabla 15. Índice de Calidad del Agua (ICA) en periodos de lluvia y secos.....	60
Tabla 16. Índice UWQI en periodos de lluvias y secos.....	61
Tabla 17. Correlaciones de los parámetros físicos y químicos.....	63

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la vereda El Callao.	34
Figura 2. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.	44
Figura 3. Comportamiento de la temperatura en periodos de lluvias y secos.	50
Figura 4. Comportamiento del pH en periodos de lluvias y secos.	52
Figura 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.	53
Figura 6. Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.	54
Figura 7. Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.	55
Figura 8. Comportamiento del fosforo total en periodos de lluvias y secos.	57
Figura 9. Comportamiento del nitrógeno total en periodos de lluvias y secos.	58
Figura 10. Comportamiento de la DQO en periodos de lluvias y secos.	59
Figura 11. Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los Componente 1 y Componente 2.	66



Introducción

La presente investigación, hace referencia a los indicadores ambientales y su aplicación, con la finalidad de objetivizar las principales tendencias de las dinámicas ambientales y realizar una evaluación de posibles riesgos ambientales. Bajo estas consideraciones podemos definir a los indicadores ambientales como medidas que puede darse de origen físico, químico, biológico, social o económico, que permite evaluar toda aquella información ambiental disponible, con el fin de reflejar las condiciones en las que se encuentra el medio ambiente o un factor ambiental particular, en un tiempo y en un lugar determinado (Sandra Roperó Portillo, 2020).

La característica principal es que este tipo de herramienta ambiental pueden ser cuantitativo o cualitativo dependiendo de cómo son medido y apreciado. Los indicadores ambientales cuantitativos se basan en parámetros con los que dar información sobre un fenómeno. En cambio, los indicadores ambientales cualitativos se centran más en las observaciones y percepciones (Sandra Roperó Portillo, 2020). Es por ello que conocer las problemáticas ambientales en cualquier ámbito geográfico es de interés para establecer prioridades de acción en función de la selección de alternativas que permitan dar respuesta a las preocupaciones y posibles riesgos ambientales.

La investigación de esta problemática ambiental se realizó con el interés de conocer a detalle y bajo resultados sólidos los posibles riesgos ambientales y seguridad hídrica de los habitantes de los pobladores que se abastecen de la quebrada debido a las actividades realizadas en su entorno. Esto permitió identificar parámetros que muestran afectaciones directas a la fuente, generando alteraciones a la misma, no solo por la intervención del hombre, sino además por eventualidades naturales que pueden incidir en la calidad.

La metodología que se aplicó en el desarrollo del proyecto de investigación consistió primeramente en ubicar tres estaciones de monitoreo sobre la Quebrada (parte alta, parte media y parte baja de la quebrada), para realizar las diferentes tomas de muestra de agua en los dos periodos correspondientes en un año (Lluvia y Seco), la medición de los parámetros se realizó de manera in situ y de manera consecutiva fueron preservados y llevados a laboratorio. Posteriormente, con los resultados obtenidos se evaluaron el a través de los indicadores ICA y UWQI para la obtención

del Índice de Calidad del Agua, con el apoyo de un análisis estadístico (SPSS). Finalmente, al analizar el comportamiento de los parámetros y bajo el criterio arrojado por los indicadores ambientales, se diseñaron estrategias que permitirán tomar medidas de conservación y protección de la fuente hídrica.

Teniendo en cuenta la metodología aplicada se desarrolló (1) la Determinación de las propiedades físicas y químicas de la Quebrada Potrerillo en periodos de lluvia y seco; (2) Establecimiento de la calidad del agua en diferentes tramos de la Quebrada Potrerillo utilizando los Índices de Calidad del Agua (ICA) y UWQI; (3) análisis las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros físicos y químicos; y finalmente el (4) diseño estrategias de conservación y protección sobre la fuente hídrica.

En el capítulo I, estará integrado por el planteamiento del problema, el cual consta de una descripción, de una sistematización, de una formulación y una pregunta investigativa que da cavidad a la justificación teórica, metodológica y práctica, con la finalidad de establecer los objetivos de la presente investigación. En el capítulo II, se identifica referencialmente la zona de estudio, ubicando geográficamente la cuenca y las zonas de acceso. En el capítulo III, se establece la conceptualización teórica, la cual sirve como base para constitución y definición de los tipos, niveles de investigación y el desarrollo metodológico. Finalmente, en el capítulo IV, se obtendrán los resultados producto del desarrollo metodológico a los cuales se les realizara un análisis para poder difundir conclusiones y recomendaciones.



1. Planteamiento del Problema

Según informa la ONU (Organización de la Naciones Unidas) en 2015, en su sexto objetivo del milenio, a nivel global más del 80% de las aguas residuales resultantes de las actividades humanas se vierten a los ríos y océanos provocando una alta tasa de contaminación, siendo las mayores fuentes de nutrientes las provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana).

A pesar que Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica en el mundo se estima que ha tenido una disminución considerable, según el Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia, elaborado con apoyo de la Asociación Mundial del Agua y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) en 2019, las principales fuentes que contribuyen al deterioro del agua y al incremento acelerado y constante de la contaminación en el país son diferentes, tales como: Los sectores agropecuario, industriales y domésticos, ya que en conjunto generan cerca de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante.

El municipio de Valledupar no es ajeno a esta situación, ya que gran parte de la economía surge de estas actividades. Un ejemplo claro de ello es la Quebrada Potrerillo en la vereda El Callao, zona rural del municipio de Valledupar, donde se realizan actividades domésticas y agropecuarias diarias por parte de los pobladores de la finca El Sol, que generan una posible contaminación a dicha fuente hídrica. En una visita técnica por partes de los estudiantes a la vereda El Callao en 2018 los habitantes de la finca El Sol manifestaron: “Esta contaminación se da como consecuencia de la respuesta ineficiente de los servicios básicos sanitarios, poca inversión del estado en la garantía de potabilización del agua para toda la población y la falta de intervención por los sistemas de salud pública, además de un déficit por la recolección de los residuos sólidos por parte de la empresa prestadora de servicio”.

Las actividades domésticas y agropecuarias realizadas por los habitantes de la zona rural junto a la falta de garantías en cuanto la seguridad del recurso hídrico causan afectaciones de forma directa a la fuente, la cual podría tener grandes problemas futuros que traerían como consecuencia los siguientes aspectos: alteraciones a la salud (principalmente a la población de niños y adultos

mayores), baja cantidad y calidad del recurso agua, cambio de la flora y fauna de los ecosistemas, problemas por el consumo y uso de la población aguas abajo, entre otros.

1.1. Formulación del Problema

¿Cuál será el estado de la Quebrada Potrerillo en la vereda El Callao, zona rural de la ciudad de Valledupar – Cesar luego de la evaluación de la calidad del agua mediante los índices ICA y UWQI?

1.2. Sistematización del Problema

- ¿Existirán riesgos ambientales que estén afectando de forma directa a la fuente hídrica?
- ¿Cuál podría ser la magnitud del fenómeno?
- ¿Cuáles son las ventajas de lograr describir las condiciones ambientales que presente la fuente hídrica?
- ¿Qué actividades puede realizar la población de la finca El Sol para reducir vertimientos a la Quebrada Potrerillo?



2. Justificación

El agua es un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida, pero las actividades humanas que se realizan en su entorno no siempre son las mejores. Es por ello que a través de este proyecto se toma la iniciativa de utilizar como método de mitigación del impacto, indicadores hídricos para realizar un estudio de los parámetros físicos y químicos que actualmente se presentan en la Quebrada Potrerillo con la que cuentan los habitantes de la finca El Sol en la vereda El Callao, zona rural del Municipio de Valledupar - Cesar, evitando así la propagación de contaminantes y posibles enfermedades transmitidas por el agua a la población.

Bajo estas consideraciones, es imprescindible para este proyecto tener información detallada de los fenómenos que afectan la fuente hídrica, a través del indicador hídrico que se va a implementar. Éste tiene como función detectar, obtener e identificar información que servirá como base para evaluar el fenómeno y proporcionar datos esenciales sobre el impacto socio-ambiental que genera la población a dicha fuente, además es importante evaluar la fuente hídrica a través de los indicadores hídricos ya que estos se pueden utilizar como un sistema de alerta temprana, es decir, permitirán tomar decisiones a tiempo que ayudan a mejorar el estado actual de la problemática.

Este proyecto tendrá como aporte la implementación de un indicador hídrico para evaluar los posibles agentes contaminantes que están afectando actualmente la Quebrada Potrerillo con la que cuenta la población en la finca El Sol en la vereda El Callao, zona rural del Municipio de Valledupar - Cesar para evaluar su calidad, además de los factores directos de afectación u actividades antrópicas que puedan estar generando o no perjuicios a dicha fuente hídrica, esto con el fin de establecer medidas de control para la conservación del recurso hídrico, Éste abordará en su totalidad la problemática presente apoyados en la información minuciosa obtenida por el estudio previo que se va a realizar a través de los indicadores ICA y UWQI.

Finalmente, con los resultados que se van a obtener la población de la finca El Sol tendrá como beneficio la obtención de una información detallada de los factores que posiblemente están siendo perjudiciales para el cuerpo de agua con el que cuentan. Además, se pretende garantizar los

parámetros de calidad para uso y consumo doméstico. También, se buscarán alternativas que sirvan como beneficio para reducir las actividades que son realizadas en torno a la fuente hídrica. Y, con ello tener una perspectiva del déficit ambiental, el cual permitirá establecer un horizonte en cuanto a las metas ambientales.



3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo en la vereda El Callao, zona rural del Municipio de Valledupar - Cesar mediante los índices ICA y UWQI para Colombia.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas de la Quebrada Potrerillo en periodos de lluvia y seco.
- Establecer la calidad del agua en diferentes tramos de la Quebrada Potrerillo utilizando los Índices de Calidad del Agua (ICA) y UWQI.
- Analizar las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros físicos y químicos.
- Diseñar estrategias de conservación y protección sobre la fuente hídrica.



4. Marco Referencial

4.1. Antecedentes

Perevochtchikova, M. (2012). Desarrolló el proyecto de investigación llamado “La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales”. Metodológicamente, el trabajo se basa en la investigación documental y la realización de consultas con los especialistas y las autoridades en el tema, incluyendo la organización de un taller de trabajo. En este trabajo se presenta una revisión del proceso de aceptación de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) en el ámbito internacional y nacional, como herramienta indispensable de la política pública ambiental dirigida hacia la implementación de principios de sustentabilidad; resaltando la importancia y la problemática compleja de la construcción de indicadores ambientales dentro de este proceso. A partir de lo anterior se plantea un estado del arte, con posterior discusión acerca de los alcances y limitantes del proceso de la EIA y de los indicadores ambientales en México y para el caso de estudio del Distrito Federal.

La Universidad Cooperativa de Colombia sede Bogotá desde enero de 2014, ha estado desarrollando el proyecto de investigación denominado “Variables de mayor impacto sobre los indicadores de calidad de agua”. Analizaron reportes experimentales suministrados por publicaciones especializadas y organizaciones gubernamentales del orden nacional e internacional. Esta información fue relevante y sirvió como base para la determinación de los parámetros que podrían contribuir a mejorar los procesos de gestión del recurso hídrico. Como resultado de su desarrollo, lograron obtener la información detallada de los parámetros que contribuyen al mejoramiento de los procesos de gestión del recurso hídrico.

Rodríguez, J., Sánchez, J., & Serna, J. (2016). Estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, realizaron el proyecto de investigación al cual denominaron “Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos”. Aplicaron una metodología exploratoria para concretar la conceptualización de cada índice. Este artículo considera una revisión de la literatura de los principales métodos de índices de calidad del agua aplicados en cuerpos de aguas superficiales, propuestos para la evaluación de la significancia

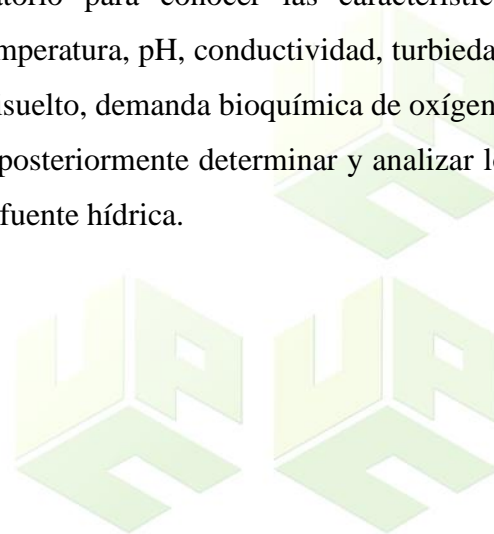
de parámetros de calidad del agua y que usualmente son utilizados en la toma de decisiones para la intervención de medidas de prevención y estratégicas por los responsables de la conservación y preservación de las cuencas hidrográficas a donde pertenecen estos cuerpos de agua. Como resultado, observaron que existen varios métodos relevantes para su determinación, aplicado en los cuerpos de agua superficial.

Agudelo., R., Gutiérrez., L., & Ríos., S. (2017). Desarrollaron el artículo denominado “Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano”. Usaron microorganismos bioindicadores de calidad del agua que disminuyeron los costos y facilitaron la implementación de medidas eficientes de tratamiento, control del agua y de enfermedades asociadas a su transmisión. Esperaron describir los principales indicadores microbiológicos empleados para la evaluación del agua potable, como elementos clave para proponer un nuevo esquema de monitoreo en Colombia. Los resultados permiten considerar como bioindicadores, además de las bacterias y protozoos establecidos en la norma, algunos agentes microbianos como virus u otras bacterias y parásitos. Por otro lado, indican la necesidad de establecer valores de referencia y definir los microorganismos a emplear con base en evaluaciones específicas de la situación microbiana del agua en monitoreo de validación, operación y verificación.

Caho, C., & López, E. (2017). Desarrollaron el artículo denominado “Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI1”. Como metodología, realizaron una comparación espaciotemporal, entre agosto de 2015 y abril de 2016, seleccionando cuatro puntos de muestreo y monitorizando parámetros fisicoquímicos en cuatro periodos diferentes. Esperaron analizar espacio-temporalmente el índice de calidad de agua del sector Guaymaral, a través de dos metodologías de medición de cálculo: UWQI y CWQI. Como resultado se obtuvieron que la mayoría de puntos muestreados y valorizados por el ICA-UWQI tuvieron una valoración de regular, y para el ICA-CWQI, de pobre. Y determinaron que de las dos metodologías la UWQI es ideal para evaluar rápidamente algún uso específico del agua, pues permite inmediatez en la toma de decisiones, y que la CWQI es ideal para los estudios de evaluación espaciotemporal.

Mejía, E., & Quintero, G. (2018). Desarrollaron el proyecto denominado “Evaluación de la calidad del agua del Río Maracas ubicado en el municipio de Becerril - Cesar, implementando los índices ICO e ICA para Colombia”. El estudio presente lo realizaron en tres puntos estratégicos a lo largo de todo el Río Maracas con el fin de determinar las perturbaciones en la calidad del agua generadas por las diferentes actividades antrópicas, la evaluación fue determinada por el índice de calidad del agua (ICA); el cual es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Esperaron comparar los valores calculados del indicador 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). Los resultados les permitieron realizar una comparación temporal de la calidad del agua calificada mediante las cinco categorías y colores que simplifica la interpretación, la identificación de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades.

Molina, J. & Pinto, L. (2019). Evaluación de la calidad del agua del Río Calenturitas, en el departamento del Cesar, implementando el Índice de Calidad del Agua (ICA) y los Índices de Contaminación (ICOs) para Colombia. En la presente investigación se tomaron muestras del cuerpo de agua superficial y se llevaron al laboratorio para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tales como temperatura, pH, conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos, dureza total, alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, y así, posteriormente determinar y analizar los Índices de Calidad y los Índices de Contaminación de la fuente hídrica.



4.2. Marco Teórico

4.2.1. Fuentes Hídricas

Las fuentes hídricas son todas las corrientes de agua ya que sea subterránea sobre la superficie de las cuales nosotros podemos aprovecharla ya sea para la generación de energía ya sea para uso personal las fuentes hídricas pueden ser los ríos, manantiales, pozos ríos subterráneos etc.¹

4.2.1.1. Tipos de Fuentes Hídricas. Permite establecer el tipo de fuente asociada al permiso ambiental, en donde se encuentra una lista desplegable asociada a lo siguiente (Decreto 1541 de 1978. Capítulo I.): estuario, aguas subterráneas, arroyo, ciénaga, canal, caño, embalse, jaguey, lago o laguna, mar, pantano y quebrada río.

