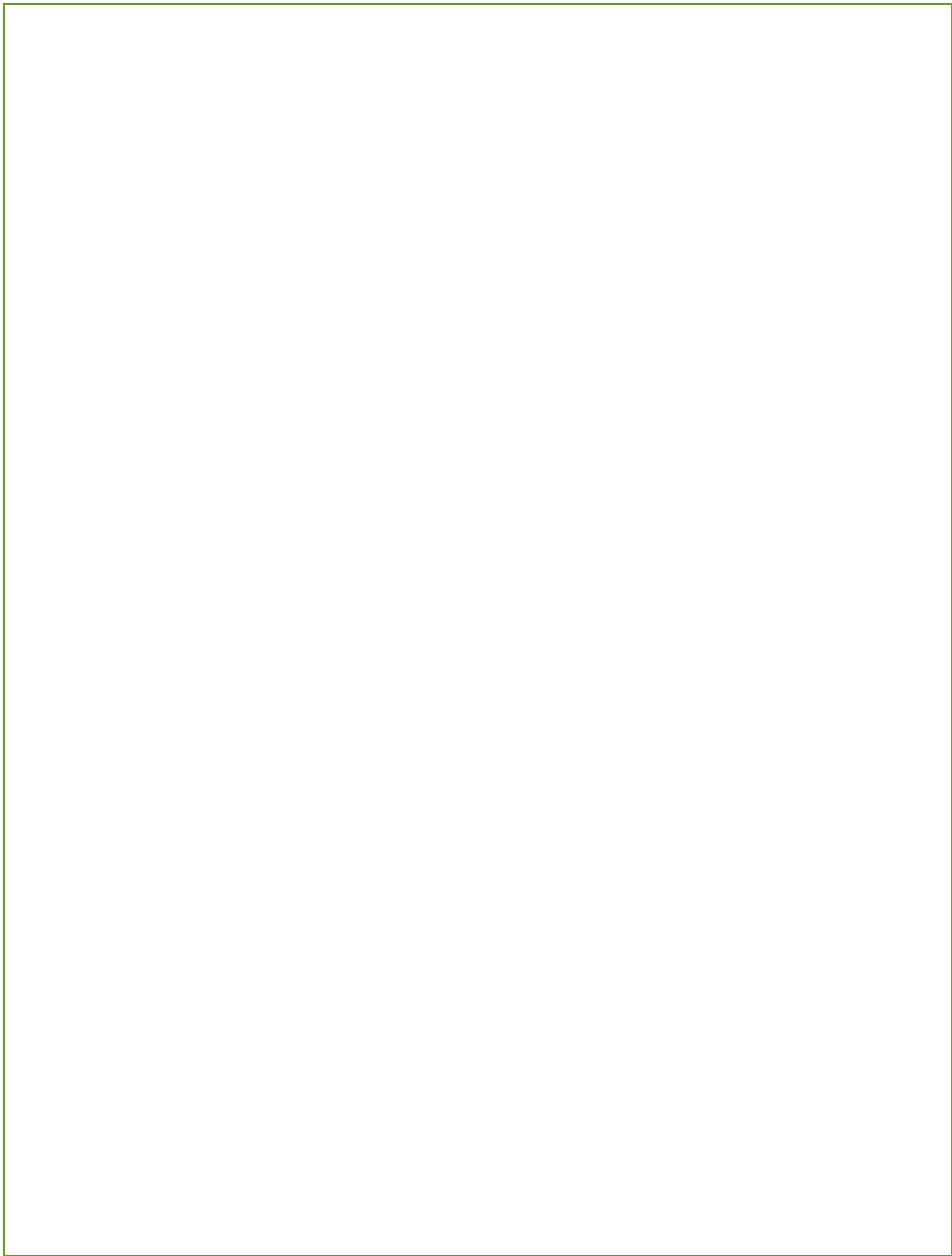




**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE BIOINDICADORES  
MACROINVERTEBRADOS POR MEDIO DE LOS MÉTODOS BMWP/COLICA E ICO  
EN EL RÍO CESAR EN EL MUNICIPIO DE CHIRIGUANÁ/CESAR.**

**AUTORES**

**CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO  
JOSÉ ARMANDO PRIETO VALLEJO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR/CESAR**

**2022**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE BIOINDICADORES  
MACROINVERTEBRADOS POR MEDIO DE LOS MÉTODOS BMWP/COLICA E ICO  
EN EL RÍO CESAR EN EL MUNICIPIO DE CHIRIGUANÁ/CESAR.**

**AUTORES**

**CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO  
JOSÉ ARMANDO PRIETO VALLEJO**

**DIRECTOR**

**JOSE MAURICIO PEREZ ROYERO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR/CESAR**

**2022**

## DEDICATORIA

*Este proyecto de grado está dedicado a todas aquellas personas que confiaron en que sería capaz de alcanzar cada una de mis metas y propósitos durante mi experiencia formativa para convertirme en profesional; mis padres Wilson Mariano Giraldo Gómez, Milena Rodelo Benavides; mis abuelas, tíos y hermanos, tienen mi gratitud por cada consejo, sus esfuerzos, su confianza depositada en mí y el amor que me han brindado todos estos años.*

CARLOS ANDRES GIRALDO RODELO



## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria en especial A mis padres Davinson Demis Prieto Cortez, Marien Vallejo Mendoza y hermanos Darinson Prieto Vallejo Y Diana Prieto Vallejo quienes me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación inquebrantables cimientos y amor infinito.*

**JOSE ARMANDO PRIETO VALLEJO**



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero agradecer principalmente a Dios por brindarme la sabiduría para afrontar las dificultades durante mi proceso formativo en la universidad, a mis padres, hermanos y cada uno de mis familiares que me brindaron el apoyo para sacar este proyecto de vida adelante, y lograr alcanzar mi título como ingeniero ambiental y sanitario. Le agradezco al Ingeniero José Mauricio Pérez por su dedicación, tiempo, esfuerzo e instrucción para hacer posible el desarrollo de esta investigación. Agradezco a mi compañero José Armando Prieto Vallejo por su apoyo, su paciencia, su desempeño, su compromiso y esfuerzo en el desarrollo de nuestro proyecto, a mis amigos y cada una de las personas que son importantes para mí por alentarme y brindarme su apoyo para que fuera posible. Por último, agradezco a cada uno de mis docentes de la Universidad Popular del Cesar que participo en mi proceso formativo, aquellos que me motivaron, enseñaron y compartieron sus conocimientos para ayudarme a alcanzar mis metas. Sobre todo, a la ingeniera Alehana Cahuana Mojica quien nos brindó su guía en el desarrollo metodológico temprano de nuestra tesis durante el curso de ciertas asignaturas. A todos ustedes gracias y expreso mi mayor reconocimiento y gratitud.*

**CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.*

*A mis padres y hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*Le agradezco al Ingeniero José Mauricio Pérez por su, acompañamiento, colaboración y conocimiento que hicieron posible el desarrollo de este proyecto, a los docentes de la Universidad Popular del Cesar, en especial a la ingeniera Alehana Cahuana Mojica que con su, sabiduría y apoyo, motivaron a desarrollarnos como profesional.*

*Le agradezco a mi compañero Carlos Giraldo por apoyo en la realización de nuestro proyecto y su incondicional amistad, a mis amigos por brindarme su acompañamiento y cariño.*

*A todos, mi mayor gratitud.*

*Jose Armando Prieto Vallejo*



## RESUMEN

Los ríos son fuentes hídricas de gran importancia, pues bien es cierto que a través de ellos se realizan actividades económicas, domésticas y agropecuarias que brindan desarrollo y sustento a las poblaciones aledañas a sus riberas, es por esto, que aquellos municipios que poseen en sus cercanías el paso de un río tiene gran potencial económico para desarrollarse a comparación de aquellos que no cuentan con un cuerpo hídrico cercano a sus limitaciones. Sin embargo, en el mayor de los casos se deja a un lado el factor ambiental, el cual se puede ver afectado por dichas actividades.

El siguiente trabajo se realizó en el río Cesar, en el tramo ubicado en la jurisdicción del municipio de Chiriguaná, Cesar. Cuya finalidad fue determinar la calidad del agua a través de bioindicadores macroinvertebrados por medio de los métodos BMWP/COL, ICA E ICO. Para concluir la calidad del agua del tramo del cuerpo de agua, es por esto que, se empleó la recolección de macroinvertebrados como bioindicadores junto a las variables físicas y químicas determinadas en el afluente durante los meses de Agosto y Octubre de 2022. En donde se obtuvo un total de 394 individuos en 25 familias, Siendo la más abundante la Elmidae del orden coleópteros con 94 individuos. A partir de estos resultados biológicos se calculó el índice BMWP/Col (Roldán, 1999), y con los paramétricos físicos y químicos se calcularon los índices de calidad ICA y contaminación ICO.

Palabras claves: Macroinvertebrados, bioindicadores, calidad del agua, ICA e ICO.



## ABSTRACT

Rivers are water sources of great importance, since it is true that through them economic, domestic and agricultural activities are carried out that provide development and sustenance to the populations surrounding their banks, which is why those municipalities that have in their Nearby the passage of a river has great economic potential for development compared to those that do not have a water body close to their limitations. However, in most cases, the environmental factor is left aside, which can be affected by said activities.

The following work was carried out on the Cesar River, in the section located in the jurisdiction of the municipality of Chiriguaná, Cesar. Whose purpose was to determine the water quality through macroinvertebrate bioindicators by means of the BMWP/COL, ICA and ICO methods. To conclude the water quality of the section of the body of water, that is why the collection of macroinvertebrates was used as bioindicators together with the physical and chemical variables determined in the tributary during the months of August and October 2022. Where obtained a total of 394 individuals in 25 families, being the most abundant the Elmidae of the order Coleoptera with 94 individuals. From these biological results, the BMWP/Col index was calculated (Roldán, 1999), and with the physical and chemical parameters, the ICA quality and ICO contamination indices were calculated.

**Keywords:** Macroinvertebrates, bioindicators, water quality, ICA and ICO.



## INDICE.

### Contenido

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCION .....                                                            | 13        |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                              | 15        |
| <b>2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>                                       | <b>16</b> |
| 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....                                               | 17        |
| <b>4. OBJETIVOS.....</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>4.1. Objetivo general .....</b>                                               | <b>19</b> |
| 4.2. Objetivos específicos .....                                                 | 19        |
| <b>5. MARCO REFERENCIAL .....</b>                                                | <b>20</b> |
| <b>5.1. ANTECEDENTES .....</b>                                                   | <b>20</b> |
| <b>5.2 MARCO TEÓRICO .....</b>                                                   | <b>26</b> |
| 5.2.1. Índices biológicos como una herramienta de monitoreo .....                | 26        |
| 5.2.2. Macroinvertebrados Acuáticos .....                                        | 26        |
| 5.2.3. El Biological Monitoring Working Party (BMWP).....                        | 27        |
| 5.2.4. Índice de Calidad del agua .....                                          | 27        |
| <b>5.2.5 Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA .....</b> | <b>28</b> |
| <b>5.2.6. Índices De Contaminación Orgánica .....</b>                            | <b>28</b> |
| ICOMI o parámetro de mineralización .....                                        | 28        |
| ICOSUS o parámetro de contaminación por sólidos suspendidos.....                 | 29        |
| 5.2.7. Clasificación de calidad según los índices de contaminación .....         | 29        |
| 5.2.8. Calidad del agua.....                                                     | 29        |
| <b>5.2.9. La Contaminación del Agua .....</b>                                    | <b>30</b> |
| <b>5.2.10. Microbiológica del Agua.....</b>                                      | <b>30</b> |
| <b>5.2.11. Propiedades Microbiológicas .....</b>                                 | <b>31</b> |
| <b>5.2.12. Características Físicas .....</b>                                     | <b>31</b> |
| 5.2.13. Características Químicas.....                                            | 32        |
| <b>5.3 MARCO CONCEPTUAL .....</b>                                                | <b>33</b> |
| Patógenos: .....                                                                 | 34        |
| 5.4. MARCO CONTEXTUAL .....                                                      | 35        |
| 5.5. MARCO LEGAL .....                                                           | 37        |
| 6. MARCO METODOLÓGICO.....                                                       | 40        |
| <b>6.1. Línea de la investigación: .....</b>                                     | <b>40</b> |