4.2.2. Principales Contaminantes de la Fuente Hídrica

Dentro de los principales agentes contaminantes de la fuente hídrica se encuentran:

- Agentes patógenos: Bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran a las aguas provenientes de desechos orgánicos.
- Desechos que requieren oxígeno: Los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas.
- Sustancias químicas inorgánicas: Ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo), envenenan el agua. Los nutrientes vegetales también pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta).
- Sustancias químicas orgánicas: Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida.
- Sedimentos o materia suspendida: Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación.
- Sustancias radiactivas que pueden causar defectos congénitos y cáncer.
- Calor: Ingresos de agua caliente que disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables.²

¹Blogger. Fuente Hídrica. Institución Educativa Indígena Técnico Agropecuario-Cabildo De Escobar Arriba Sampues. 2013. [On-line]. Disponible en: <http://fuenteshidricazonaindigena.blogspot.com/>

²Chaparro, L.R., Cuervo, M.P., Gómez, J., Toro, M.A. Emisiones al ambiente en Colombia. En: El Medio Ambiente en Colombia. Capítulo 13. Bogotá: Colombia, 2001. p. 540-542.

4.2.3. Parámetros Físicos y Químicos del Agua

4.2.3.1. Parámetros Físicos del Agua.

En la tabla 1, se evidencian los parámetros físicos que fueron evaluadas en la Quebrada Potrerillo.

Tabla 1.

Parámetros físicos del agua.

Parámetros físicos	Tipo de contaminación que indica
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.
Materiales en Suspensión	Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas).
Conductividad	El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.

Fuente: Navarra, 2007.

4.2.3.2. Parámetros Químicos del Agua.

En la tabla 2, se evidencian los parámetros químicos que fueron evaluadas en la Quebrada Potrerillo.

Tabla 2.

Parámetros químicos del agua.

Parámetros químicos	Tipo de contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto OD	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo, la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.
Fósforo total	El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Fuente: Navarra, 2007.



4.2.4. Prevención de la Contaminación por Actividades Agrícolas

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud y a la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS, 2002):

- Gestión de los residuos sólidos animales para evitar la contaminación del agua superficial y subterránea.
- Reducción del uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes.
- Eliminar el uso de pesticidas de elevada toxicidad, dando prioridad al uso de productos de origen biológico menos contaminantes.
- Reducción de la erosión a través del empleo de prácticas conservativas.
- Disposición adecuada de los envases de pesticida, contenedores, agua de limpieza, etc.

4.2.5. Prevención de la Contaminación por Arrastre de Agua de Lluvia en Zonas Urbanas

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud y a la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS, 2002):

- Disponer de un sistema de recolección adecuada y oportuna de basura.
- Mantener calles y patios de las casas libres de basura, hojas, botellas, etc.
- Evitar la defecación en zonas abiertas y sujetas a arrastre.
- Disposición adecuada de heces.
- Disponer adecuadamente restos de pintura, aceite usado, productos químicos domésticos, etc., nunca echar a la calle o a los desagües.
- Los aceites usados deben ser recolectados; de ninguna manera esos productos deben ser descargados en los desagües o en las calles. Controlar zonas de erosión con adecuada protección.
- Adecuada operación y limpieza de tanques sépticos.
- Utilizar detergentes con bajo contenido de fósforo, para reducir la cantidad de nutrientes descargada en lagos y ríos.

4.2.6. Indicadores Ambientales

Los indicadores ambientales pueden ser cuantitativos o cualitativos, dependiendo de la naturaleza de la medición o apreciación. Un indicador cuantitativo es un parámetro o un valor

calculado a partir de un conjunto de parámetros, que sirve para medir y ofrecer información sobre un fenómeno (Perdomo, 2018).

4.2.6.1. Tipos de Indicadores Ambientales. Según (Perdomo, 2018). Los indicadores ambientales pueden clasificarse en tres tipos:

Tipo I

Indicadores para cuya generación existen datos completamente disponibles obtenidos a través de un monitoreo permanente.

Tipo II

Indicadores cuyo cálculo implica datos parcial o totalmente disponibles provenientes del monitoreo permanente y que requieren datos adicionales, análisis y manejo previo de los mismos.

Tipo III

Indicadores estrictamente conceptuales que no poseen formulación matemática, ni datos disponibles.

4.2.6.2. Características de los Indicadores Ambientales. (Perdomo 2018). Señala que... Los indicadores ambientales, deben poseer la mayor cantidad de las siguientes características:

- Ser inteligibles y de fácil manejo.
- Ser fiables (medir efectivamente lo que se supone han de medir).
- Ser pertinentes, específicos y unívocos (lo cual implica correspondencia con los objetivos de su diseño, su capacidad de medir un aspecto del análisis, no dar pie a diversas interpretaciones).
- Ser sensibles (registrar los cambios en las variables de interés).
- Ser eficientes y oportunos (que compensen el tiempo y dinero que cuesta obtenerlos y que se puedan obtener cuando se necesiten).
- Poseer capacidad prospectiva y replicabilidad (dar alternativas y poder ser medidos en el largo plazo).

4.2.6.3. Funciones y Requisitos de los Indicadores. Para Perdomo, 2018. Las funciones más importantes de un indicador ambiental son:

- Evaluar condiciones y tendencias del ambiente,

- Comparar situaciones a través del tiempo y espacio,
- Evaluar condiciones y tendencias con respecto a objetivos y metas preestablecidas,
- Brindar información clave anticipadamente,
- Anticipar tendencias y condiciones futuras.

Su uso facilita la vigilancia y la toma de decisiones en orientadas a la mejora de las condiciones ambientales bajo el concepto de desarrollo sostenible (Perdomo, 2018).

Los indicadores ambientales constituyen un valor relativo a un fenómeno, capaz de ofrecer más información que la que se desprende de la mera configuración del parámetro, un sistema de indicadores ambientales debe ofrecer un significado más amplio que el asociado a cada uno de los indicadores (Perdomo, 2018).

Los indicadores pueden entenderse como las células del sistema de indicadores, donde es preciso establecer de ofrecer más información que la que se desprende de la mera configuración del con claridad las conexiones necesarias para dar funcionalidad al conjunto (Perdomo, 2018).

4.2.7. Indicadores Hídricos

Para explicar el estado en cuanto a la cantidad y calidad del agua en Colombia, se desarrolló el "Sistema de Indicadores Hídricos" que pretenden responder a los cuestionamientos sobre la disponibilidad del recurso y las restricciones por afectaciones a la oferta o a la calidad. Estos índices están asociados al régimen natural (Índice de Aridez - IA, Índice de Regulación Hídrica - IRH) y a la intervención antrópica (Índice de Uso del Agua - IUA, Índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento- IVH, Índice de Amenaza Potencial por Afectación a la Calidad del Agua - IACAL e Índice de Calidad del Agua - ICA) (IDEAM, 2011).

4.2.7.1. Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA). 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 seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2011).

4.2.7.1.1. Finalidad o 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 conceptualizar 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 (IDEAM, 2011).

Según (IDEAM, 2011). Se han identificado seis 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.

4.2.7.1.2. Metodología de cálculo ICA. (IDEAM, 2011). Señala que...El índice se calcula teniendo en cuenta la concentración de seis variables y la fórmula de cálculo es:

$$ICA_{njt} = \left[\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right] \quad (1)$$

Donde:

ICA_{njt} 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 en el trimestre k , del periodo de tiempo t .

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 6 dependiendo de la medición del ICA 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 esos periodos, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{ICA Promedio } n_{jt} = \frac{\sum_{k=1}^m [\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt}]}{m} \quad (2)$$

Donde:

m es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. $1 \leq m \leq 4$, si el periodo es anual.

En la siguiente tabla se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplean 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 3.

Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno Disuelto, OD.	% Saturación	0,17
Sólidos Suspendedos 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, C.E.	$\mu\text{S/cm}$	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: IDEAM, 2011.

- **Cálculo del valor de cada variable**

Para (IDEAM, 2011). El cálculo del valor de cada variable es el siguiente:

Oxígeno disuelto (OD)

Esta variable tiene el papel biológico define la presencia o ausencia de especies acuáticas.

Se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} .

$$PS_{OD} = \frac{Ox \cdot 100}{C_p} \quad (3)$$

Donde:

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

C_p : es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación, se hace a partir de la siguiente ecuación (Centro de investigaciones en Hidroinformática, 2007):

$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{TE}\right) - \left(\frac{66423080}{TE^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{TE^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{TE^4}\right) \quad (4)$$

Dónde:

TE =Temperatura (K).

Tabla 4.

Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno.

Nivel de DO	Porcentaje de saturación de DO	Consecuencias
Supersaturación	$\geq 101\%$	Sistemas en producción fotosintética
Excelente	90% - 100%	Porcentajes adecuados para el desarrollo de vida de especies acuáticas y otros organismos.
Adecuado	80% - 89%	Porcentajes adecuados para el desarrollo de vida de especies acuáticas y otros organismos.
Aceptable	60% - 79%	Desaparición de organismos y especies sensibles.
Pobre	$< 60\%$	Muerte masiva de organismos aerobios

Fuente: Adaptada de Vernier, s.f.

Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el valor I_{OD} se calcula con la ecuación:

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

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%.

$$I_{OD} = 1 - (0,01 \cdot PS_{OD} - 1) \quad (6)$$

Sólidos suspendidos totales (SST)

Presencia de sólidos en suspensión en una fuente hídrica indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente, la presencia de estos se relaciona con erosión, vertimientos de industrias, extracción de materiales y disposición inadecuada de residuos, está relacionada con la turbiedad.

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula con la ecuación:

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST) \quad (7)$$

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

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

Demanda química de oxígeno (DQO)

Denota la presencia de sustancias químicas susceptibles a oxidación en condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica.

Se determina mediante las siguientes relaciones:

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

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

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

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

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

Conductividad eléctrica (C.E.)

Se relaciona con la suma de los cationes y aniones determinada en fórmula química, reflejada la mineralización. Se calcula mediante la siguiente ecuación

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log 10 C.E.)} \quad (8)$$

cuando $I_{C.E.} < 0$, entonces $I_{C.E.} = 0$.

pH

Mide la acidez, valores extremos que pueden afectar la flora y la fauna acuática (IDEAM, 2011).

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

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0.02628419 \cdot e^{(pH-0,520025)}$

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

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8)-0,5187742]}$

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

Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)

Mide la degradación por intervención antrópica; es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como 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 (desde el norte de Argentina hasta el centro de Méjico).

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

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

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

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

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

4.2.7.2. ICA UWQI-IDEAM. El IDEAM en el ENA (Estudio Nacional del Agua) adoptó la metodología UWQI (Universal Water Quality Index), la cual fue desarrollada y aplicada con el fin de obtener un índice simplificado para establecer la calidad de agua usada para el consumo humano. Para el cálculo se emplea una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, cuya estructura de cálculo es la que se presenta en la ecuación (Torres et al., 2009):

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (9)$$

Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y I_i es el subíndice del i -ésimo parámetro. El IDEAM (2011) adoptó cinco variables básicas para la determinación del ICA en los cuerpos de agua: una de estado (oxígeno disuelto) y cuatro de presión (demanda química de

oxígeno –DQO–, conductividad eléctrica –CE–, sólidos suspendidos totales –SST–, y pH (Aguirre, García, Onofre, Sánchez, & Vargas, 2011).

Tabla 5.

Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables.

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, C.E.	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM, 2011.

Los valores del ICA del IDEAM comprenden una escala de cero a uno, en cinco categorías: muy mala, entre 0.00 y 0.25 (se representan con un color rojo); mala, entre 0.26 y 0.50 (color naranja); regular, entre 0.51 y 0.70, (color amarillo); aceptable, entre 0.71 y 0.90 (color verde) y buena, entre 0.91 y 1.00 (color azul) (IDEAM, 2011).

Tabla 6.

Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.

CATEGORÍAS DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL 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

Fuente: IDEAM, 2011.



4.3. Marco Conceptual

Análisis fisicoquímico del agua: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Contaminación: La contaminación se denomina a la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal.

Fuente hídrica: Son los ríos, riachuelos, manantiales, quebradas y pozos lo cuales deben ser preservados para que en el futuro puedan ser aprovechados pues estos son los que proveen agua a las comunidades.

Fuente superficial: El agua superficial es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas.

Indicador ambiental: La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2003) define un indicador como “un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el medio ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro”.

Índice de calidad del agua (ICA): Califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de seis variables.

ICA UWQI-IDEAM: Establece la calidad de agua usada para el consumo humano.

Muestra simple: Se toma en un sitio determinado y una sola vez. Se utiliza para determinar parámetros de calidad del agua.

Muestreo: Consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características.

Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.



Prevención ambiental: Los procedimientos de prevención ambiental permiten conocer la incidencia de un proyecto o actuación sobre el entorno y adoptar las medidas para evitar o corregir los impactos que pudieran producirse.

Quebrada: Es una zanja o canal a cielo abierto construido para el regadío, abastecimiento o similares fines.

Vertimiento: Sustancias químicas, elementos o compuestos que pueden causar daños o son tóxicos para la salud humana o cualquier forma de vida acuática. Se consideran sustancias de interés sanitario las sustancias contenidas en el Decreto 1076 de 2015 Sección 4. Vertimientos, artículo. 2.2.3.3.4.1.



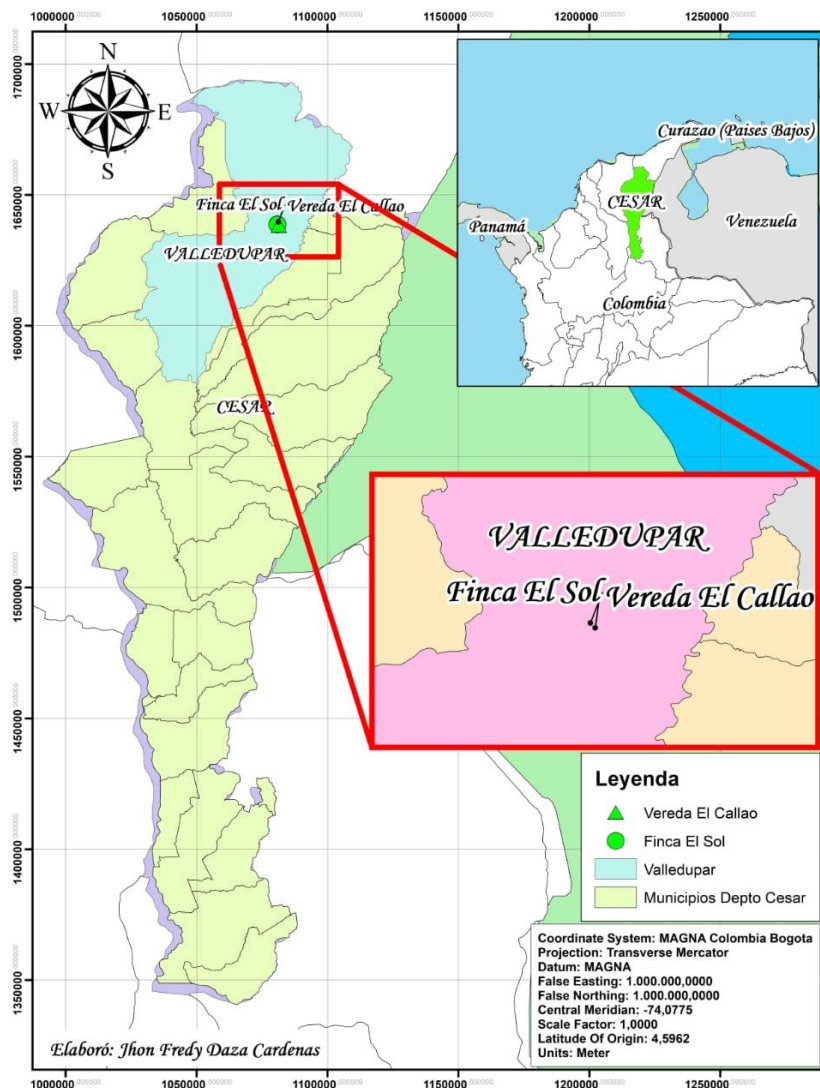
4.4. Marco Contextual

4.4.1. Localización

La vereda El Callao se encuentra ubicada a 18,2 km al suroeste (vía Aguas Blancas-Valledupar, vía Bosconia - Valledupar, carretera 80) de la zona urbana de la ciudad de Valledupar, Cesar.

Figura 1.

Ubicación de la vereda El Callao.

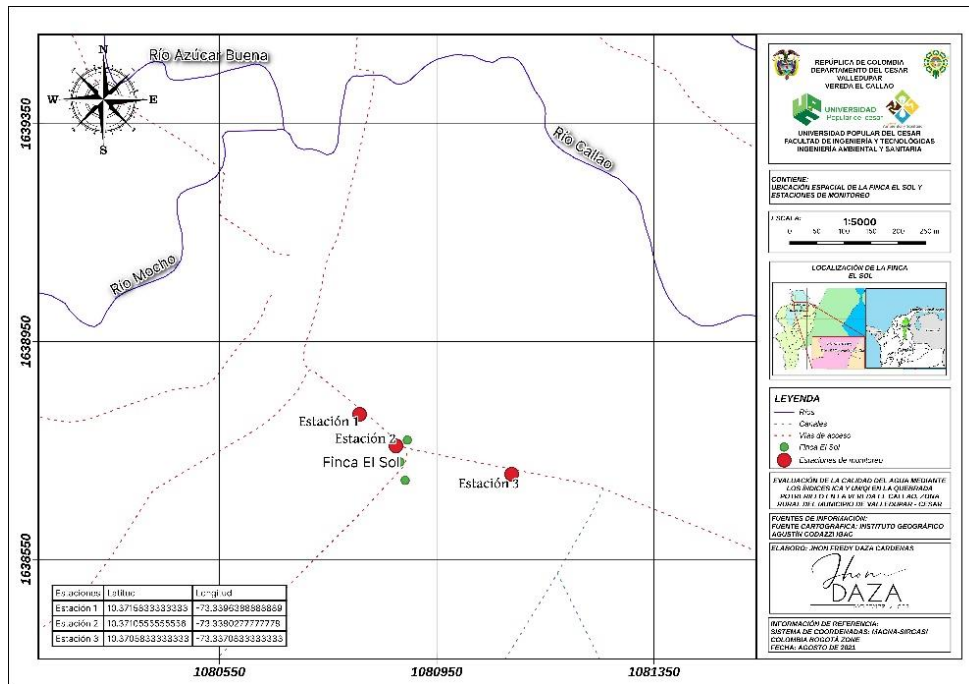


Fuente: Daza, J. F. 2020.

4.4.2. Zona de estudio

Figura 2

Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.



Fuente: Daza, J. F. 2021.

4.4.3. Clima

La vereda El Callao dada su latitud, se encuentra en la zona de dominios tropicales, posee un clima tropical donde las características generales del clima son elevadas temperaturas y escasa oscilación térmica anual.

4.4.4. Relieve

Mediante el sistema de clasificación de las Zonas de Vida Natural del Mundo de Leslie Holdridge se definió la vereda El Callao como un Bosque Seco-Tropical ya que por sus características presenta las mejores condiciones para actividades como la ganadería y la agricultura. Además, la vegetación arbórea va desapareciendo poco a poco para dar paso a los potreros y zonas de cultivo.

4.5. Marco Legal

Los aspectos legales fueron determinados mediante una investigación detallada a la normativa ambiental vigente aplicable, teniendo como resultado una lista eficiente para el desarrollo y evaluación de este tipo de proyecto.

Tabla 7.

Aspectos legales.

TEMÁTICA	LEYES, DECRETOS O RESOLUCIONES	CONTENIDO
Constitución	Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia 1991	El derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano; la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo; y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro efectivo de estos fines.
	Ley 9 del 6 de Enero de 1979	Por medio del cual se fija el manejo de medidas sanitarias, uso de todo tipo de aguas.
Agua	Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 M.S.901 de 1997 M.M.A.	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 (vertimientos).
	Decreto 1729 del 6 de Agosto de 2002	“Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones.”
	Decreto 1775 del 4 de Mayo de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
	Resolución 1096 del 7 de Noviembre de 2000	"Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS"

	Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
	Resolución 0631 del 7 de Marzo 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.
Residuos sólidos	Ley 9 del 24 de Enero de 1979	Código Sanitario Nacional. Por la cual se dictan medidas sanitarias. Establece las normas sanitarias y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
	Decreto 605 del 27 de Marzo de 1996	Por el cual se reglamenta el manejo de residuos sólidos.
	Decreto 1713 del 6 de Agosto de 2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Gestión ambiental	Ley 23 del 12 de Diciembre de 1973	Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
	Ley 99 del 22 de Diciembre de 1993	Por la cual se reordena al sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Se organiza el sistema ambiental SINA y otras disposiciones.

Fuente: Los autores, 2019.

5. Marco Metodológico

5.1. Línea y Sublínea de Investigación

El programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria cuenta con una línea de investigación (Sostenibilidad y Gestión Ambiental) y esta a su vez se encuentra compuesta por nueve ejes temáticos dentro de los cuales se encuentra Gestión Integral del Recurso Hídrico, en el cual enmarcamos nuestro proyecto.

5.2. Tipo de Investigación

Tomando como base la guía para elaboración de proyectos (Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2021) se afirma que este proyecto se sustenta en dos tipos de investigación que son cuantitativa y cualitativa cuyo propósito es la evaluación de la calidad del agua en la Quebrada Potrerillo donde se describe su comportamiento hídrico a través de parámetros físico y químicos para posteriormente ser explicado por medio de datos estadísticos obtenidos de la correlación entre ellos y un análisis de componentes principales, y así tener un mayor entendimiento sobre el origen de los agentes contaminantes presentes en la microcuenca.

5.3. Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio, su nivel de investigación es descriptivo y correlacional. Según (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) los estudios de alcance descriptivos buscan especificar las propiedades, características y perfiles individuales de personas, grupos, procesos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Por otro lado, el estudio de nivel correlacional tiene la finalidad de conocer la relación que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra. Entonces, de esta manera se podrá estudiar los posibles riesgos ambientales asociados a la concentración de los parámetros establecidos, como lo son: Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, DQO, relación Nitrógeno Total/ Fosforo Total y como afecta la relación entre las variables en la calidad del agua en la Quebrada Potrerillo.

5.4. Población de Estudio

La población de estudio para este proyecto fue el agua de la Quebrada Potrerillo en la vereda El Callao, zona rural del Municipio de Valledupar - Cesar.

5.5. Muestra Poblacional

La muestra poblacional para este proyecto fueron tres estaciones ubicadas en la parte alta, parte media y parte baja de la Quebrada Potrerillo en la finca El Sol en la vereda El Callao, zona rural del Municipio de Valledupar - Cesar.

5.6. Desarrollo Metodológico

5.6.1. Etapa 1: Determinar las Propiedades Físicas y Químicas de la Quebrada Potrerillo en Periodo de Lluvia (Diciembre, 2020) y Seco (Julio, 2021)

Actividad 1.1. Selección de tramo para la ubicación de estaciones de muestreo de la Quebrada Potrerillo.

Descripción: En esta actividad se delimitó el tramo donde se ubicaron las estaciones de muestreo para el desarrollo del proyecto de investigación. Después de precisar el tramo objeto de estudio de la Quebrada Potrerillo se establecieron tres estaciones de muestreo total las cuales fueron nombradas E1, E2 y E3, donde se harán las respectivas muestras en periodo de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021). Con el fin de analizar y evaluar la dinámica de la fuente hídrica en tiempo seco y lluvioso a través de su estudio físico y químico.

Una vez identificadas las estaciones de muestreo, se fijó su posición tomando las coordenadas geográficas con un GPS para representarlas en un mapa y que facilitará su localización posterior.

Actividad 1.2. Toma de muestras de la Quebrada Potrerillo.

Descripción: Se realizó la visita de campo a la Quebrada Potrerillo, donde se obtuvieron las muestras representativas de los puntos E1, E2 y E3 del tramo seleccionado de este cuerpo de agua superficial en Periodo de Lluvia (diciembre, 2020) y Seco (julio, 2021).

Todo esto se realizó teniendo en cuenta las vías de acceso vehicular y peatonal necesarios, de tal forma que se facilitara la obtención de las muestras y su transporte ya que para el desarrollo de esta actividad se necesitaron equipos y materiales de muestreo. Así mismo, fue importante considerar las condiciones meteorológicas del sitio para garantizar la seguridad de las personas, minimizando los riesgos de accidentes y de lesiones personales.

Se utilizó la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas como referencia para una toma de muestra óptima y de buena calidad. Donde se obtuvo la información necesaria para escoger los materiales necesarios como recipientes plásticos de 1L debidamente rotulados, termómetro, nevera portátil (cava), GPS, Cámara y Acta de toma de muestras. Además, el paso a paso del procedimiento de toma de muestras y determinar el tipo de muestreo (simple o puntual) a adecuado para este estudio.

Actividad 1.3. Trabajo de laboratorio.

Descripción: Luego de obtener las muestras y ser preservadas, fueron enviadas al laboratorio de Zonas Costeras S.A.S. para realizar los estudios pertinentes y poder determinar por medio de los diferentes métodos los parámetros establecidos los resultados del proyecto de investigación, en los que se destacan:

Tabla 8.

Métodos para determinar los parámetros físicos y químicos.

Parámetros	Lugar	Métodos de referencia
Temperatura	In situ	Electrométrico
pH	In situ	SM 4500-H ⁺ B/Electrométrico
Sólidos Suspendidos Totales, SST	Laboratorio	SM 2540 D/Gravimétrico – Secado a 103°C – 105°C
Demanda Química de Oxígeno, DQO	Laboratorio	SM 5220 D/Reflujo Cerrado - Colorimétrico
Nitrogeno Total, NT	Laboratorio	SM 4500 Norg C, SM 4500 NH ₃ B, C /Semi-micro Kjeldahl, Destilación
Fósforo Total PT.	Laboratorio	SM 4500-P, B, E/Digestión Ácido Ascórbico
Conductividad eléctrica, C.E.	Laboratorio	SM-2510 B /Electrométrico

Oxígeno Disuelto,
OD

Laboratorio

SM 4500-0 G / Electrométrico

Fuente: Los autores, 2019.

5.6.2. Etapa 2: Establecer la Calidad del Agua en Diferentes Tramos de la Quebrada Potrerillo Utilizando los Índices de Calidad del Agua (ICA) y UWQI

Actividad 2.1. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Quebrada Potrerillo.

Descripción: Para la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA), se calculó conforme a las ecuaciones X, Y y Z obtenida de (IDEAM, 2011). Fue necesario contar con las concentraciones de las siguientes variables pH, Sólidos Suspendedos Totales SST, Demanda Química de Oxígeno DQO, Nitrógeno Total NT, Fósforo Total PT, Conductividad eléctrica C.E. y Oxígeno Disuelto, los cuales se determinaron por los estudios analizados in situ y muestras de laboratorio procesados por la empresa Zonas Costeras S.A.S.

Actividad 2.2. Determinación del Índice UWQI de la Quebrada Potrerillo.

Descripción: Para determinar UWQI se empleó una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, cuya estructura de cálculo es la que se presenta en su ecuación.

5.6.3. Etapa 3: Analizar la Correlación Estadística Presentada entre los Parámetros Físicos y Químicos Obtenidos de la Quebrada Potrerillo en Periodo de Lluvia (Diciembre, 2020) y Seco (Julio, 2021)

Actividad 3.1. Tratamiento Estadístico.

Descripción: Para el desarrollo del análisis estadístico se utilizó el software SPSS Statistics Versión 24, por medio de la aplicación de herramientas como la correlación Pearson integradas que arrojaron datos de las correlaciones que hay entre los parámetros físicos y químicos, de este modo determinar cuál es el grado de asociación lineal entre pares de variables, también herramientas para el análisis de los componentes principales y de la matriz de componente rotados.

5.6.4. Etapa 4: Diseñar Estrategias que Permitan Medidas de Conservación y Protección de la Fuente Hídrica Quebrada Potrerillo

Actividad 4.1. Estrategias de conservación y protección sobre la fuente hídrica.

Descripción: A partir de los resultados obtenidos del análisis de la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo, se establecieron las medidas de la conservación y protección de la fuente hídrica dirigido a la comunidad y actores que puedan posteriormente aplicarlas en la microcuenca. Estas estrategias estarán encaminadas y fundamentadas en la capacidad de adaptación de alternativas a la realidad local que responde a las necesidades y exigencias actuales, alcanzando un aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales.



6. Resultados y Análisis

6.1. Ubicación de las Estaciones de Muestreo y Toma de Muestras en la Quebrada

Potrerrillo

6.1.1. Estaciones de Muestreo

En la tabla 9, se muestran las coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo obtenidas en campo teniendo en cuenta factores como seguridad, accesibilidad y puntos estratégicos con el fin de obtener muestras representativas de buena calidad y salvaguardar la integridad del encargado de las tomas de muestras.

Tabla 9.

Estaciones de muestreo.


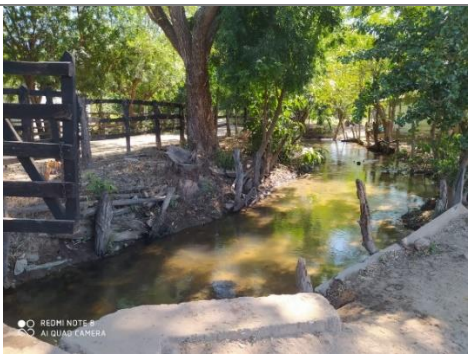

Estaciones	Coordenadas
Estación 1	10°22'17.7" N 73°20'22.7" W
Estación 2	10°22'15.8" N 73°20'20.5" W
Estación 3	10°22'14.1" N 73°20'13.5" W

Fuente: Los autores, 2019.

En la figura 2, se observa en la ubicación espacial de la finca El Sol (puntos verdes) respecto a las estaciones de muestreo (puntos rojos) escogidos estratégicamente a lo largo del tramo de la Quebrada Potrerillo como objeto de estudio. También se logra apreciar al norte de la Quebrada Potrerillo la influencia y aporte hídrico de los ríos Mocho y Azúcar Buena.

En la tabla 10 se muestra la descripción de los puntos de las estaciones de muestreo en el tramo de la Quebrada Potrerillo que corresponden a E1, E2 y E3 y su registro fotográfico respectivamente en periodo seco (julio, 2021).

Descripción de los puntos de las estaciones de muestreo (julio, 2021).

Punto de muestreo	Registro fotográfico	Descripción del punto
<p>E1 (aguas arriba de la Quebrada Potrerillo)</p>		<p>La ubicación de este punto de muestreo fue aguas arriba del tramo seleccionado de la Quebrada Potrerillo, preferiblemente sin intervención de actividades agrícolas o de ganadería. Ver figura 2.</p>
<p>E2 (punto medio de la Quebrada Potrerillo)</p>		<p>Se ubicó en la parte media del tramo de la Quebrada Potrerillo. Para la selección de este punto se tiene en cuenta que exista intervención de actividades antrópicas propias de la zona para determinar la influencia de las aguas residuales sobre este cuerpo de agua. Ver figura 2.</p>
<p>E3 (aguas abajo de la Quebrada Potrerillo)</p>		<p>Se ubicó aguas abajo del tramo seleccionado de la Quebrada Potrerillo, con el fin de conocer las condiciones y comportamiento hídrico luego de ser intervenida por actividades realizadas por la población. Ver figura 2.</p>




Fuente: Los autores, 2021.

Se pudo apreciar con la visita en campo que la Quebrada Potrerillo en periodo de sequía (julio, 2021) mantenía un caudal aproximado de 158 L/s, esto se debe a que la quebrada tiene aportes de caudal constante de los Ríos Azúcar Buena y El Mocho. Aguas arriba las fincas desvían el curso natural del agua de estos ríos para mantener los caudales en tiempos de sequía debido al uso de la ganadería y agricultura que le dan al recurso hídrico en esta zona. También se pudo

observar la erosión en las riveras de la Quebrada Potrerito por tala de árboles, huellas de los ganados, construcción de casas y potreros.

Tabla 11.

Descripción de los puntos de las estaciones de muestreo en periodo de lluvia (diciembre, 2020).

Punto de muestreo	Registro fotográfico	Descripción del punto en periodo de lluvia (diciembre, 2020)
E1 (aguas arriba de la Quebrada Potrerillo)		La ubicación de este punto de muestreo fue aguas arriba del tramo seleccionado de la Quebrada Potrerillo. Ver figura 2.
E2 (punto medio de la Quebrada Potrerillo)		Se ubicó en la parte media del tramo de la Quebrada Potrerillo. Ver figura 2.
E3 (aguas debajo de la Quebrada Potrerillo)		Se ubicó aguas abajo del tramo seleccionado de la Quebrada Potrerillo. Ver figura 2.

Fuente; Los autores, 2021.

En periodo de lluvia (diciembre, 2020) el caudal de la Quebrada Potrerillo es de 202 L/s este caudal no aumenta representativamente respecto al caudal en tiempos secos en esta quebrada por que dependen directamente de las fincas aguas arriba. Es decir, estas fincas tienen el control mediante compuertas las cuales abren y cierran dependiendo del periodo y sus beneficios propios. El agua en este periodo es más turbia.

6.1.2. Toma de Muestras

Las muestras se recolectaron directamente del cuerpo de agua de la Quebrada Potrerillo de forma manual bajos los parámetros indicados por el laboratorio Zonas Costeras S.A.S. Los recipientes y utensilios que se utilizaron fueron suministrados por el laboratorio a cargo del análisis de las muestras, el cual brindo una capacitación previa para realizar dicho muestreo y así cumplieran con los estándares de calidad de toma de muestras simples en aguas superficiales.

De esta manera se tomaron dos muestras representativas en cada una de las tres estaciones nombradas anteriormente como E1, E2 y E3 con un total de 6 muestras, recolectadas el día 15 de julio del 2021 periodo seco y el día 6 de diciembre de 2020 en periodo de lluvia, como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12.