|                                                                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sublínea de la investigación .....</b>                                                                                                                                                         | <b>40</b> |
| <b>6.2. Tipo de investigación: .....</b>                                                                                                                                                          | <b>40</b> |
| <b>6.3. Nivel de la investigación: .....</b>                                                                                                                                                      | <b>40</b> |
| <b>6.4. Población de estudio: .....</b>                                                                                                                                                           | <b>40</b> |
| <b>6.5. Muestra: .....</b>                                                                                                                                                                        | <b>40</b> |
| <b>7. ANALISIS Y RESULTADOS .....</b>                                                                                                                                                             | <b>52</b> |
| 7.1 comportamiento de las variables físicas y químicas en periodo seco y de lluvia. ....                                                                                                          | 52        |
| 7.2 Análisis De La Variables Físicas Y Químicas .....                                                                                                                                             | 53        |
| 7.2.4 Sólidos suspendidos totales .....                                                                                                                                                           | 57        |
| 7.3 Análisis De Macroinvertebrados Acuáticos .....                                                                                                                                                | 61        |
| 7.4 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos según el orden taxonómico recolectados .....                                                                                    | 68        |
| en época de verano .....                                                                                                                                                                          | 68        |
| 7.4.1 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos según el orden taxonómico recolectados el río Cesar jurisdicción del municipio de Chiriguana Cesar en época de invierno. .... | 69        |
| 7.5 Determinación del índice BMWP/COL .....                                                                                                                                                       | 73        |
| 7.5.1 determinación del índice BMWP/COL en las estaciones de muestreo en época de sequía y lluvias .....                                                                                          | 73        |
| 7.6 Índice de calidad de agua ICA .....                                                                                                                                                           | 75        |
| 7.7 índices de contaminación Icos .....                                                                                                                                                           | 77        |
| 7.8 Correlación de las variables físicas y químicas mediante el coeficiente de Pearson .....                                                                                                      | 80        |
| 7.8.2 Análisis principal de componentes .....                                                                                                                                                     | 82        |
| Conclusiones .....                                                                                                                                                                                | 83        |
| Recomendaciones .....                                                                                                                                                                             | 85        |
| BIBLIOGRAFÍA. ....                                                                                                                                                                                | 86        |
| ANEXOS .....                                                                                                                                                                                      | 91        |
| Anexo 1 MACROINVERTEBRADOS .....                                                                                                                                                                  | 91        |
| ANEXO 2 REGISTRO FOTOGRAFICO .....                                                                                                                                                                | 98        |
| Anexos 3 Cálculo BMWP/COL PERIODO SECO .....                                                                                                                                                      | 103       |
| Anexo 4 Cálculo BMWP/COL PERIODO LLUVIA .....                                                                                                                                                     | 107       |
| Anexo 5 CÁLCULO DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA .....                                                                                                  | 110       |
| ANEXO 6 CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ICO .....                                                                                                                                         | 119       |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                          |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Tabla 1 clasificación de la calidad por BMWP/COL. ....                                                                                   | 27                                   |
| Tabla 2 variables y ponderación ICA .....                                                                                                | 28                                   |
| Tabla 3 clasificación del ICA .....                                                                                                      | 28                                   |
| Tabla 4 clasificación de calidad ICOS.....                                                                                               | 29                                   |
| Tabla 5 marco legal.....                                                                                                                 | 37                                   |
| Tabla 6 estaciones de muestreo.....                                                                                                      | 41                                   |
| Tabla 7 parámetros y métodos .....                                                                                                       | 43                                   |
| Tabla 8 variables físicas y química en periodo seco.....                                                                                 | 52                                   |
| Tabla 9 variables físicas y química en periodo de lluvia.....                                                                            | 52                                   |
| Tabla 10 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 1 de muestreo en época de sequía..... | 62                                   |
| Tabla 11 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 2 en época de sequía. ....            | 63                                   |
| Tabla 12 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 3 en época de sequía. ....            | 64                                   |
| Tabla 13 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 1 en época de lluvia. ....            | 65                                   |
| Tabla 14 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 2 en época de lluvia. ....            | 66                                   |
| Tabla 15 identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 3 en época de lluvia. ....            | 67                                   |
| Tabla 16 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de sequía                                              | 68                                   |
| Tabla 17 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de lluvia.                                             | 69                                   |
| Tabla 18 .....                                                                                                                           | 73                                   |
| Tabla 19 .....                                                                                                                           | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla 20 índice de calidad del agua en los periodos de sequía y lluvia.....                                                              | 75                                   |
| Tabla 21 índices de contaminación en los periodos de lluvia y sequía .....                                                               | 77                                   |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Características microbiológicas.....                                                                  | 31 |
| Figura 2 Características físicas .....                                                                         | 32 |
| Figura 3 ubicación del municipio de chiriguana.....                                                            | 35 |
| Figura 4 Ilustración imagen satelital del municipio de chiriguana tomado de la web y ajustado por autores..... | 36 |
| Figura 5 Ilustración imagen puntos de muestreo .....                                                           | 36 |

## INDICE DE GRAFICOS

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafico 1 temperatura en del agua .....                                                                                  | 53 |
| Grafico 2 PH .....                                                                                                       | 54 |
| Grafico 3 conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ .....                                                          | 55 |
| Grafico 4 Oxígeno disuelto mg/L .....                                                                                    | 56 |
| Grafico 5 Solidos Suspendidos .....                                                                                      | 57 |
| Grafico 6 Demanda química de oxígeno mg/L .....                                                                          | 58 |
| Grafico 7 alcalinidad total mg/L .....                                                                                   | 59 |
| Grafico 8 Dureza total .....                                                                                             | 60 |
| Grafico 9 índice de contaminación por sólidos suspendidos periodo de sequia y lluvia.....                                | 77 |
| Grafico 10 El Indice de contaminación por mineralización en periodos de sequia y lluvia.....                             | 78 |
| Grafico 11 Índice de contaminación por pH.....                                                                           | 79 |
| Grafico 12 Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los<br>Componente 1 y Componente 2..... | 82 |

## INDICE DE DIAGRAMAS

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Diagrama 1 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de sequía<br>.....   | 68 |
| Diagrama 2 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de<br>invierno. .... | 69 |



## 1. INTRODUCCION

En la actualidad los recursos naturales se han visto afectados debido al crecimiento desmesurado de la población, siendo la industrialización y la urbanización de los territorios un causante de la presión generada en los recursos naturales, tanto en su preservación como disponibilidad (Oscos, J et al., 2006). Siendo el recurso hídrico el mayormente afectado debido a las prácticas antrópicas como a las intervenciones que genera el ser humano sobre el medio biótico. En donde las actividades como agricultura, ganadería, minería, vertimientos de aguas residuales domésticas como también agroindustriales se presentan como principales riesgos para la calidad del agua alterando sus características físico-químicas y microbiológicas. (UA, Corpocesar, 2011)).

El río Cesar cuyas aguas transitan a través de los departamentos de la Guajira y el Cesar, en donde tiene el final de su recorrido en la desembocadura de la Ciénega de la zapatosa, es el afluente más importante del departamento del cesar, cuyas aguas se dan paso por varios municipios del territorio, los cuales emplean este cuerpo de agua para su abastecimiento, actividades agropecuarias, y pesqueras. No obstante, el continuo uso de este recurso junto al vertimiento desmesurado de aguas residuales con altas cargas contaminantes ha contribuido a un deterioro sustancial del cuerpo hídrico desde su cuenca media en el municipio de Valledupar hasta su desembocadura final. (Oñate Barraza, H. C., & Cortez Henao, G. Y. (2020)). Así mismo se destaca que entre las problemáticas que pueden presentarse debido al aporte significativo de contaminantes al cuerpo de agua a través de estos vertidos se tienen los aportes de exceso de nutrientes causados por estos, permitiendo el crecimiento desmedido de la vegetación acuática conllevando problemas de eutrofización. Del mismo modo se generan aportes de aceites y detergentes, los cuales forman películas superficiales que reducen la tasa de transferencia de oxígeno, por lo tanto, impiden la reoxigenación del agua. (Peña, L et al., 2001).