Fecha de muestreo.

Nº Muestra	Estaciones	Fecha de muestreo	Tipo de agua	Tipo de muestreo
1	E1	Periodo Seco (15/07/2021)	Superficial	Simple
1	E2			
1	E3			
1	E1	Periodo de Lluvia (6/12/2020)	Superficial	Simple
1	E2			
1	E3			

Fuente: Los autores, 2021.

6.2. Análisis de los Parámetros Físicos y Químicos de la Quebrada Potrerillo

En las tablas 13 y 14 se presentan los resultados de la medición de parámetros físicos (Temperatura y pH) y químicos (Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendedos Totales, Oxígeno Disuelto, Fosforo Total, Nitrógeno Total y DQO) de la fuente hídrica Quebrada Potrerillo, esta información es de gran relevancia porque permite el análisis de la calidad del agua en las tres

estaciones E1, E2 y E3 y su comportamiento hídrico durante los periodos de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021).

Los resultados de los parámetros fueron comparados con el Decreto 1594 de 1984 el cual reglamenta usos del agua y residuos líquidos se resalta que este fue abolido por el decreto 3930 de 2010 y la Resolución 2115 de 2007 reglamenta el Valor Máximo Aceptable de parámetros fisicoquímicos para consumo humano. Se tienen en cuenta otros autores que complementan los valores máximos de los parámetros como SST (Ramírez & Viña, 1998), OD (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008) y DQO (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) para determinar el nivel de contaminación de aguas superficiales.

En el caso del parámetro químico DQO se toma como referencia 200 mg/L VLMP de la resolución 631 de 2015 que establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, ya que la Quebrada Potrerillo tiene aportes hídricos de la cuenca del Rio Mocho y Rio Azúcar Buena que en su recorrido presenta descargas de aguas residuales doméstica y agrícola de las fincas que se ubican aguas arriba.



Tabla 13.

Parámetros físicos y químicos de la Quebrada Potrerillo en periodo de lluvia (diciembre, 2020).

Fecha	Parametros	Unidad	Resultados			Normativa	
			E1	E2	E3	Decreto 1594 de 1984 uso agrícola	Resolución 2115 de 2007 consumo humano
Periodo de lluvia 06/12/2020	Temperatura	°c	26	25,7	27,2	< 40° C	< 40° C
	pH	U de pH	6,7	6,5	6,6	4,5 – 9,0	6,5 - 9,0
	Conductividad Electrica	µS cm ⁻¹	122	127	126	-	1000
	Solidos Suspendidos Totales*	mg L ⁻¹	10	11	11	-	-
	Oxigeno Disuelto**	mg L ⁻¹	4,2	4,3	4,3	-	-
	Fosforo Total	mgP L ⁻¹	0,66	0,67	0,68	Proporción que no ocasionen eutrofización	0,5
	Nitrogeno Total	mgN L ⁻¹	0,41	0,44	0,45	Proporción que no ocasionen eutrofización	10
	DQO***	mgO ₂ L ⁻¹	5	5	5	-	-

NOTA: *SST límite de 150 mg/L (Ramirez & Viña, 1998) **OD valores superiores a 4 mg/L (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008) *DQO VLMP 200 mg/L (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).**

Fuente: Los autores, 2021.

Tabla 14.

Parámetros físicos y químicos de la Quebrada Potrerillo Periodo Seco (julio, 2021).

Fecha	Parametros	Unidad	Resultados			Normativa	
			E1	E2	E3	Decreto 1594 de 1984 uso agrícola	Resolución 2115 de 2007 consumo humano
Periodo seco 15/07/2021	Temperatura	°c	29,4	30,9	31,2	< 40° C	< 40° C
	pH	U de pH	6,78	6,67	6,59	4,5 – 9,0	6,5 - 9,0
	Conductividad Electrica	µS cm ⁻¹	150	168	160	-	1000
	Solidos Suspendidos Totales*	mg L ⁻¹	12	14	14	-	-
	Oxigeno Disuelto**	mg L ⁻¹	4,4	4,6	4,8	-	-
	Fosforo Total	mgP L ⁻¹	0,108	0,117	0,121	Proporción que no ocasionen eutrofización	0,5
	Nitrogeno Total	mgN L ⁻¹	0,369	0,398	0,388	Proporción que no ocasionen eutrofización	10
	DQO***	mgO2 L ⁻¹	5	5	5	-	-

NOTA: *SST límite de 150 mg/L (Ramirez & Viña, 1998) **OD valores superiores a 4 mg/L (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008) *DQO VLMP 200 mg/L (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).**

Fuente: Los autores, 2021.

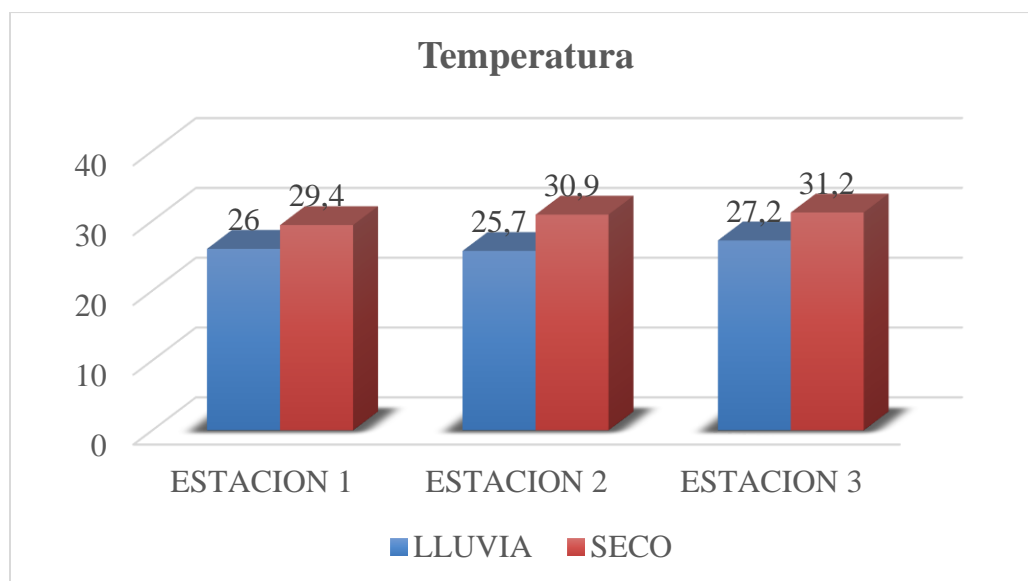
6.2.1. Temperatura

La temperatura es un indicador muy importante con el cual se puede predecir y confirmar las condiciones del agua. La variación en la temperatura del agua superficial tiene una influencia directa en la solubilidad de sales, contenido de OD, tasa de biodegradación orgánica de los materiales y la supervivencia de algunas especies biológicas (Gil, Vizcaino, & Montaña, 2018).

Los valores de temperatura de la Quebrada Potrerillo en las tres estaciones en el periodo lluvioso (diciembre, 2020) tuvo una variación de 1,5°C máxima y en periodo seco (julio, 2021) tuvo una variación de 1,8°C máxima, ver Figura 3. A pesar que existió una mayor elevación de este parámetro en periodo seco, no fue tan abrupto, lo que resulta positivo porque los cambios repentinos en la temperatura, pueden causar un choque térmico en algunas especies acuáticas y ocasionarles la muerte.

Figura 3.

Comportamiento de la temperatura en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Al comparar los resultados obtenidos de la temperatura de la Quebrada Potrerillo tomados en campo con el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 sobre los Valores Límites Máximos Permisibles VLMP de calidad del agua para uso agrícola y consumo humano respectivamente, estos se encuentran en los valores permisible menor o igual a 40°C. Su

comportamiento es acorde a los valores de temperatura ambiente de las zonas tropicales donde la temperatura se mantiene más o menos constante a lo largo del año (IDEAM, 2007).

6.2.2. pH

La mayoría de las aguas naturales no contaminadas tienen un pH en el entre 6,5 a 8,0 y es controlado principalmente por el sistema carbonato, lo que le da cierta capacidad de amortiguar los cambios drásticos de pH. Los cambios del pH en el agua pueden ocurrir por diversas razones, una de ellas la constituyen las prácticas agrícolas y pecuarias, siendo esta una actividad económica propia de la zona (Beita & Barahona, 2011).

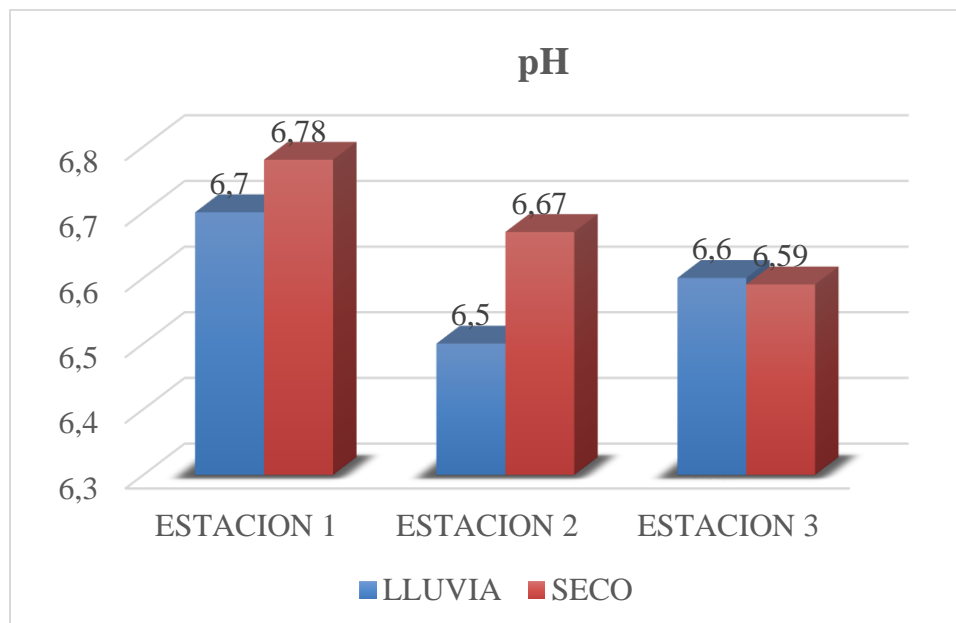
La figura 4 muestra las fluctuaciones de los valores del potencial de hidrogeno de la Quebrada Potrerillo en las 3 estaciones de muestreo en los periodos de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021). Se evidencia que los valores más bajos de pH se presentaron en periodo de lluvia (diciembre, 2020) con un promedio de 6,6 de las estaciones E1, E2 y E3; en el periodo seco de estudio (julio, 2021) el pH promedio de las tres estaciones fue de 6,7 por lo tanto hay una variación de 0,1 unidades de pH respecto al periodo estacional, esto es gracias a que en periodo de lluvia por la acción del escurrimiento las superficies del suelo ricas en minerales son transportados al flujo de agua, lo que genera una reducción en el valor del pH del agua.

Sin embargo, los valores del pH en los periodos de lluvia y seco de estudio son ligeramente ácido, se puede inferir que influye negativamente en los valores de parámetros físicos como oxígeno disuelto y DQO.



Figura 4.

Comportamiento del pH en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

De acuerdo con el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 sobre los VLMP de calidad del agua para uso agrícola y consumo humano, se recomienda que el ámbito de pH se encuentre entre 4,5 – 9,0 para uso agrícola; y un ámbito más estrecho 6,5 - 9,0 para consumo humano. Por lo tanto, los valores de pH de la Quebrada Potrerillo, durante el periodo de estudio se encuentran dentro de los VLMP recomendado por las dos normas.

6.2.3. Conductividad Eléctrica

Es un indicador del contenido de sales disueltas en el agua, cuya medición en campo es de gran importancia para la interpretación ambiental del recurso (IDEAM, 2007). Según (Gil, Vizcaino, & Montaña, 2018) la CE es el índice básico para verificar la idoneidad del agua para fines agrícolas.

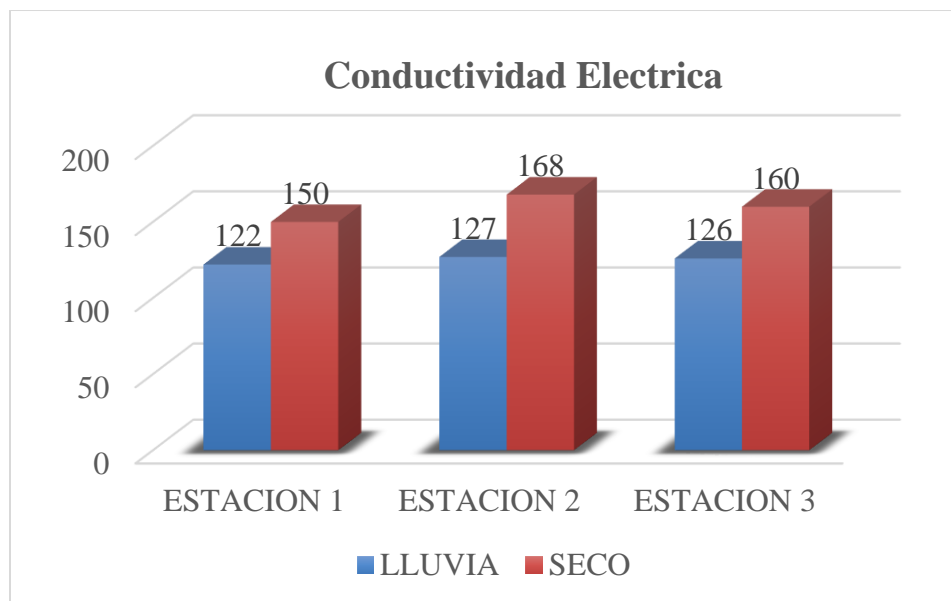
Los valores de CE en este estudio varían de 122 a 127 $\mu\text{S cm}^{-1}$ periodo lluvioso (diciembre, 2020) y 150 a 168 $\mu\text{S cm}^{-1}$ periodo seco (junio, 2021), en tiempo de lluvia el comportamiento entre las estaciones es más homogéneo respecto al periodo seco. Se puede observar que la conductividad eléctrica en los dos periodos de estudio va aumentando su concentración conforme

se va avanzando de E1 A E3, lo que permite suponer que el agua superficial de la Quebrada aumenta su concentración de electrolitos disueltos en el agua con la mezcla de las corrientes a lo largo de su flujo natural.

La CE refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas y SST en el agua. En la estación E2 como se observa en la figura 5 se presentan los valores de CE más altos tanto en periodo seco (julio, 2021) de $168 \mu\text{S cm}^{-1}$ y lluvioso (diciembre, 2020) de $127 \mu\text{S cm}^{-1}$, en este punto de muestreo se realiza vertimientos de aguas residuales domésticas y agrícolas que le aporta materia orgánica y concentraciones de sales disueltas a la corriente hídrica.

Figura 5.

Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Estos resultados sugieren que el aumento de caudal de la quebrada disminuyó la concentración de sólidos disueltos y contribuyó en la disminución de la conductividad. Sin embargo, estos valores no sobrepasan el valor máximo permisible de $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ establecido por la Resolución 2115 de 2007. La variación de los valores de conductividad muestra posiblemente carga de sal y sustancias disueltas en el agua, que pueden provenir de fertilizantes del sector agrícola y de aguas residuales domésticas.

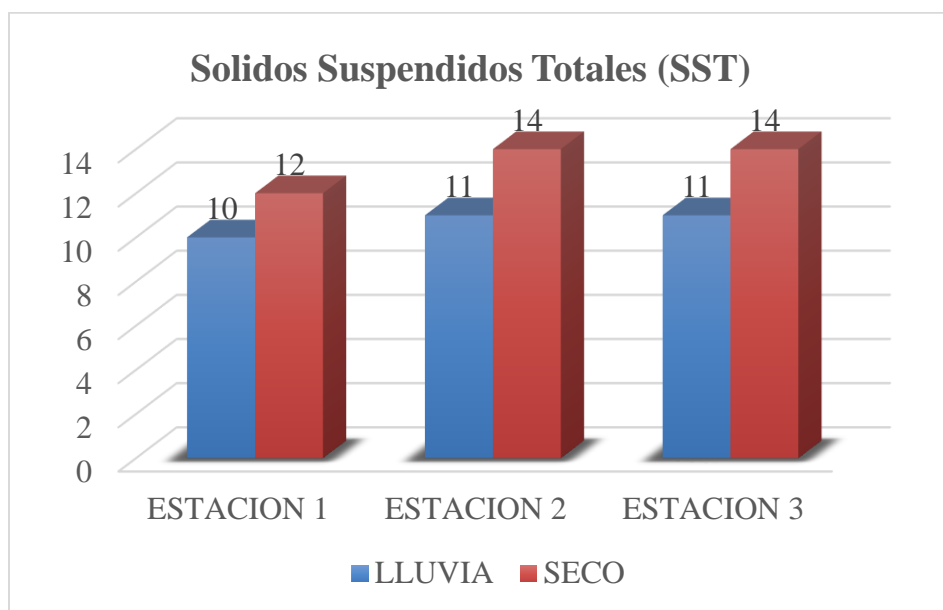
6.2.4. Sólidos Suspendidos Totales

La presencia de sólidos suspendidos totales en cuerpos de agua se debe principalmente a causa de procesos erosivos antrópicos o naturales y reducción en los niveles de caudal del agua, aumentando la cantidad de minerales en la misma (Caho & López, 2017). Es por esto que en las temporadas de sequía se observan los valores más altos de este parámetro como se puede apreciar en la figura 6 con un valor de 14 mg L^{-1} máximo en julio de 2021.

También se puede observar en la figura 6 que la concentración de los valores de SST va aumentando progresivamente entre 10 mg L^{-1} a 14 mg L^{-1} en la estación E1 a la E3, comportamiento que semejantes en los pedidos secos y lluviosos, estos efectos pueden ser por la disminución de la pendiente de descenso o la probabilidad de erosión sobre las riveras por acciones antrópicas y explotación del terreno (Gil, Vizcaino, & Montaña, 2018).

Figura 6.

Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Según (Ramírez & Viña, 1998) en sus aportes sobre aguas dulces o continentales establecen un valor límite de 150 mg L^{-1} de SST que al ser sobrepasado se consideraría un cuerpo de agua contaminado. Teniendo en cuenta los resultados de la concentración obtenidos del parámetro SST de la Quebrada Potrerillo estuvieron muy por debajo del valor límite, se pues inferir

que la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo el nivel de contaminación por SST es bajo (Gualdrón, 2016).

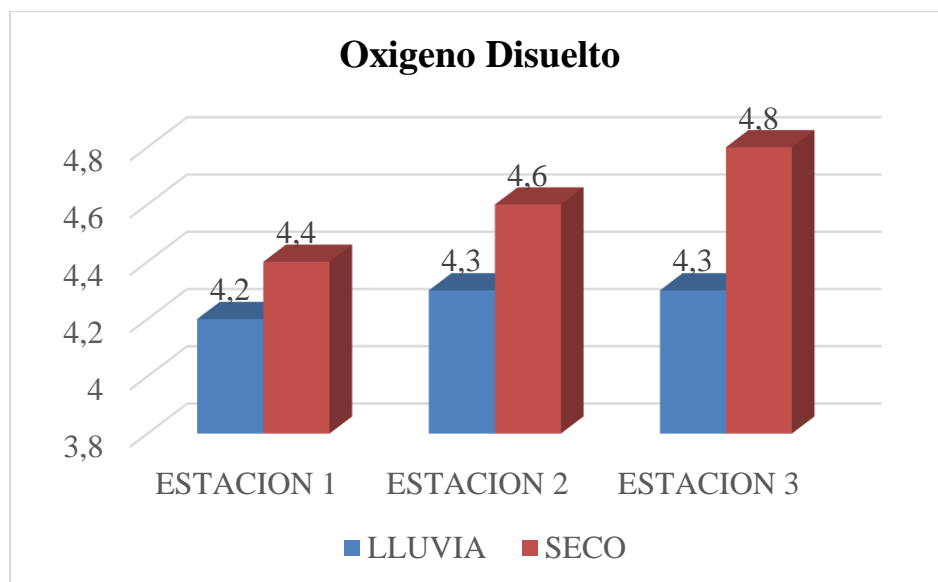
6.2.5. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes para la vida acuática y los microorganismos siendo 5 mg L^{-1} aceptable y concentraciones por debajo de 3 mg L^{-1} es letal para la fauna ictiológica (CORPONOR, 2018). Las condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) favorecen la diversidad de especies deseables como los peces (que en general pueden subsistir a concentraciones de OD superiores a 4 mg L^{-1}) (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008).

Con base a lo anterior el OD en las estaciones E1, E2 y E3 en periodos de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021) que se observa en la figura 7, tuvieron una concentración promedio de $4,6 \text{ mg L}^{-1}$ y $4,3 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente, siendo un resultado favorable para el normal desarrollo de los organismos acuáticos presente en Quebrada de acuerdo a (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008), puede ser calificada como una fuente aceptable en su nivel de calidad por encontrarse $\geq 4 \text{ mg L}^{-1}$. Sin embargo, requiere gran atención de su comportamiento.

Figura 7.

Comportamiento de la conductividad eléctrica en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

La medida de OD puede usarse como indicador del grado de contaminación orgánica, de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas) y de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales (Beita & Barahona, 2011). Los resultados de las concentraciones de OD en las estaciones durante los periodos de lluvia y sequia estudiados se encuentra muy cercano al valor mínimo de referencia que es 4 mg L^{-1} de OD, lo que puede ser ocasionado por las descargas de vertimientos con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, conducen al descenso de la concentración de oxígeno, por el incremento de la demanda para su degradación generados por las fincas aguas arriba (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008).

También, se observa que en el periodo secos (julio, 2021) se presentaron los valores mayores que en periodos de lluvias, esto se debe a que los escurrimientos de las lluvias aumentan la turbiedad y presencia de sólidos en suspensión (sedimentos) con gran contribución de materia orgánica transportada que contribuyen a la disminución del oxígeno disuelto debido a un mayor consumo por parte de los microorganismos.

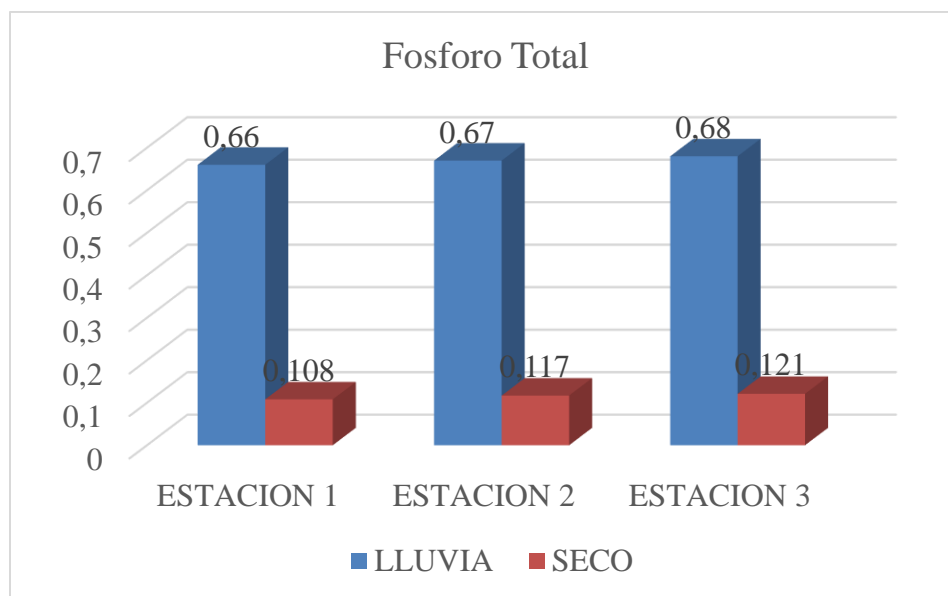
6.2.6. Fosforo Total

El fósforo es un elemento que se encuentra en cuerpos de agua de forma natural como resultado del metabolismo de animales y vegetales acuáticos, lixiviación de las rocas y transporte de nutrientes desde los suelos por escorrentías; cuando se detectan concentraciones altas de FT en fuentes de agua, se asocia el aporte de actividades humanas como la agricultura y vertimientos domésticos e industriales (Caho & López, 2017).

En la figura 8 se puede observar que en el periodo de lluvia (diciembre, 2020) presento un aumento significativo de concentración promedio de PT respecto al tiempo de sequía (julio, 2021) en las estaciones de estudio, $0,1 \text{ mgP L}^{-1}$ y $0,6. \text{ mgP L}^{-1}$ respectivamente. Esto se debe a que en tiempos de lluvia aumenta el flujo de agua que transporta nutrientes y minerales provenientes de las actividades agropecuarias y agrícolas aguas arriba de la Quebrada Potrerillo y la finca El Sol, que generan cambios de manera marcada en cuanto a la concentración fósforo.

Figura 8.

Comportamiento del fosforo total en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Comparando los resultados obtenidos de la concentración de PT en tiempos de lluvia (diciembre, 2020) con la Resolución 2115 de 2007 que establece los VLMP de PT, el agua no es apta para el consumo humano ya que está por encima del valor máximo de referencia 0,5 mgP L⁻¹, como se puede observar en la figura 8. Por el contrario, en tiempo de sequía (julio, 2021) si se encuentra por debajo del valor máximo de referencia de la Resolución 2115 de 2007, por lo tanto, se puede decir que es apta para el consumo humano en este periodo.

Referente al Decreto 1594 de 1984 que reglamenta los VLMP de PT para el uso del agua para fines agrícolas, las concentraciones en tiempo de lluvia (diciembre, 2020) con un valor de 0,6 mgP L⁻¹ ocasiona eutrofización en la Quebrada Potrerillo (Piedrahita, 2018).

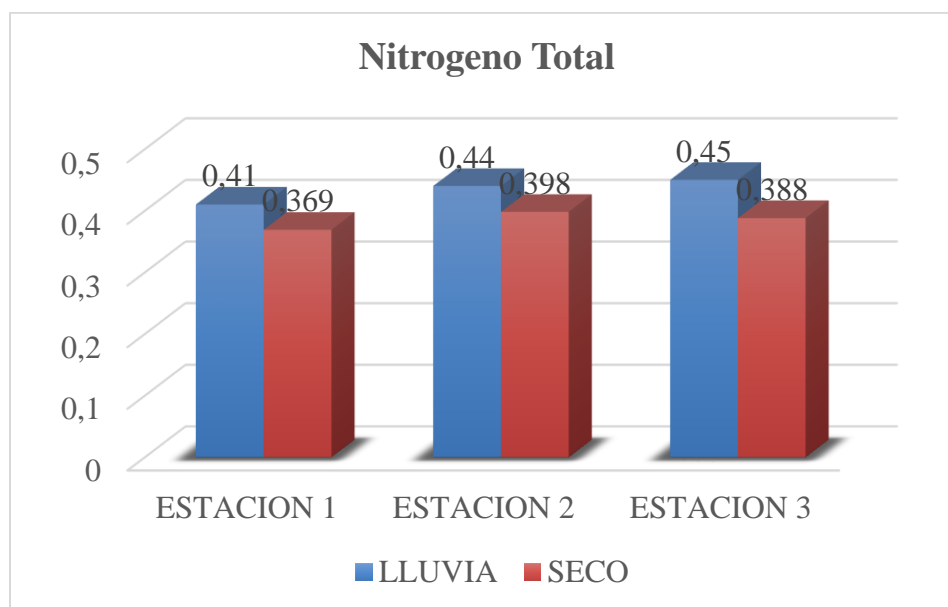
6.2.7. Nitrógeno Total

El nitrógeno se transporta a través de sus formas orgánicas e inorgánicas como consecuencia de las condiciones ambientales y de acciones microbianas. Sin embargo, en concentraciones altas en un cuerpo de agua puede generar un crecimiento excesivo de plantas y algas, lo que consume oxígeno en el proceso de degradación y reduce su disponibilidad, generando contaminación y desequilibrio en la vida acuática (Beita & Barahona, 2011).

Los valores de concentración de NT las estaciones E1, E2 y E3 en tiempos de sequía (diciembre, 2020) y lluvia (junio, 2021) son de 0,34 mgN L⁻¹ y 0,37 mgN L⁻¹ respectivamente. Según la Resolución 2115 de 2007 el valor máximo permisible para calidad del agua para consumo humano no debe exceder los 10 mgN L⁻¹, por lo que se puede inferir que el agua de la Quebrada Potrerillo es apta para el consumo humano en relación con este parámetro ya que tuvo valores muy por debajo al de referencia.

Figura 9.

Comportamiento del nitrógeno total en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Se puede observar en la figura 9 que en el periodo de lluvia (diciembre, 2020) presento concentraciones 0,1 mgN L⁻¹ promedio más alto que en periodo seco (julio, 2021). Esto puede deberse al aporte de nitrógeno proveniente de las actividades domésticas como el uso de jabones y detergentes. También se puede decir que las fincas río arriba de la quebrada y la finca El Sol no hacen uso excesivo (o su uso es nulo) de agroquímicos o fertilizantes ricos en nitrógeno (Gualdrón, 2016).

6.2.8. Demanda Química de Oxígeno

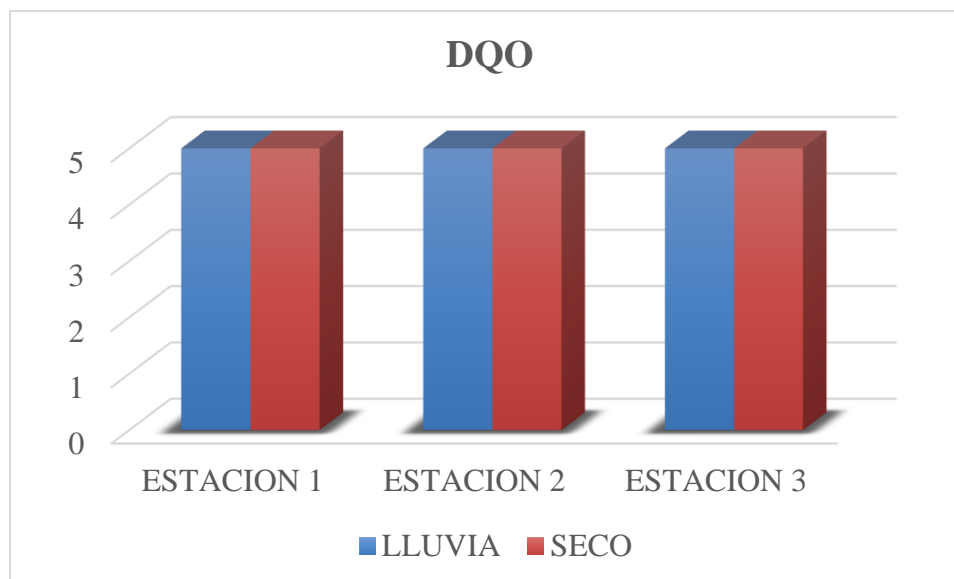
En la figura 10 se puede observar que las concentraciones de DQO en los periodos seco (diciembre, 2020) y lluvioso (julio, 2021) objetos de estudio son constantes en todas las estaciones

con un valor de $5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$. El nivel de DQO de la Quebrada Potrillo estuvo por debajo 200 $\text{mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ VLMP de referencia estipulado en resolución 631 de 2015, teniendo en cuenta que el valor de referencia tomado para la comparación aplica para el control y vigilancia de vertimientos de aguas residuales a cuerpos hídricos.

El análisis de los valores que se presentaron de concentración de DQO en la Quebrada Potrerillo, indica que la mayoría de materia presente en los cuerpos de agua es no biodegradable, generalmente relacionada por el aporte de minerales a las aguas por erosión o escorrentía.

Figura 10.

Comportamiento de la DQO en periodos de lluvias y secos.



Fuente: Los autores, 2021.

Las bajas concentraciones de DQO mostradas en la figura 10 de la Quebrada Potrerillo son acordes a la situación ambiental actual y actividades económicas de la región. En general la cuenca Cesarito presenta erosión de rocas y material parentales por procesos naturales y algunas zonas que presentan escurrimiento difuso y concentrado inducida por efecto del pisoteo del ganado en suelos de materiales de baja cohesión y deforestación de terrenos para uso agrícola (CORPOCESAR, 2019).

6.3. Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

A continuación, se presentan los valores determinados para el ICA según los resultados de los parámetros analizados. los resultados indican que en las estaciones E1, E2 y E3 tanto en el periodo de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021) se encuentran en la categoría 0,51 a 0,70.

Tabla 15.

Índice de Calidad del Agua (ICA) en periodos de lluvia y secos.

INDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA									
PERIODOS	EST	IOD	ISST	IDQO	ICE	IpH	IN/P	ICA	CLASIFICACIÓN ICA
LLUVIAS	1	0,09	0,17	0,15	0,11	0,13	0,025	0,68	REGULAR
	2	0,09	0,17	0,15	0,11	0,11	0,025	0,66	REGULAR
	3	0,09	0,17	0,15	0,11	0,12	0,025	0,67	REGULAR
SECOS	1	0,1	0,17	0,15	0,09	0,13	0,025	0,67	REGULAR
	2	0,1	0,17	0,15	0,08	0,13	0,025	0,66	REGULAR
	3	0,11	0,17	0,15	0,09	0,12	0,025	0,67	REGULAR

Fuente: Los autores, 2021.