Por consiguiente, el presente trabajo tiene como finalidad valorar las condiciones del agua del río Cesar, en su paso por el municipio de chiriguaná junto a su relación con los indicadores de calidad y contaminación con el índice biológico BMWP/COL, considerando que la implementación de este último ha sido participe en distintos estudios en cuerpos de agua debido a que se ha incorporado como una herramienta con eficacia, rapidez y de bajo costo para la cualificación ecológica de los cuerpos hídricos, a diferencia de los métodos tradicionalmente

empleados, los cuales se han caracterizado por sus altos costos y baja practicidad. (Giraldo, G, 2004).

El método BMWP consiste en un biomonitoreo establecido en Reino Unido en los años 70, el cual brinda una evaluación rápida y sencilla del estado de calidad del agua a través de indicadores biológicos como son los macroinvertebrados. Este método fue adaptado por Roldan en Colombia, siendo considerado como BMWP/Col. Esta adaptación solo necesita llegar hasta el nivel familiar dentro de la clasificación taxonómica, cuyos datos son cualitativos sobre si hay presencia o no de comunidades de organismos. Punteando en un rango de 1 a 10, según el grado de contaminación. Sumando los puntajes y obteniendo la puntuación total de BWMP. (Roldan, 2003).

Es por ello que la identificación de la presencia de las comunidades de macroinvertebrados permite un análisis sobre las condiciones en las que se encuentra un cuerpo de agua, considerando que existen especies que se caracterizan por habitar aguas poco contaminadas como también otras que incrementan sus números en presencia de aguas con pésima calidad, denotando esto último las alteraciones fisicoquímicas que sufren los cuerpos de agua por acciones antrópicas. (Oscor, Campos y Escala, 2006).

Cabe resaltar que las implementaciones de técnicas biológicas son comúnmente empleadas en la evaluación de la calidad de las fuentes hídricas como un enfoque biológico que brinda un acompañamiento a las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas dando así un análisis más completo y amplio sobre las condiciones que presenta el cuerpo de agua. Estas técnicas se vienen empleando en países europeos como también en los Estados Unidos. Sin embargo, es un método diverso que puede ser empleado en países tropicales a partir del conocimiento de las condiciones ambientales de la zona en estudio y la variedad de organismos que pueden habitarla según sus exigencias ecológicas y distribución geográfica. (Oñate Barraza, H. C., & Cortez Henao, G. Y. (2020)).

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación de los cuerpos de agua que afronta actualmente Colombia es causada por la interacción de agentes físicos, químicos y microbiológicos, los cuales son precursores del deterioro, a causa del aumento de la densidad poblacional y las actividades productivas, que causan efectos tales como la desregulación y disponibilidad espacial de los afluentes loticos. (Hahn, Toro, Grajales, Duque, y Serna, 2009).

El río Cesar es un afluente simbólico en el marco histórico y cultural del departamento, con diversos usos tales como minería, agricultura, ganadería, pesca, entre otros, que a lo largo de su recorrido benefician a muchas de las comunidades y asentamientos urbanos que se localizan en la cuenca del río Cesar, tales como lo son los municipios de: Chiriguaná, Valledupar, entre otros. (Guzmán, 2013).

El río Cesar es uno de los afluentes hídricos con mayor importancia para el departamento del Cesar. No obstante, esto no ha sido impedimento en los últimos años para el aumento desproporcional del deterioro en la calidad de sus aguas, las cuales se han visto alteadas por actividades antrópicas como lo son: la explotación minera y los vertimientos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a lo largo de su recorrido (Universidad Atlántico, 2011).

Uno de los principales problemas que presenta el río Cesar es el incremento poblacional lo que conlleva a una necesidad de aumentar el vertimiento de aguas residuales generadas en los diferentes municipios, carentes de un tratamiento eficiente previo a la zona de vertido, es por esto que el río Cesar es el afluente hídrico que recibe mayores descargas de aguas residuales de estas poblaciones, como lo son: Chiriguaná, Valledupar, San diego, La Paz, Chimichagua, entre otros. Viéndose afectada la calidad de sus aguas en sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos, alcanzando concentraciones superiores a 500 mg/L de DBO (POMCAS, Río bajo Cesar - Ciénaga de la Zapatosa, 2016).

Otros de los problemas que afectan a esta fuente hídrica es el desarrollo de actividades de explotación minera (minería de carbón a cielo abierto) realizada en el centro del departamento del Cesar por la empresas de explotación de carbón a cielo abierto Donde por lixiviación se realizan descargas de aguas mineras al río Cesar Generando posibles efectos tóxicos a las poblaciones que utilicen este recurso hídrico para su utilidad doméstica, y alimenticio. (POMCAS, Río Calenturitas, Corpocesar, 2016).

En el municipio de Chiriguaná por ser una de las poblaciones que se encuentra asentada directamente sobre el río Cesar se puede estar viendo afectada por la contaminación de la fuente hídrica debido a una de sus actividades económicas como es la pesca artesanal donde por fenómenos de bioacumulación y biomagnificación sus pobladores pueden presentar problemas de salud por el consumo de peces. De igual manera cabe mencionar que esta población realiza sus vertimientos sobre la Ciénega grande, afluente del río Cesar, el cual no cumple con los requerimientos establecidos en la resolución 0631 (Corpocesar, 2016). Esto mencionado por Pérez J, 2021. En su proyecto denominado evaluación de la contaminación por presencia de metales en sedimentos en el río Tucuy, maracas y calenturitas, en donde las aguas residuales contaminan las fuentes hídricas por metales como: cadmio, y níquel.

Por otro lado, se tienen que las altas cargas de contaminantes producto de vertidos de aguas agroindustriales, domésticas y mineras con cargas elevadas de materia orgánica y microorganismos patógenos representan un grave riesgo en la salud pública de sus pobladores, debido generan enfermedades tales como: diarreas, meningitis, y enfermedades gastrointestinales. (Bofill-Mas et al., 2005).

Los macroinvertebrados son organismos con tamaños superiores a 500  $\mu\text{m}$ , los cuales se emplean con la finalidad de analizar la calidad de los cuerpos de agua, con relación a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de la fuente hídrica. (Cardona y Manrique, 2017). Considerando que la relación entre estos organismos con los estudios de los sistemas acuáticos, han acogido mayor importancia debido a que los estudios de calidad de agua a partir de variables físicas, químicas tienden a no determinar con precisión sino generar una idea puntual sobre la calidad del agua. (Montoya, Y., Acosta, Y. y Zuluaga, E., 2011).