De acuerdo a la tabla 15, la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo en la finca El Sol, en periodos de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021) posee una señal de alerta de color amarillo, que corresponde a una calificación de la calidad del agua “REGULAR”. Sin embargo, el análisis temporal del ICA muestra que existe una diferencia de 0,01 unidades entre los valores promedios en los periodos de muestreo. En el periodo de lluvias en la Quebrada Potrerillo fue de 0,67 unidades promedio y mientras que en el periodo seco se tuvo una calidad de 0,66 unidades promedio, esto quiere decir que en periodos de lluvias el cuerpo de agua puede tener mayores concentraciones de agentes contaminantes de origen natural y antropogénicos debido a las escorrentías que llegan al cauce natural en este periodo.

La clasificación regular, determina para la Quebrada Potrerillo que esta se encontraba contaminada durante los periodos de estudio (diciembre, 2020) y (julio, 2021) y susceptible al cambio de clasificación de calidad del agua ya sea a aceptable o en su defecto mala (Caho & López, 2017). Esta clasificación limita algunos de los usos potenciales que puede tener este cuerpo de agua para la población aledaña en este caso la finca El Sol y fincas aguas abajo, como actividades domésticas o agropecuarias comunes en la zona. Cabe resaltar que esto está siendo reflejado a lo largo de todo su cauce, desde la estación E1 ubicadas aguas arriba hasta la estación E3 ubicadas aguas abajo.

6.4. Determinación del Índice UWQI

En la tabla 16, se presentan los valores determinados para el UWQI según los resultados de los parámetros analizados.

Tabla 16.

Índice UWQI en periodos de lluvias y secos.

INDICE UWQI								
PERIODOS	EST	IOD	ISST	IDQO	ICE	IpH	UWQI	CLASIFICACIÓN UWQI
LLUVIAS	1	0,103	0,198	0,182	0,131	0,171	0,79	ACEPTABLE
	2	0,105	0,197	0,182	0,127	0,154	0,77	ACEPTABLE
	3	0,108	0,197	0,182	0,128	0,162	0,78	ACEPTABLE
SECOS	1	0,115	0,196	0,182	0,109	0,178	0,78	ACEPTABLE
	2	0,123	0,193	0,182	0,094	0,168	0,76	ACEPTABLE
	3	0,129	0,195	0,182	0,101	0,162	0,77	ACEPTABLE

Fuente: Los autores, 2021.

De acuerdo a la tabla 16, la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo en la finca El Sol, en periodos de lluvias y secos posee una señal de alerta de color verde, denominada “ACEPTABLE”, con un rango de valores entre 0,71 y 0,90.

El comportamiento de los resultados del UWQI son similares al del ICA presentando 0,01 unidades de diferencia, teniendo en cuenta que el UWQI no se tuvo en cuenta el indicador N/P.

Sin embargo, los datos de UWQI son más concluyentes respecto a susceptibilidad de mejorar o empeorar la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo, si no se adoptan medidas de mitigación, conservación y protección a la Cuenca Cesarito. Los resultados promedios de cada periodo estacional lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021) de estudio fueron de 0,78 unidades promedio y 0,77 unidades promedio respectivamente. Lo que indica que los valores promedios estacionales se acercan más a clasificación decreciente de 0,71, por tanto, se puede decir que la calidad del agua de la Quebrada Potrerillo en el tiempo de las tomas de muestras era más susceptible a que empeora su calidad.

Según los autores Lumb, Sharma y Bibeault citados en (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014) afirman que “Todos los índices tienen una u otra limitación y la búsqueda de uno perfecto sigue siendo un desafío”. Los índices de calidad del agua son utilizados como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental para la toma de decisiones sobre políticas, control y vigilancia de los mismos. En cuanto a la selección de la metodología de aplicación del ICA depende del autor, características propias de la fuente hídrica y fines de uso (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

6.5. Análisis de las Relaciones Estadísticas Presentadas entre los Parámetros Físicos y Químicos

Para conocer las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros físicos y químicos, para determinar la calidad del agua, se analizó una matriz de correlación de Pearson. Los resultados del análisis de correlación se encuentran en la tabla 16.

Los valores resaltados indican la existencia de correlaciones significativas entre las variables analizadas, es decir, aquellas que poseen comportamientos similares. Se resaltó en color amarillo la correlación es significativa en el nivel 0,05 y en color rojo la correlación es significativa en el nivel 0,01.

Tabla 17.

Correlaciones de los parámetros físicos y químicos.

Correlaciones de los parámetros físicos y químicos

	Temperatura	pH	Conductividad Electrica	Solidos Suspendidos Totales	Oxigeno Disuelto	Fosforo Total	Nitrogeno Total
Temperatura	1						
pH	0,300	1					
Conductividad Electrica	,964**	0,263	1				
Solidos Suspendidos Totales	,948**	0,024	,964**	1			
Oxigeno Disuelto	,910*	-0,073	,877*	,956**	1		
Fosforo Total	-,939**	-0,463	-,949**	-,863*	-0,800	1	
Nitrogeno Total	-0,694	-0,713	-0,695	-0,532	-0,517	,866*	1

Nota: T: Temperatura, pH, CE: Conductividad Eléctrica, SST: Sólidos Suspendidos Totales, OD: Oxígeno Disuelto, FT: Fosforo total, NT: Nitrogeno total, DQO: Demanda Química de Oxígeno

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Los autores, 2021.

De acuerdo a los coeficientes de correlación, se observa que se presentaron correlaciones significativas ($R > 0,954$; $p < 0,01$) entre CE y T (0,964), la conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. La solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua (Castro, Zúñiga, & Darner, 2018). Por lo tanto, mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica (Software Smart, 2014). Hay que tener en cuenta que la temperatura incide, además, en la solubilidad del oxígeno en el agua. Este efecto tiene una fuerte incidencia sobre la fauna y la flora acuática asociada al curso del agua.

También se observó que se presenta una correlación positiva ($R > 0,954$; $p < 0,01$) entre SST con T (0,948) y CE (0,964), lo que indica que hay presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas en la Quebrada Potrerillo en los periodos estacionales estudiados. Dichas correlaciones pueden ser más fuertes en los periodos de lluvias (diciembre, 2020) donde se presenta mayor cantidad de materia orgánica y minerales por el aporte de remoción de tierra y erosión al cuerpo de agua. Por otro lado, en cuerpos de aguas superficiales se tiene una estrecha relación entre SST y CE, ya que conforme aumenta la conductividad la calidad del agua reduce (COOPONOR, 2018).

Cabe resalta que la correlación más significativa de los parámetros evaluados con ($R > 0,954$; $p < 0,01$) fue entre OD y SST, esto se debe a que estos dos parámetros y dadas las condiciones ambientales naturales o antrópicas como alta intensidad lumínica, así como mayor turbulencia en tiempo de lluvia del cuerpo de agua pueden aumentar los niveles de oxígeno disuelto (Gualdrón, 2016).

El PT se correlacionó de forma positiva con el NT el valor del estadístico r de Pearson es de ($R = 0,866$). La concentración de PT, tiende a aumentar en periodos de lluvias, en respuesta de las mayores cargas de PT que surgen del aumento de la solubilidad de este elemento producida por una capa freática poco profunda, sobre todo si en la zona se presentan surcos o zanjas (Ávila, y otros, 2007). Por su parte el nitrógeno en la Quebrada Potrerillo se presenta en menor cantidad que el fósforo, el elemento se mantuvo limitante. La baja concentración de nitrógeno puede estar relacionado con la presencia de especies de fitoplancton y otros microfitos que permiten la absorción de este nutriente en el la Quebrada Potrerillo (Rivas, y otros, 2009).

Por lo tanto, es importante la conservación de los bosques en las cuencas por que el proceso erosivo trae como consecuencia el lavado de los suelos, lo cual lleva a altas concentraciones de nitrógeno en el agua, debido a la falta de vegetación que lo pueda fijar.

La temperatura, CE y SST tuvieron una correlación negativa muy alta con la concentración de PT en los periodos estudiados de 0-,939, -0,949 y -0,863 respectivamente, lo que indica, que a medida que aumenta la T, CE y SST, la concentración de fosfatos disminuye.

Estos resultados fueron similares a los de (Carrera, y otros, 2019), los cuales sustentan que los resultados pueden deberse a que la temperatura y la CE tienen una posible influencia sobre la variación de concentración de fosfatos, que se ve afectada por las temporadas climáticas y posiblemente por la litología de la cuenca; este conjunto de interacciones afectaría la disponibilidad del fósforo en el agua, y en consecuencia influye en la eutrofización (Carrera, y otros, 2019).

En el trabajo (Sande, Miras, Vidal , & Paz , 2005) donde se encontró una correlación muy significativa entre el fósforo total y los sólidos en suspensión en todos los años estudiados. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la actividad agrícola y la erosión de los suelos labrados sobre la transferencia del fósforo a los sistemas acuáticos.

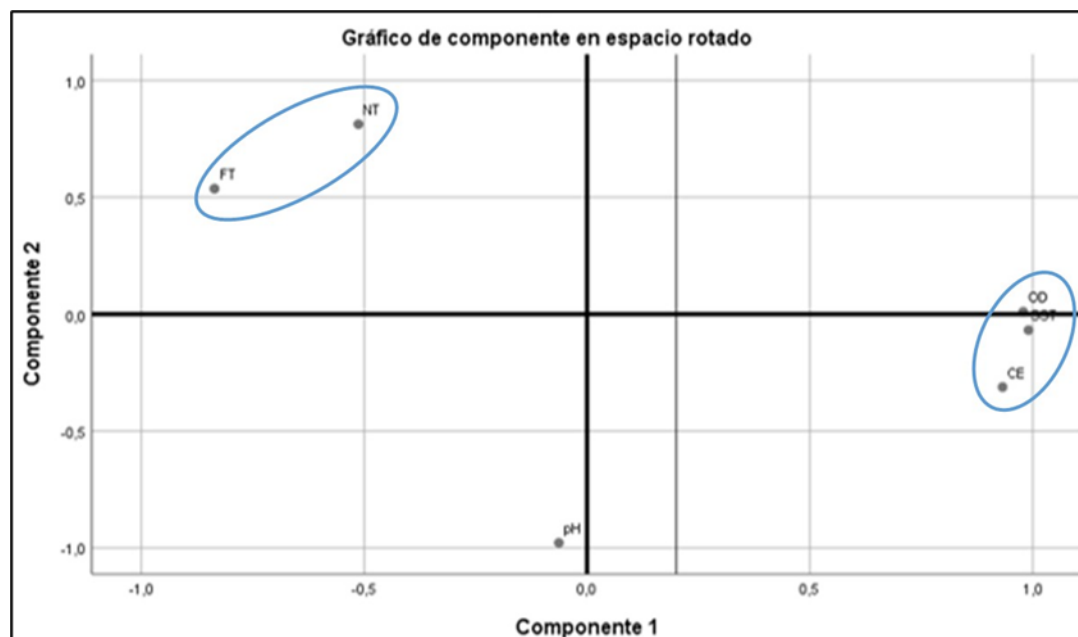
6.6. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para la Quebrada Potrerillo, tomando como referente el estudio correlacional.



Figura 11.

Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los Componente 1 y Componente 2.



Fuente: Los autores, 2021.

De la figura 11 se observa que el grupo de la derecha conformado por los parámetros correspondientes a OD y CE, las cuales están representada especialmente por parámetros relacionados con SST se encuentran agrupados, estos parámetros revelan el impacto que sufre la Quebrada Potrerillo, debido aumento de la materia orgánica y minerales que pueden estar influenciado por las descargas puntuales de aguas residuales domésticas y residuos de actividades agropecuarias provenientes de las fincas aguas arriba.

El pH se encontró de manera independiente, esto quiere decir que influye de forma diferente a los demás parámetros y contribuye en menor medida a la calidad y/o contaminación de la misma.

Además, en la parte superior izquierda se observa que el grupo conformado por el Fosforo Total y el Nitrógeno Total poseen relación directa e influyen de manera conjunta al momento de determinar el estado de calidad de la Quebrada Potrerillo. El enriquecimiento de las aguas superficiales por fosfatos procedentes de las actividades agrícolas en condiciones de clima de la

Cuenca Cesarito es debido, sobre todo, a la escorrentía superficial. Por otra parte, también resultaron muy significativas las relaciones de dependencia lineal entre los SSP y FT asociado a sedimentos.

Las medidas a tomar deben basarse en estudios de la evolución de cada nutriente en el suelo y en las aguas, así como en los mecanismos de transporte y en el efecto de las diferentes prácticas Agrícolas. Por ello, se deduce la necesidad del establecimiento de un control de la calidad de las aguas de escorrentía procedentes de cuencas. Una parte importante de este control radica en la determinación del contenido en fósforo total, asociado a los sedimentos y disuelto, además del contenido en sólidos en suspensión de dichas aguas (Sande, Miras, Vidal, & Paz, 2005). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la actividad agrícola y la erosión de los suelos labrados sobre la transferencia del fósforo a los sistemas acuáticos.

6.7. Estrategias para la Protección y Conservación de la Quebrada Potrerillo

Para el cumplimiento del cuarto objetivo específico de este proyecto de investigación, a continuación, se presentan las estrategias para la protección y conservación de la Quebrada Potrerillo y la cuenca Cesarito. Las estrategias serán desarrolladas atendiendo a las características y particularidades de la calidad del agua que se obtuvieron a través de la evaluación del ICA en esta fuente de agua superficial en periodos de lluvias (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021). Estas medidas podrán ser adoptadas e implementadas en por entidades públicas y privadas, comunidad en general conformada por fincas que se encuentran en la cuenca (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Terr, 2010). A través de procesos de dialógicos que incluyan debates, árbol de problemas, mesas redondas, talleres.

Estrategia 1 Medida de conservación de la Cuenca: Esta estrategia se orienta al entendimiento de cómo funcionan y cómo se relacionan los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los cuales depende la oferta hídrica de la Cuenca Cesarito.

Objetivos:

- Ampliar y consolidar, a nivel de cuenca, el conocimiento de la oferta hídrica total y disponible, para tener balances hídricos confiables.
- Profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas) de los cuerpos de agua de la cuenca y la importancia de su conservación.

- Cuantificar los bienes y servicios ambientales relacionados con el agua que prestan los ecosistemas.

Estrategia 2 Planificación: Esta estrategia se orienta a establecer lineamientos específicos a nivel de la cuenca hidrográfica, para orientar la gestión y el uso sostenible del agua, teniendo en cuenta las dinámicas de ocupación del territorio.

- Priorizar, formular e implementar los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
- Promover la articulación de los planes de ordenamiento territorial a los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, como determinantes para la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.

Estrategia 3 Medida de Protección estratégicas de la cuenca: Esta estrategia se orienta a la restauración y preservación de los ecosistemas considerados clave para la regulación de la oferta hídrica.

- Promover y apoyar procesos para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica.
- Adquirir, delimitar, manejar y vigilar las áreas donde se encuentran los ecosistemas clave para la regulación de la oferta del recurso hídrico.
- Implementación de los principios de la agroecología y reforestación en zonas con alta erosión.
- Definir los caudales mínimos necesarios para el mantenimiento de las corrientes superficiales y sus ecosistemas acuáticos asociados, e implementar medidas para garantizarlos.

Estrategia 4 Reducción y mitigación de la contaminación del recurso hídrico: Esta estrategia se orienta a combatir las principales causas y fuentes de contaminación del recurso hídrico mediante acciones preventivas y correctivas, de acuerdo con las particularidades de la región.

- Reducir los aportes de contaminación puntual y difusa implementando o adoptando acciones de reducción en la fuente, producción limpia y tratamiento de aguas residuales.

- Eliminar y evitar la disposición de los residuos sólidos a los cuerpos de agua.

Estrategia 5 Promover la participación ciudadana: Esta estrategia se orienta a incentivar el desarrollo de mecanismos y espacios de participación que motiven a los ciudadanos y/o usuarios del agua a que conformen grupos de veeduría y control ciudadanos sobre las inversiones y acciones desarrolladas por las instituciones públicas y privadas.

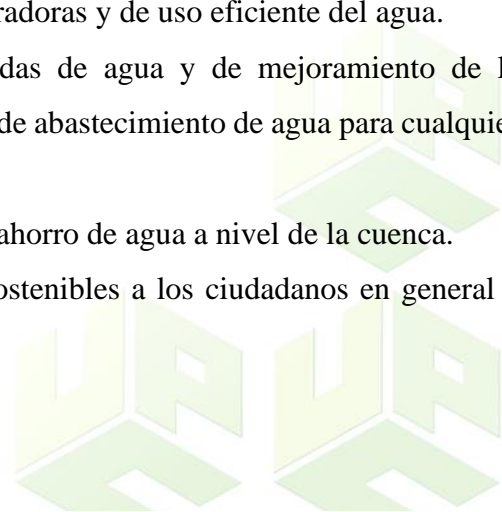
- Incrementar la capacidad de participación de todos los actores involucrados en la gestión integral del recurso hídrico.
- Implementar programas para asegurar la participación en la gestión integral del recurso hídrico de los grupos sociales más vulnerables, hacia el uso y manejo responsable del agua.