## **2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las condiciones de calidad de agua en el río Cesar en el municipio de Chiriguaná Cesar?

### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Conociendo la problemática es necesario evaluar de forma integrada el deterioro de la cuenca del río Cesar, En este sentido, el uso de indicadores biológicos en combinación con las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua puede permitir un criterio completo. (Roldan, 2006), Al igual que incluir la modificación del paisaje asociado al río, la vegetación riparia y alteraciones del hábitat con la finalidad de obtener una integralidad en los efectos dentro de la cuenca. (Casten, 2002).

Esta investigación tiene como fin dar a conocer el estado de la calidad del río Cesar en el municipio de Chiriguaná-Cesar, cuyo tramo delimitado evidencia un afluente afectado por el vertimiento de caudales con características físico-químicas que pueden generar alteración en la calidad del afluente (POMCAS, Río bajo Cesar - Ciénaga de la Zapatosa, 2016), los efectos que conllevan estas cargas contaminantes al cuerpo de agua son significativos, considerando que el vertimiento de estas aguas corresponden procesos agroindustriales, mineros, entre otras actividades de origen antrópico. (POMCAS, Río bajo Cesar - Ciénaga de la Zapatosa, 2016). Complementario a lo anterior se destaca que el área de estudio corresponde a la cabecera municipal en donde las familias usan de forma directa las aguas provenientes del río para uso agropecuario (UA, Corpocesar, 2011), dichas actividades que evidencian que la calidad del agua del afluente es importante y por lo tanto es imprescindible el realizar una evaluación para determinar si el estado del mismo es apta para los usos que actualmente se destina, asimismo se resalta la importancia de la aplicación de estos métodos para los estudios de ingeniería ambiental y sanitaria como para los funcionarios encargados de tomar decisiones en las entidades de control ambiental. Donde cuenten con herramientas para la evaluación del recurso hídrico dentro de las políticas públicas junto al seguimiento de los impactos generados (Torres, Cruz & Patiño, 2009). A través de la implementación de métodos viables tanto en eficacia como en costo económico, desde una perspectiva científica en el seguimiento de la calidad del agua, como es el caso en el uso de los macroinvertebrados como indicadores biológicos de la calidad de los cuerpos de agua, por medio de la observación, clasificación y conteo de especies. Así mismo correlacionar con otros métodos de gran envergadura como lo son el ICA e ICOS.

Con la finalidad de que la calidad de agua evaluada según los métodos mencionados, cumplan la normativa vigente del estado colombiano tal como: La ley 9 del 1979, la cual reglamenta las actividades y competencias de salud pública para asegurar el bienestar de la población, el decreto 1075 del 2007, el cual establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo y la resolución 2115 del 2007, en donde se señalan aquellos instrumentos, las frecuencias de los sistemas de control y vigilancia y sus características para el agua destinada para consumo humano.



## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

- Determinar la calidad del agua a través de bioindicadores macroinvertebrados por medio de los métodos BMWP/COL, ICA E ICO en el río Cesar en el municipio de Chiriguaná /Cesar.

### 4.2. Objetivos específicos

- Establecer las propiedades físicas, químicas de acuerdo a los requerimientos establecidos por las variables, ICA E ICO en los periodos secos y de lluvia del Rio Cesar en la jurisdicción del municipio de Chiriguana Cesar.
- Identificar las estructuras y composición de las comunidades de macroinvertebrados presentes en los periodos secos y de lluvia en el río Cesar en el municipio de Chiriguaná Cesar.
- Correlacionar la respuesta entre los índices BMWP, ICA e ICO y los parámetros físicos, químicos que representan el estado de afectación ambiental del río Cesar en el municipio de Chiriguaná/Cesar.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1. ANTECEDENTES

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA, GRIDIS YULIEHT CORTÉZ HENAO, (2020). Desarrollaron la investigación titulada Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col, con la finalidad de cualificar las condiciones de la corriente del río Cesar en la zona de influencia del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar, y su relación con los indicadores de contaminación biológica e índice de calidad BMWP/Col. Esta investigación se llevó a cabo en dos fases; estas fueron: FASE 1 o Fase de campo: en esta fase de la investigación, los autores delimitaron el área de estudio, ubicando cuatro estaciones sobre el río Cesar, las cuales se localizaron así: E1 y E2 aguas arriba de la PTAR y los vertimientos de la ciudad, E3 en la mezcla del vertimiento y E4 aguas debajo de las descargas de la STAR. Dentro de esta zona de estudio se efectuó una caracterización fisicoquímica a través de un muestreo compuesto de 12h cada dos días por 3 meses y posteriormente una recolección del material biológico por medio de una red surber o red de mano por la sección transversal del río. Dichas muestras biológicas se conservaron con formaldehído al 4% en envases rotulados para su posterior análisis de laboratorio. En la FASE 2 o Fase de laboratorio, se realizaron los correspondientes análisis de laboratorio de las muestras tomadas en campos, en donde a partir de métodos estandarizados se determinaron las variables fisicoquímicas y el conteo biológico se realizó a partir de la abundancia de especies, y la clasificación de taxones claves. Dentro de los resultados obtenidos se tuvo que el estudio presenta cuatro estados diferentes en las estaciones, en donde la estación 1 posee niveles regulares de OD a diferencia de la estación 2 que tiene niveles superiores a comparativa de las demás estaciones. Ya en el punto de la estación 3 los niveles comienzan un descenso hasta alcanzar su etapa crítica en la estación 4, en donde a través del índice biológico BMWP/COL se determinó y corroboró que E4 posee niveles críticos de OD y presencia de macroinvertebrados que indican aguas de pésima calidad como son el caso de los dípteros e individuos de la familia Leptoceridae que si bien se encuentran en aguas oxigenadas también tienen presencia en aguas con alta carga de material orgánico disponible. Esta investigación presenta aportes significativos al presente estudio debido a que la metodología empleada facilita el acceso a los resultados sobre las condiciones del río en el tramo ubicado en el municipio de Valledupar y la carga contaminante que recibe debido a la escasa gestión de la planta

de tratamiento ubicada en la zona, sin el control necesario en sus descargas generando contaminación que afectará de igual forma a la zona en donde se realizará el estudio en el municipio de Chiriguaná.

JULIO C. NUÑEZ, PEDRO J. FRAGOSO-CASTILLA (2020), desarrollaron la investigación titulada USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO GUATAPURÍ (VALLEDUPAR, COLOMBIA), con la finalidad de evaluar la calidad del agua del río Guatapurí en su cuenca media, a través de la clasificación de las comunidades de macroinvertebrados presentes en las zonas delimitadas y su relación con las variables físico – químicas y microbiológicas del medio hídrico. Esta investigación se llevó a cabo en dos etapas; estas fueron: FASE 1 o Fase de campo: en esta los autores delimitaron el área de estudio en cuatro estaciones, en donde la recolección de las muestras se realizó a partir de la toma de tres replicas, es decir, la obtención de doce muestras en su totalidad. FASE 2 o Fase de oficina: en segunda instancia los autores elaboraron un análisis respecto a los organismos presentes en el cuerpo de agua, clasificando cada uno de estos, en su respectiva agrupación taxonómica considerando las diferencias de riqueza y abundancia, a través del conteo y relación con índices ecológicos. Teniendo en cuenta que esta investigación presentó 1640 organismos agrupados en cinco clases, 12 órdenes y 34 familias, en los cuales la clase insecto tuvo mayor predominancia con respecto a las demás encontradas en el afluente. De tal forma es considerable destacar que, entre los órdenes presentados en los resultados de la investigación, siendo el orden Ephemeroptera y díptera puedan presentarse en el río Cesar jurisdicción municipio de Chiriguaná en vista que son organismos con considerable densidad poblacional en la zona, teniendo en cuenta los resultados del presente estudio, al igual que de trabajos de investigación similares como el de Hernández et al., (2016).

NICOLÁS MARTÍNEZ GARCÍA, ÁLVARO ALEXANDER ZEQUEIRA CUERVO, (2018). Desarrollaron la investigación titulada EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL BALNEARIO HURTADO, RÍO GUATAPURÍ, DETERMINADA A TRAVÉS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS IMPLEMENTANDO ÍNDICES BIOLÓGICOS Y FÍSICOQUÍMICOS para optar el título de MAGÍSTER EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS AMBIENTALES ÉNFASIS EN QUÍMICA AMBIENTAL en la UNIVERSIDAD SANTO

TOMÁS EN BUCARAMANGA COLOMBIA, con la finalidad de evaluar la calidad del agua del balneario Hurtado, río Guatapurí, a través de macroinvertebrados acuáticos implementando índices biológicos y fisicoquímicos. Esta investigación se llevó a cabo en tres fases; estas fueron: FASE 1: en esta fase de la investigación, los autores realizaron una caracterización preliminar de los sitios de muestreo; midiendo ciertos parámetros físico y químicos in situ como son, temperatura, PH, conductividad, oxígeno, entre otras. Por último, aplicaron la metodología QBR para la medición de la flora riparia y la densidad de los bosques riparios. Así mismo efectuaron la toma de muestras y posteriormente recolección e identificación de macroinvertebrados acuáticos a través de equipos de captura desarrollados a mano dentro de la etapa inicial. FASE 2: en segunda instancia los autores elaboraron un análisis físico y químico y microbiológico de las condiciones en las que se encontraba en el cuerpo de agua, este proceso se realizó en el laboratorio. Para finalizar la FASE 3: los autores realizaron una relación entre los datos de los análisis biológicos recolectados de los macroinvertebrados contenidos en la determinación del índice BMWP/COL junto a los valores obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico los cuales sirvieron para medir los índices de contaminación (ICOs), el cual calcularon a partir del empleo de un software conocido como ICATest, facilitando la relación entre los índices mencionados. El estudio presentó resultados prometedores, ya que estableció que en 153 individuos comparados con los EPT presentes (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), se estimó que corresponde a un 58%, siendo este porcentaje comparado con tabla EPT de calidad, lo cual podría considerarse que el agua es de buena calidad. Esta investigación es necesaria porque es un estudio el cual se enfoca en la concentración de comunidades de macroinvertebrados en las zonas designadas como puntos de muestreo, así mismo de las características físico – químicas del cuerpo hídrico y su relación con los valores y tipos de contaminación presente a partir de los ICO's. Y por último el grado de preservación de la calidad de bosques ribera, en el caso del balneario, los bosques secos tropicales, a partir de la utilización del QBR.

JIZETH Hael GONZÁLEZ RAMÍREZ (2017). Desarrolló la investigación titulada EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD ICA E ICO DEL RÍO BOTELLO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ para optar el título de Tecnología en saneamiento ambiental en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD en Bogotá Colombia, con la finalidad de evaluar los indicadores de calidad de la microcuenca alta del Río

Botello ubicado en el municipio de Facatativá. Esta investigación se llevó a cabo en tres fases; estas fueron: FASE 1: en esta fase de la investigación, el autor desarrolló un reconocimiento de la zona de estudio, en donde se identificaron las entradas y salidas de agua de la microcuenca, las fuentes contaminantes que la afectan y las actividades antrópicas que se abastecen del agua del río Botello, de igual manera, dentro de esta fase, se establecieron los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas. FASE 2: en segunda instancia el autor realizó un muestreo simple para los años 2015 y 2016 aguas arriba, así mismo efectuó un muestreo compuesto para los años 2014, e igualmente 2015 y 2016 aguas abajo, con lo cual pudo identificar los parámetros físico y químicos presentes dentro del cuerpo de agua. FASE 3: por último, por medio de los resultados obtenidos en la determinación física y química consiguieron relacionar las variables con el índice de calidad del agua (ICA) y el índice de contaminación (ICO). Obteniendo datos con los cuales lograron determinar dentro de sus resultados si la fuente hídrica captada presentaba alto grado de contaminación. Es por esto que la investigación presenta aportes significativos al presente estudio debido a la metodología implementada en la determinación de las variables necesarias para determinar el ICA y el ICO, como también la presentación de los análisis de resultados respecto al comportamiento de las variables y de los índices.

LISBETH C. MADERA, LUIS C. ANGULO, LUIS C. DÍAZ, Y ROBERTO ROJANO (2016 )desarrollaron la investigación titulada EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ALGUNOS PUNTOS AFLUENTES DEL RÍO CESAR (COLOMBIA) UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN, con la finalidad de evaluar la calidad del agua de puntos afluentes del río Cesar a través del empleo de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación; dividiendo el proceso en dos fases; siendo la FASE 1: en donde los autores determinaron el área de estudio y los puntos de muestreo, estableciendo cinco estaciones las cuales se encontraban ubicadas de la siguiente manera: Estación 1 (E1) ubicada en el río Maracas, Estación 2 (E2), ubicada en el río Maracas, aguas abajo de E1, Estación 3 (E3) y Estación 4 (E4), ubicadas en el río Tucuy y Estación 5 (E5) ubicada en el río Calenturitas. En donde realizaron muestreos en diferentes periodos tales como, periodos secos y periodos de lluvias. En los cuales los autores iniciaron el proceso de toma de muestras para el análisis físico y químico, como microbiológico y la recolección del material biológico a través del empleo de una red D-net, una