Estrategia 6 Cultura del agua y conciencia ciudadana: Esta estrategia se orienta a incrementar en los usuarios del agua la conciencia y el conocimiento sobre la importancia de conservar y hacer uso sostenible del recurso hídrico.

- Implementar campañas de sensibilización y campañas educativas acerca de la gestión integral del recurso hídrico, que incluyan a todos los sectores usuarios del agua.
- Desarrollar e implementar contenidos curriculares en el tema de la gestión integral del recurso hídrico adaptados a los contextos locales.

Estrategia 7 Implementación del Uso eficiente y sostenible del agua: Esta estrategia se orienta a fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente y promover el cambio de hábitos no sostenibles de uso del recurso hídrico.

- Promover el uso y transición de tecnologías ahorradoras y de uso eficiente del agua.
- Implementar programas de reducción de pérdidas de agua y de mejoramiento de la infraestructura obsoleta existente en los sistemas de abastecimiento de agua para cualquier uso.
- Gestionar y aplicar programas de uso eficiente y ahorro de agua a nivel de la cuenca.
- Promover cambios en hábitos de consumo no sostenibles a los ciudadanos en general a nivel de la cuenca.



Conclusiones

Se presentan las siguientes conclusiones de los resultados obtenidos del proyecto de investigación:

En la evaluación de los parámetros físicos y químicos del agua de la Quebrada Potrerillo, en la finca El Sol, se encontró que los parámetros T y pH, estuvieron dentro de los VLMP del Decreto 1594 de 1984 sobre usos del agua y residuos líquidos en los periodos de lluvia (diciembre, 2020) y seco (julio, 2021) en las estaciones de muestreo. Los valores de pH en periodos de lluvia (diciembre, 2020) fue ligeramente ácido en todas las estaciones con 6,6 unidades de pH promedio, y en tiempo seco tubo el mismo comportamiento con un valor promedio de 6.7, obedeciendo a las posibles condiciones litológica de la Cuenca Cesarito donde se ubica la Quebrada Potrerillo.

La concentración de PT en tiempo de lluvia excedió el VLMP de la resolución 2115 de 2007 sobre calidad del agua para consumo humano. Sin embargo, las nieves de concentración no son tóxicos y pueden ser utilizados para uso agrícola. Esta característica puede estar asociada a la actividad agrícola que se desarrolla en la zona.

Las concentraciones de SST indicaron que en el periodo seco se presenta un mayor grado de significancia a comparación de los periodos de lluvias.

La concentración de El oxígeno Disuelto fluctuó entre 4.8 y 4.2 en los periodos de lluvia y secos, estos valores pueden ser un indicio de que el agua de la Quebrada Potrerillo presenta niveles bajos de oxígeno para el desarrollo y reproducción normal de la vida acuática en la Quebrada.

El promedio de la conductividad en aguas tropicales de cuencas bajas poco intervenidas se encuentra entre 140-200 $\mu\text{S cm}^{-1}$, las estaciones de muestreo evaluadas en el estudio en periodo de lluvia (diciembre, 2020) tuvieron concentraciones más bajas del rango y en periodo seco (julio, 2020) se encontró dentro del rango.

En función de los resultados obtenidos mediante la aplicación del ICA determinados en los tres puntos evaluados mediante la metodología propuesta por el IDEAM, se evidencia que en general la calidad del agua en la Quebrada Potrerillo, en la finca El sol, es Regular, tanto en periodos secos como en periodos de lluvia, siendo así su necesario tratamiento para la destinación del recurso al consumo humano.

Por otro lado, los resultados obtenidos mediante la aplicación del indicador UWQI determinado también en las tres estaciones dando como resultado que el estado de la Quebrada es Aceptable. Los resultados de la calidad del agua determinadas por cualquiera de las metodologías de los ICA existentes pueden tener una que otra limitación dependiendo el conocimiento técnico de las instituciones sobre los valores de las variables a las condiciones de línea base, características propias de la fuente, actividades económicas, contaminación natural o antrópica y la normativa que aplique a cada región.

Por lo tanto, son aceptadas y veraces los resultados de la calidad del agua en las estaciones y periodos temporales de estudio de la Quebrada Potrerillo, ya que a partir de los resultados se puede formular y tomar decisiones políticas y técnicas para la conservación y protección de la Cuenca.



Recomendaciones

Tener en cuenta las estrategias que se diseñaron como medidas de protección y conservación de la cuenca Cesarito y a su vez la Quebrada Potrerito para que la población de la finca El Sol las tenga en cuenta al momento de realizar sus actividades, así mismo entidades gubernamentales, privadas y públicas en general.

Ubicar un mayor número de puntos de muestreo o estaciones, con una reducción en la distancia entre cada punto, para disminuir el margen de error de los datos obtenidos en los análisis físicos y químicos e Índices de Calidad.

Realizar nuevas investigaciones para estudiar otros parámetros como: Coliformes, DBO₅, Grasas, Aceites y Tensoactivos, para completar el estudio ya realizado.

Implementar un mayor control sobre los vertimientos realizados por las actividades agropecuarias, mediante políticas de gestión del recurso hídrico que permita mejorar la calidad del agua (Mendez, Bonivento, & COPOCESAR, 2021).



Referencias

- Agudelo, R., Gutiérrez, L., & Ríos, S. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. [On-line]. Disponible en: <file:///C:/Users/USUARIO/Documents/Metodologia%20II/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>
- Almeida, J., Castro, M., Díaz, D., & Ferrer, J. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. [On-line]. Disponible en: <https://www.revistavirtualpro.com/revista/calidad-del-agua-primera-entrega/16>
- Atlántida, Medio Ambiente. (2013). Prevención ambiental. [On-line]. Disponible en: <http://www.atlantidama.com/es/consultoria-ambiental/prevencion-ambiental/>
- Ávila, H., Tudares, C., Sánquiz, M., Araujo, M., Morales, N., Rojas, J., & Pirela, D. (2007). Nitrogen and phosphorus in superficial waters of the low part of the River Catatumbo. Zulia.
- Beita, W., & Barahona, M. (2011). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Blogger. (2013). Fuentes Hídricas. [On-line]. Disponible en: <http://fuenteshidricazonaindigena.blogspot.com/>
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI1. [On-line]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>
- Cahuana, A., Rodríguez, Y., Romero, L., Royero, A., Torres, K. & Vanegas, A. (2021). Lineamientos y guía orientadora para la estructuración y formulación del anteproyecto y proyecto de grado en el programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Versión 003-2021.
- Cahuana, A., Romero, L., & Torres, Karina. (2019). Lineamientos para la formulación del anteproyecto de grado en el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Tema 11: Contaminación del Agua. Navarra: España, 2007. [On-line]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

- Castaño, S. & Garrido, G. (2019). Aplicación de la estadística multivariada para la implementación de un índice de calidad de agua específico para el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena de Indias.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. Bogotá, Colombia. Obtenido de <file:///C:/Users/tayab/OneDrive/Documentos/Marcial/811-Article%20Text-1853-1-10-20150408.pdf>
- Castro, Y., Zúñiga, L., & Darner, A. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- CELEP EP. (2011). Metodología. Procedimiento para la toma de muestras. [On-line]. Disponible en:
https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/baners_home/EIA/cap42_Ilt_santo_domingo_esmeraldas.pdf
- Comunidad ISM. (2016) ¿Qué es un indicador ambiental? [On-line]. Disponible en:
<http://www.comunidadism.es/blogs/%C2%BFque-es-un-indicador-ambiental>
- CORPOCESAR. (2019). Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR / PLANEAR 2019-2040 “Alianza integral estratégica, por el desarrollo sostenible del Cesar: desafíos y oportunidades”. Valledupar.
- CORPONOR. (2018). Subdirección de medición y análisis ambiental interpretación de resultados por parametros (Conductividad Electrica, Oxigeno Disuelto). Obtenido de https://corponor.gov.co/calidad_agua/2018/9_RIO_ZULIA_CALIDAD_FISICO_QUIMICA_MICROBIOLOGICA_2018/38_COMPARACION_CONDUCTIVIDAD_ELECTRICA_OD.pdf
- Cruz, C., Patiño, P. & Torres, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.
- Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. (2021). Lineamientos y Guía Orientadora para la Estructuración y Formulación del Anteproyecto y Proyecto de Grado en el Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Valledupar. Obtenido de

file:///C:/Users/Windows%2010/Documents/TAYA/MARCIAL/2021%20Prog.%20IAS
%20-Lineamientos%20Anteproyectos%20y%20Proyectos%20de%20Grado.pdf

EcologíaHoy. (2011). Arroyo. [On-line]. Disponible en: <https://www.ecologiahoy.com/arroyo>

EcuRed. (2014). Aguas superficiales. [On-line]. Disponible en:
https://www.ecured.cu/Aguas_superficiales

El Tiempo. (1996). Estrategia para proteger el agua. Disponible en:
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-418922>

García, J., Osorio, M., Saquicela, R., & Cadme, M. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Santo Domingo, Ecuador. Obtenido de file:///C:/Users/tayab/OneDrive/Documentos/Marcial/13921-66072-2-PB.pdf

Gil, J. A., Vizcaino, C., & Montaña, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. Lima.

Gualdrón, L. E. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. Bogotá D.C. Obtenido de file:///T:/4593-Texto%20del%20art%C3%ADculo-7767-1-10-20181210.pdf

Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades. Fuentes de agua y métodos de aforo. OPS/OMS, 2002. [On-line]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

González, J. (2017). Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá.

Google Maps. (2019). Vereda El Callao, Valledupar, Cesar. [On-line]. Disponible en:
<https://www.google.com/maps/place/Vda.+El+Callao,+Valledupar,+Cesar/@10.3587508,-73.3477548,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8e8ab1d8fa8aa0bd:0xa948d66a59b4e1fe!8m2!3d10.35873!4d-73.339>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de investigación Sexta edición. México D.F. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

- IDEAM. (2007). Evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, departamento del Cesar. Valledupar.
- IDEAM. Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2011). Indicadores. [On-line]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- IDEAM. Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2011). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). [On-line]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031
- IDEAM. Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales. (2011). Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. [On-line]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- Inspiration. (2016). ¿Qué es la contaminación? [On-line]. Disponible en: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2008). Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Bogotá.
- Lifeder. (2018). Indicadores ambientales: tipos y sus características. [On-line]. Disponible en: https://www.lifeder.com/indicadores-ambientales/#Tipos_de_indicadores_ambientales
- Mejía, E., & Quintero, G. (2018). Evaluación de la Calidad del Agua del Rio Maracas ubicado en el Municipio de Becerril - Cesar, implementando los índices ICO e ICA para Colombia.
- Méndez, M. (2015). La taxonomía de Bloom, una herramienta imprescindible para enseñar y aprender. [On-line]. Disponible en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/edublog/cprofestenerifesur/2015/12/03/la-taxonomia-de-bloom-una-herramienta-imprescindible-para-ensenar-y-aprender/>
- Minambiente. (2006). Ministerio de la protección social Decreto número 1575 de 2007 (mayo 9). [On-line]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

- Minambiente. (2007). Ministerio de la protección social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Resolución número 2115 (22 JUN 2007). [On-line]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Minambiente. (2003). Ley 373 de 1997 (junio 6). [On-line]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Minambiente. (2018). Microcuenca. [On-line]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/microcuenca#documentos>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 631 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. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Terr. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH. Bogotá D.C.
- Molina, J. & Pinto, L. (2019). Evaluación de la calidad del agua del Río Calenturitas, en el departamento del Cesar, implementando el Índice de Calidad del Agua (ICA) y los Índices de Contaminación (ICOs) para Colombia.
- Morales, L. (2018). JERARQUÍA DE LAS NORMAS EN COLOMBIA. [On-line]. Disponible en: <http://lorenamoralesg.blogspot.com/>
- OAS. Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente secretaria ejecutiva para asuntos económicos y sociales Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos Washington D.C., 1994. [On-line]. Disponible en: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea02s/ch21.htm>
- Perevochtchikova, M. (2012). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. [On-line]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v22n2/v22n2a1.pdf>
- Piedrahita, J. E. (2018). Análisis del índice de calidad del agua (ICA) e índice de contaminación del agua (ICOS) en Quebrada Villa ubicada en el Bagre, Antioquia. Bogotá D.C. Obtenido

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18335/2018PiedrahitaJuan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Responsabilidad y Derecho. (2013). La materia ambiental en la Constitución Política Colombiana. [On-line]. Disponible en: <http://responsabilidadyderecho.blogspot.com/2013/03/la-materia-ambiental-en-la-constitucion.html>

Rivas, Z., Sánchez, J., Trancote, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M., & Gutiérrez, E. (2009). Nitrógeno y Fósforo Totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. Maracaibo. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911403002.pdf>

Rodríguez, J., Sánchez, J., & Serna, J. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. [On-line]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311864221_Indices_de_calidad_en_cuerpos_de_agua_superficiales_en_la_planificacion_de_los_recursos_hidricos

Rojas, A. (2016). La contaminación aumenta en la mayoría de los ríos de América Latina, África y Asia. El País. [On-line]. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2016/09/01/ciencia/1472719506_387465.html

Sánchez, C. (25 de junio de 2020). Ecuaciones. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/estilo/ecuaciones/>

Sande, P., Miras, J., Vidal, E., & Paz, A. (2005). Formas de fósforo y su relación con la erosión en aguas superficiales bajo clima Atlántico. Obtenido de <file:///C:/Users/tayab/OneDrive/Documentos/Marcial/c125-130.pdf>

Secretaría General de la Comunidad Andina. (2008). Manual de Estadísticas Ambientales Andinas. Lima.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2009). Resolución 3957 de 2009 de la SDA. [On-line]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/vertimientos>

Sites Google. Capítulo V: Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. (2011). [On-line]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/51300008metodologia/reporte-del-capitulo-5>

Torres, P., Cruz, H., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Medellín, Colombia. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000300009

Wordpress. El agua, fuente fundamental de vida. [On-line]. Disponible en:
<https://elaguafuentefundamentaldevida.wordpress.com/proceso-de-recoleccion/fuente-hidrica>



Anexos



INFORME DE ENSAYOS 2020-1786

Cliente: Marcial Villamizar
Solicitante: Sr Marcial Villamizar
Dirección: Calle 5H #44-49, Nevada
Ciudad: Valledupar - Cesar

Teléfono: 3017931350
NIT/C.C.: 1.065.840.226
Correo E: Marcial_villa@hotmail.com

ID Lab	ID de muestra	Tipo de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
1786-1	Muestra Agua superficial Quebrada Potrerillo	1786-1	10°22'14.1" N 73°20'13.5" W	2020-12-06	9:21 AM
1786-2		1786-2	10°22'15.8" N 73°20'20.5" W	2020-12-06	9:53 AM
1786-3		1786-3	10°22'17.7" N 73°20'22.7" W	2020-12-06	10:21 AM

*información suministrada por el cliente

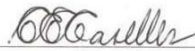
Plan de muestreo:	Muestras entregadas por el cliente	Fecha de recepción:	2020-12-07	Inicio de ensayos:	2020-12-07	Finalización de ensayos:	2020-12-15
Proc. de muestreo:	No aplica	Fecha de reporte de informe de ensayos:	2020-12-15				

						RESULTADOS		
ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	LDM	LCM	1786-1	1786-2	1786-3
pH (<i>In situ</i>)	SM 4500-H ⁺ B/Electrométrico	U de pH	6,00 a 9,00	No aplica	No aplica	6,7	6,5	6,6
Conductividad	SM 2510 B /Electrométrico	µS/cm	No aplica	No aplica	No aplica	122	127	126
Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D/Gravimétrico – Secado a 103°C – 105°C	mg/L	90,00	No aplica	6,0	10	11	11
Oxígeno Disuelto	SM 4500-0 G / Electrométrico	mg/L	No aplica	No aplica	0,20	4,2	4,3	4,3
Fosforo Total	SM 4500 P B, E/Digestión Ácido Ascórbico	mg P/L	No aplica	No aplica	0,025	0,66	0,67	0,68
Nitrógeno total	SM 4500 Norg C, SM 4500 NH ₃ B,C /Semi-micro Kjeldahl, Destilación	mg N/L	No aplica	No aplica	No aplica	0,41	0,44	0,45
DQO	SM 5220 D/Reflujo Cerrado Colorimétrico	mg O ₂ /L	180,00	No aplica	50,0	<5	<5	<5

LDM: Límite de detección del método es la menor cantidad del mensurado que puede ser detectada en la matriz sujeta a ensayo.

LCM: Límite de cuantificación del método; en la menor cantidad a partir de la cual se puede determinar el mensurado con exactitud y precisión aceptadas bajo las condiciones del laboratorio, en la matriz sujeta a ensayo.

Aprobó:



Campo Elias Caselles
Director de Áreas Técnicas

ZONAS COSTERAS S.A.S.
NIT. 900.584.424-1

Las condiciones ambientales durante el ensayo se encuentran registrados en el laboratorio, disponibles cuando sean requeridos por el cliente. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras ensayadas. Prohibido reproducir este informe parcialmente, excepto en su totalidad, bajo la aprobación estricta del laboratorio.



INFORME DE ENSAYOS 2021-0273

Cliente: Marcial Villamizar
Solicitante: Sr Marcial Villamizar
Dirección: Calle 5H #44-49, Nevada
Ciudad: Valledupar - Cesar

Teléfono: 3017931350
NIT/C.C.: 1.065.840.226
Correo E: Marcial_villa@hotmail.com

ID Lab	ID de muestra	Tipo de muestra	Lugar de muestreo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
4883-1	Muestra Agua superficial Finca El Sol	4883-1	10°22'14,1" N 73°20'13,5" W	2021-07-15	7:15 AM
4883-2		4883-2	10°22'15,8" N 73°20'20,5" W	2021-07-15	7:29 AM
4883-3		4883-3	10°22'17,7" N 73°20'22,7" W	2021-07-15	07:05 AM

*información suministrada por el cliente

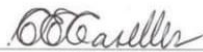
Plan de muestreo:	Muestras entregadas por el cliente	Fecha de recepción:	2021-07-21	Inicio de ensayos:	2020-07-22	Finalización de ensayos:	2021-08-10
Proc. de muestreo:	No aplica	Fecha de reporte de informe de ensayos:	2021-08-10				

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	LDM	LCM	RESULTADOS		
						4883-1	4883-2	4883-3
pH (<i>In situ</i>)	SM 4500-H ⁺ B/Electrométrico	U de pH	6,00 a 9,00	No aplica	No aplica	6,78	6,67	6,59
Conductividad	SM 2510 B /Electrométrico	µS/cm	No aplica	No aplica	No aplica	150	168	160
Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D/Gravimétrico – Secado a 103°C – 105°C	mg/L	90,00	No aplica	6,0	12	14	14
Oxígeno Disuelto	SM 4500-0 G / Electrométrico	mg/L	No aplica	No aplica	0,20	4,4	4,6	4,8
Fosforo Total	SM 4500 P B, E/Digestión Ácido Ascórbico	mg P/L	No aplica	No aplica	0,025	0,108	0,117	0,121
Nitrógeno total	SM 4500 Norg C, SM 4500 NH ₃ B,C /Semi-micro Kjeldahl, Destilación	mg N/L	No aplica	No aplica	No aplica	0,369	0,398	0,388
DQO	SM 5220 D/Reflujo Cerrado Colorimétrico	mg O ₂ /L	180,00	No aplica	5,0	<5	<5	<5

LDM: Límite de detección del método es la menor cantidad del medido que puede ser detectada en la matriz sujeta a ensayo.

LCM: Límite de cuantificación del método; en la menor cantidad a partir de la cual se puede determinar el medido con exactitud y precisión aceptadas bajo las condiciones del laboratorio, en la matriz sujeta a ensayo.

Aprobó:



Campo Elias Caselles
Director de Áreas Técnicas

ZONAS COSTERAS S.A.S.
NIT. 900.584.424-1

Las condiciones ambientales durante el ensayo se encuentran registrados en el laboratorio, disponibles cuando sean requeridos por el cliente. Los resultados reportados son válidos solo para las muestras ensayadas. Prohibido reproducir este informe parcialmente, excepto en su totalidad, bajo la aprobación estricta del laboratorio.

- Cálculo de Oxígeno Disuelto en periodos de lluvias y secos.

PERIODO	EST	OD (mg L ⁻¹)	TEMPERATURA (°K)
Lluvia	1	4,2	299
	2	4,3	298,7
	3	4,3	300,2

PERIODO	EST	PROCEDIMIENTO	ICA
		$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{299}\right) - \left(\frac{66423080}{299^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{299^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{299^4}\right)$ $= 2,096$	
Lluvias	1	$C = e^C = e^{2,096} = 8,133$ $PS_{OD} = \frac{4,2 * 100}{8,133} = 51,64\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 51,64) = 0,5164$ $ICA = 0,17 * 0,05164 = 0,087$	0,087



$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{298,7}\right) - \left(\frac{66423080}{298,7^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{298,7^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{298,7^4}\right) = 2,101$$

$$C = e^C = e^{2,101} = 8,174$$

2

$$PS_{OD} = \frac{4,3 * 100}{8,174} = 52,60\% \quad 0,089$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 52,60) = 0,526$$

$$ICA = 0,17 * 0,526 = 0,089$$

$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{300,2}\right) - \left(\frac{66423080}{300,2^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{300,2^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{300,2^4}\right)$$
$$= 2,0746$$

3

$$C = e^C = e^{2,0746} = 7,9614 \quad 0,091$$

$$PS_{OD} = \frac{4,3 * 100}{7,9614} = 54,01\%$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 54,01) = 0,5401$$

$$ICA = 0,17 * 0,5401 = 0,091$$

Fuente: Los autores, 2021.

PERIODO	EST	OD (mg L ⁻¹)	TEMPERATURA (°K)
Seco	1	4,4	302,45
	2	4,6	303,95
	3	4,8	304,25

PERIODO	EST	PROCEDIMIENTO	ICA
Seco	1	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{302,45}\right) - \left(\frac{66423080}{302,45^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{302,45^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{302,45^4}\right)$ $= 2,0349$ $C = e^C = e^{2,0349} = 7,6514$ $PS_{OD} = \frac{4,4 * 100}{7,6514} = 57,50\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 57,50) = 0,575$ $ICA = 0,17 * 0,575 = 0,097$	0,097
	2	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{303,95}\right) - \left(\frac{66423080}{303,95^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{303,95^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{303,95^4}\right)$ $= 2,009$ $C = e^C = e^{2,009} = 7,4558$ $PS_{OD} = \frac{4,6 * 100}{7,4558} = 61,69\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 61,69) = 0,6169$ $ICA = 0,17 * 0,6169 = 0,105$	0,105

$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{304,25}\right) - \left(\frac{66423080}{304,25^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{304,25^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{304,25^4}\right)$$

$$= 2,0038$$

3

$$C = e^C = e^{2,0038} = 7,4172$$

0,110

$$PS_{OD} = \frac{4,8 * 100}{7,4172} = 64,71\%$$

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * 62,73) = 0,6471$$

$$ICA = 0,17 * 0,6471 = 0,110$$

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales en periodos de lluvias y secos.

PERIODOS	EST	SST (mg L ⁻¹)	PROCEDIMIENTO	ICA
Lluvias	1	10	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 10) = 0,99$ $ICA = 0,17 * 0,99 = 0,168$	0,168
	2	11	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 11) = 0,987$ $ICA = 0,17 * 0,987 = 0,168$	0,168
	3	11	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 11) = 0,987$ $ICA = 0,17 * 0,987 = 0,168$	0,168
Secos	1	12	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 12) = 0,984$	0,167

			$ICA = 0,17 * 0,984 = 0,167$	
2	14		$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 14) = 0,978$	0,166
			$ICA = 0,17 * 0,978 = 0,166$	
3	14		$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 14) = 0,978$	0,166
			$ICA = 0,17 * 0,978 = 0,166$	

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Conductividad Eléctrica en periodos de lluvias y secos.

PERIODOS	EST	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	PROCEDIMIENTO	ICA
Lluvias	1	122	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(122))} = 0,656$ $ICA = 0,17 * 0,656 = 0,110$	0,110
	2	127	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(127))} = 0,637$ $ICA = 0,17 * 0,637 = 0,108$	0,108
	3	126	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(126))} = 0,641$ $ICA = 0,17 * 0,641 = 0,109$	0,109
Secos	1	150	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(150))} = 0,547$ $ICA = 0,17 * 0,547 = 0,093$	0,093
	2	168	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(168))} = 0,473$ $ICA = 0,17 * 0,473 = 0,080$	0,080

3	160	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(160))} = 0,506$ $ICA = 0,17 * 0,506 = 0,086$	0,086
---	-----	---	-------

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de pH en periodos de lluvias y secos.

PERIODOS	EST	pH	PROCEDIMIENTO	ICA
Lluvias	1	6,7	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,7*0,520025)} = 0,856$ $ICA = 0,15 * 0,856 = 0,128$	0,128
	2	6,5	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,5*0,520025)} = 0,772$ $ICA = 0,15 * 0,772 = 0,115$	0,115
	3	6,6	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,6*0,520025)} = 0,813$ $ICA = 0,15 * 0,813 = 0,121$	0,121
Secos	1	6,78	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,78*0,520025)} = 0,893$ $ICA = 0,15 * 0,893 = 0,133$	0,133
	2	6,67	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,67*0,520025)} = 0,843$ $ICA = 0,15 * 0,843 = 0,126$	0,126
	3	6,59	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,59*0,520025)} = 0,809$ $ICA = 0,15 * 0,809 = 0,121$	0,121

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Demanda Química de Oxígeno en periodos de lluvias y secos.

PERIODOS	EST	DQO (mgO ₂ L ⁻¹)	PROCEDIMIENTO	ICA
Lluvias	1	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155
	2	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155
	3	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155
Secos	1	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155
	2	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155
	3	5	Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0.91$ $ICA = 0,17 * 0,91 = 0,155$	0,155

Fuente: Los autores, 2021.



- Cálculo de Nitrógeno Total/Fosforo Total en periodos de lluvias y secos.

PERIODOS	EST	NT PT ⁻¹	PROCEDIMIENTO	ICA
Lluvias	1	0,62	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025
	2	0,65	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025
	3	0,66	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025
Secos	1	3,4	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025
	2	3,4	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025
	3	3,2	Si $\frac{NT}{PT} \leq 5$, o $\frac{NT}{PT} > 20$, entonces $I_{\frac{NT}{PT}} = 0,15$ $ICA = 0,17 * 0,15 = 0,025$	0,025

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Oxígeno Disuelto en periodos de lluvias y secos UWQI.

PERIODO	EST	OD (mg L ⁻¹)	TEMPERATURA (°K)
	1	4,2	299
Lluvia	2	4,3	298,7
	3	4,3	300,2

PERIODO	EST	PROCEDIMIENTO	UWQI
	1	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{299}\right) - \left(\frac{66423080}{299^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{299^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{299^4}\right) = 2,096$ $C = e^C = e^{2,096} = 8,133$ $PS_{OD} = \frac{4,2 * 100}{8,133} = 51,64\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 51,64) = 0,5164$ $UWQI = 0,2 * 0,5164 = 0,103$	0,103
Lluvia	2	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{298,7}\right) - \left(\frac{66423080}{298,7^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{298,7^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{298,7^4}\right) = 2,101$ $C = e^C = e^{2,101} = 8,174$ $PS_{OD} = \frac{4,3 * 100}{8,174} = 52,60\%$	0,105

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 52,60) = 0,526$$

$$UWQI = 0,2 * 0,526 = 0,105$$

$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{300,2}\right) - \left(\frac{66423080}{300,2^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{300,2^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{300,2^4}\right) = 2,0746$$

3

$$C = e^C = e^{2,0746} = 7,9614$$

0,108

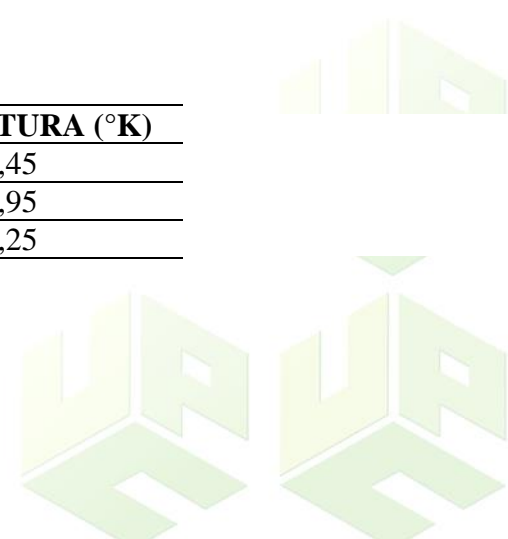
$$PS_{OD} = \frac{4,3 * 100}{7,9614} = 54,01\%$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 54,01) = 0,5401$$

$$UWQI = 0,2 * 0,5401 = 0,108$$

Fuente: Los autores, 2021.

PERIODO	EST	OD (mg L ⁻¹)	TEMPERATURA (°K)
Seco	1	4,4	302,45
	2	4,6	303,95
	3	4,8	304,25



PERIODO	EST	PROCEDIMIENTO	UWQI
Seco	1	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{302,45}\right) - \left(\frac{66423080}{302,45^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{302,45^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{302,45^4}\right) = 2,0349$ $C = e^C = e^{2,0349} = 7,6514$ $PS_{OD} = \frac{4,4 * 100}{7,6514} = 57,50\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 57,50) = 0,575$ $UWQI = 0,2 * 0,575 = 0,115$	0,115
	2	$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{303,95}\right) - \left(\frac{66423080}{303,95^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{303,95^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{303,95^4}\right) = 2,009$ $C = e^C = e^{2,009} = 7,4558$ $PS_{OD} = \frac{4,6 * 100}{7,4558} = 61,69\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * 61,69) = 0,6169$ $UWQI = 0,2 * 0,6169 = 0,123$	0,123



$$\ln C = -139,3441 + \left(\frac{157570,1}{304,25}\right) - \left(\frac{66423080}{304,25^2}\right) + \left(\frac{12438000000}{304,25^3}\right) - \left(\frac{862194900000}{304,25^4}\right) = 2,0038$$

3

$$C = e^C = e^{2,0038} = 7,4172$$

0,129

$$PS_{OD} = \frac{4,8 * 100}{7,4172} = 64,71\%$$

$$I_{OD} = 1 - (0,01 * 62,73) = 0,6471$$

$$UWQI = 0,2 * 0,6471 = 0,129$$

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Solidos Suspendidos Totales en periodos de lluvias y secos UWQI.

PERIODOS	EST	SST (mg L ⁻¹)	PROCEDIMIENTO	UWQI
Lluvias	1	10	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 10) = 0,99$ $UWQI = 0,2 * 0,99 = 0,198$	0,198
	2	11	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 11) = 0,987$ $UWQI = 0,2 * 0,987 = 0,197$	0,197
	3	11	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 11) = 0,987$ $UWQI = 0,2 * 0,987 = 0,197$	0,197
Secos	1	12	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 12) = 0,984$ $UWQI = 0,2 * 0,984 = 0,196$	0,196

2	14	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 14) = 0,978$ $UWQI = 0,2 * 0,978 = 0,195$	0,195
3	14	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * 14) = 0,978$ $UWQI = 0,2 * 0,978 = 0,195$	0,195

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Conductividad Eléctrica en periodos de lluvias y secos UWQI.

PERIODOS	EST	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	PROCEDIMIENTO	UWQI
Lluvias	1	122	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(122))} = 0,656$ $UWQI = 0,2 * 0,656 = 0,131$	0,131
	2	127	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(127))} = 0,637$ $UWQI = 0,2 * 0,637 = 0,127$	0,127
	3	126	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(126))} = 0,641$ $UWQI = 0,2 * 0,641 = 0,128$	0,128
Secos	1	150	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(150))} = 0,547$ $UWQI = 0,2 * 0,547 = 0,109$	0,109
	2	168	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(168))} = 0,473$ $UWQI = 0,2 * 0,473 = 0,094$	0,094
	3	160	$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\text{LOG}_{10}(160))} = 0,506$	0,101

$$UWQI = 0,2 * 0,506 = 0,101$$

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de pH en periodos de lluvias y secos UWQI.

PERIODOS	EST	pH	PROCEDIMIENTO	UWQI
Lluvias	1	6,7	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,7*0,520025)} = 0,856$ $UWQI = 0,2 * 0,856 = 0,171$	0,171
	2	6,5	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,5*0,520025)} = 0,772$ $UWQI = 0,2 * 0,772 = 0,154$	0,154
	3	6,6	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,6*0,520025)} = 0,813$ $UWQI = 0,2 * 0,813 = 0,162$	0,162
Secos	1	6,78	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,78*0,520025)} = 0,893$ $UWQI = 0,2 * 0,893 = 0,178$	0,178
	2	6,67	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,67*0,520025)} = 0,843$ $UWQI = 0,2 * 0,843 = 0,168$	0,168
	3	6,59	$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(6,59*0,520025)} = 0,809$ $UWQI = 0,2 * 0,809 = 0,162$	0,162

Fuente: Los autores, 2021.

- Cálculo de Demanda Química de Oxígeno en periodos de lluvias y secos UWQI.

PERIODOS	EST	DQO (mgO ₂ L ⁻¹)	PROCEDIMIENTO	UWQI
Lluvias	1	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182
	2	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182
	3	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182
Secos	1	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182
	2	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182
	3	5	$\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0.91$ $UWQI = 0,2 * 0,91 = 0,182$	0,182

Fuente: Los autores, 2021.