red de pantalla y de forma directa desde los sustratos, piedras, etc. Por último, llevaron a cabo la FASE 2: en la cual se los autores realizaron el análisis de variable, la caracterización biológica y el análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras tomadas. Teniendo dentro de los resultados de la investigación la presencia de zonas de ligera contaminación en la parte alta de las estaciones de cada río, por otro lado, aguas abajo se presenta un aumento de la contaminación hasta un punto crítico siendo este ubicado en el río calenturitas. Teniendo en cuenta que el cambio de los valores de contaminación con respecto a la época en la que se realizaron, siendo periodo seco un lapso en donde la calidad del agua en ciertos afluentes es dudosa, y el periodo lluvioso donde presentan ligeramente mejor calidad. Exceptuando el río calenturitas que presenta aguas moderadamente contaminadas de calidad dudosa en ambas épocas de estudio. Esta investigación es necesaria porque es un estudio que ofrece una perspectiva respecto a la carga contaminante que recibe el río cesar por parte de sus afluentes, lo cual indica el posible grado de contaminación que se pueda presentar en la zona de estudio.

GINA ALEJANDRA PATIÑO PESCADOR (2015) desarrolló la investigación titulada EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR MEDIO DE BIOINDICADORES MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA QUEBRADA LA VIEJA. Para optar título de Tecnóloga en Saneamiento Ambiental en la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS en BOGOTÁ COLOMBIA, con finalidad identificar las comunidades de macroinvertebrados en la quebrada la vieja, clasificarlos según su taxonomía y determinar su relación poblacional con las características físico – químicas del agua, con el fin de comparar con los resultados obtenidos de los análisis de biodiversidad. Esta investigación se llevó a cabo en dos etapas; estas fueron FASE 1 o Fase de campo: en esta etapa se delimitó la zona de estudio en cuatro puntos de muestreo; dos en la parte urbana y dos en la parte rural. Teniendo en cuenta las condiciones del sitio, ausencia de vertimientos, y fácil acceso. De esta manera dio paso a la determinación físico y químico in situ de ciertos parámetros, finalizando con la recolección de los macroinvertebrados con la red D-net, preservándolos en envases sellados con alcohol al 70%, rotulando cada uno de estos. Posteriormente se realizó la FASE 2 o Fase de laboratorio: dentro de esta fase el autor realizó la identificación y descripción de las comunidades de macroinvertebrados recolectados con anterioridad, a través de análisis de morfología como también de claves taxonómicas. Las cuales permitieron al estudio dar a conocer el grado de afectación o de

contaminación resultantes de actividades antrópicas, teniendo en cuenta casos como la estación cero, la cual tuvo completa ausencia de cualquier tipo de comunidad, destacando que este punto de muestreo se ubicaba más cercano a la zona urbana, y considerando que a medida que se alejaban cada punto, la presencia de macroinvertebrados aumentaba. Esta investigación contribuyó al presente proyecto como guía en la estructuración del marco teórico. Así mismo presentó la metodología implementada llevada a cabo en la recolección de las muestras en la fuente de captación dispuestas a ser analizadas, Del mismo modo esta investigación es necesaria debido a que presenta factores de interés como son, la posible ausencia total de macroinvertebrados en zonas urbanas, y la adaptación de los organismos a los grados de contaminación.



## 5.2 MARCO TEÓRICO

### 5.2.1. Índices biológicos como una herramienta de monitoreo

Un indicador biológico es aquel que por su presencia o ausencia en un sitio determinado puede servir para identificar o conocer las condiciones en las que se encuentra su hábitat, pues guardan información de su ecosistema por largo tiempo. (Roldan, 2012).

Los indicadores biológicos permiten medir la calidad del agua en base a los organismos presentes en un ecosistema dado. Para ello, dependiendo del grado se asigna un valor en función de su sensibilidad o tolerancia a los contaminantes, y normalmente la puntuación obtenida al sumarla, llevará propiedades cualitativas y cuantitativas donde se está llevando a cabo el estudio con diferentes niveles de contaminación. (Gonzales & Fajardo, 2013).

Moreno, Patarroyo & Rodríguez (2006), reconocen como ventajas implementar los indicadores biológicos para la identificación calidad de los sistemas hídricos debido a que estos acumulan información que los análisis fisicoquímicos no detectan. Este tipo de bioindicadores se encuentra en la mayor parte en los sistemas acuáticos, lo que permite análisis comparativos, de fácil identificación, este es un método económico ya permite la aplicación de índices biológicos que arrojan información de tipo cualitativo y cuantitativo.

### 5.2.2. Macroinvertebrados Acuáticos

Se consideran aquellos organismos que no tienen espina dorsal y que se pueden observar sin necesidad de un microscopio la energía disponible para los organismos pone a disposición de la vida animal en forma de hojas y algas las cuales son consumidas por los macroinvertebrados. Dentro de los cuerpos de aguas, los macroinvertebrados bentónicos han recibido gran relevancia en los estudios de los ecosistemas de aguas corrientes, principalmente por su importancia como elementos tróficos entre los productores primarios y consumidores como por ejemplo peces, por ser transformadores e integradores de la materia orgánica alóctona como lo son hojas, semillas, ramas, troncos caídos, entre otros, se consideran la principal entrada de energía a los sistemas fluviales, y también son destacados por su utilidad como indicadores biológicos para estudios relacionados a la calidad del agua. (Roldán, 1992).

### 5.2.3. El Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Este método de seguimiento biológico (BMWP) se estableció en el Reino Unido en 1970 y se considera una forma rápida y sencilla de evaluar la calidad del agua utilizando indicadores biológicos como los macroinvertebrados. Este método solo necesita llegar al nivel familiar, y los datos son cualitativos de existencia o no existencia. La puntuación varía de 1 a 10, dependiendo de la contaminación orgánica de los diferentes grupos. (Rodan, 2003).

Con base en el conocimiento actual de los macroinvertebrados en diferentes grupos hasta el nivel familiar en Colombia, se recomienda utilizar el método BMWP / col (tabla N ° 1) como la primera aproximación a continuación para evaluar el ecosistema acuático del país.

Tabla 1  
clasificación de la calidad por BMWP/COL.

| Clase | Calidad     | BMWP/Col.      | Significado                      | Color     |
|-------|-------------|----------------|----------------------------------|-----------|
| 1     | Buena       | >150, 120 -101 | Aguas muy limpias a limpias      | Azul      |
| 2     | Aceptable   | 61 - 100       | Aguas ligeramente contaminadas   | Verde     |
| 3     | Dudosa      | 36 - 60        | Aguas moderadamente contaminadas | Amarillo  |
| 4     | Critica     | 15 - 35        | Aguas muy contaminadas           | Naranjado |
| 5     | Muy critica | <15            | Aguas fuertemente contaminadas   | Rojo      |

fuelle Roldan PerezZ.G.A.2003.

Roldán (1988) publicó la primera guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos en Antioquia, y posteriormente se verificó su aplicación en la mayoría de los países neotropicales. También en 1992, publicó Fundamentos luego adoptó el sistema BMWP para evaluar la calidad del agua de Colombia mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos.

### 5.2.4. Índice de Calidad del agua

El ICA es un número (entre 0 y 1) que representa la calidad de una masa de agua, independientemente de su uso en términos de bienestar humano. Este número es una colección de las condiciones físicas, químicas y microbianas del cuerpo de agua en algunos casos, y da señales de problemas de contaminación. (IDEAM,2011) En Colombia, se desarrolló un "Sistema de Indicadores de Agua" para responder preguntas sobre la disponibilidad de recursos y las limitaciones debido al impacto en el suministro o la calidad. (IDEAM,2011).

Tabla 2.  
variables y ponderacion ICA

| Variable                                | Unidad de medida | Ponderación |
|-----------------------------------------|------------------|-------------|
| <b>Oxígeno disuelto, OD</b>             | % de saturación  | 0.2         |
| <b>Solidos suspendidos totales, SST</b> | Mg/L             | 0.2         |
| <b>Demanda química de oxígeno, DQO</b>  | Mg/L             | 0.2         |
| <b>Conductividad eléctrica, C. E</b>    | μS/cm            | 0.2         |
| <b>pH</b>                               | Unidades de pH   | 0.2         |

Fuente (IDEAM, 2011)

### 5.2.5 Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA

Tabla 3.  
clasificacion del ICA

| Categorías de valores que puede tomar el indicador | Clasificación de la calidad del agua | Señal de alerta |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| <b>0,00 – 0,25</b>                                 | Muy mala                             | Rojo            |
| <b>0,26 – 0,50</b>                                 | Mala                                 | Naranja         |
| <b>0,51 – 0,70</b>                                 | Regular                              | Amarillo        |
| <b>0,71 – 0,90</b>                                 | Aceptable                            | Verde           |
| <b>0,91 – 1,00</b>                                 | Buena                                | Azul            |

Fuente (IDEAM,2011)

### 5.2.6. Índices De Contaminación Orgánica

#### ICOMI o parámetro de mineralización

Este factor combina mediciones de conductividad expresadas como el contenido de sólidos disueltos de la corriente de agua, dureza basada en concentraciones de cationes de magnesio y calcio y alcalinidad expresada como contenido de aniones de carbono. Este indicador se define como un rango de 0 que indica baja contaminación a 1 que indica alta contaminación debido a mineralización. (Universidad de Pamplona, s.f.)

### ICOSUS o parámetro de contaminación por sólidos suspendidos

Se integra a partir del cálculo de sustancias en suspensión o partículas de naturaleza orgánica e inorgánica que permanecen suspendidas a concentraciones de agua. Este indicador está determinado por un rango de 0 a 1, por lo que se puede determinar el grado de contaminación de los sólidos en suspensión. (Cañas, (s,f)) de la siguiente manera:

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

*Sólidos suspendidos < 10 mg/L tiene un ICOSUS = 0*

### 5.2.7. Clasificación de calidad según los índices de contaminación

Tabla 4.

clasificación de calidad ICOS

| Categorías de valores que puede tomar el indicador | Clasificación de la calidad del agua | Señal de alerta |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 0,8 a 1,0                                          | Muy alto                             | Rojo            |
| 0,6 a 0,8                                          | Alto                                 | Naranja         |
| 0,4 a 0,6                                          | Medio                                | Amarillo        |
| 0,2 a 0,4                                          | Bajo                                 | Verde           |
| 0,0 a 0,2                                          | Ninguna                              | Azul            |

Fuente (IDEAM,2011)

### 5.2.8. Calidad del agua

Es definida como aquella agua que es apta para consumo humano cuando es sometida a tratamiento desinfección. Está relacionada con las fuertes precipitaciones climatológicas que alteran los parámetros físicos químicos y microbiológicos. Por lo tanto, el agua es un compuesto muy importante para la vida diaria, y la existencia de todos los seres vivos. Además, es considerada como el solvente universal y puede ser encontrada en fuentes superficiales o subterráneas. (Cifuentes, 2004).

### 5.2.9. La Contaminación del Agua

Las heces provenientes de los animales y/o hombres son los factores de riesgo para la contaminación del agua, estas a su vez producen enfermedades en la salud de la población. es importante realizar una prevención y control sanitario para mantener salubres a una determinada población. (Aurazo, 2004).

El uso frecuente de los detergentes domésticos, productos químicos que son vertidos a los cauces de los ríos, lagos y mares son los contaminantes más frecuentes causando daños ambientales a los ecosistemas de los cuerpos de agua. (Aurazo, 2004).

Los principales contaminantes del agua se clasifican en los siguientes:

a. Microorganismos patógenos son todos aquellos que transmiten enfermedades y llegan al agua en las heces 0.524533

b. Desechos orgánicos conjunto de residuos producidos por los seres humanos y animales que pueden ser descompuestos por bacterias en procesos de consumo de oxígeno, pero que, por gran cantidad, las bacterias agotan el oxígeno presente en el agua

c. Sustancias químicas inorgánicas ácidos, sales y metales tóxicos que causan daño a los seres vivos

d. Nutrientes vegetales inorgánicos si se encuentran en cantidades excesivas provocan eutrofización)

e. Compuestos orgánicos productos fabricados por el hombre que tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos presentes en el agua

f. Sedimentos y materiales suspendidos son la mayor fuente de contaminación del agua, provocan un alto nivel de turbiedad dificultando así la vida de algunos microorganismos

### 5.2.10. Microbiológica del Agua

La presencia de microorganismos en el líquido elemental determina la calidad de agua y los métodos que son utilizados esta propuestos para determinar el grado de contaminación

ocasionado por origen animal y antropogénico (Fattal et al,1987), por lo tanto, este método no es eficaces porque muchos microorganismos se encuentran en bajas cantidades en teniendo una distribución irregular por lo que se le clasifica en grupos de coliformes como el principal indicador de la calidad del agua (kornacki & johnson , 2005).

### Figura 1.

Características microbiológicas

| Técnicas utilizadas     | Coliformes Totales                           | Escherichia coli                             |
|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Filtración por membrana | 0 UFC/100 cm <sup>3</sup>                    | 0 UFC/100 cm <sup>3</sup>                    |
| Enzima Sustrato         | < de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup> | < de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup> |
| Sustrato Definido       | 0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>      | 0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>      |
| Presencia – Ausencia    | Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>              | Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>              |

fuelle ministerio de ambiente

#### 5.2.11. Propiedades Microbiológicas

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse en los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) o 1 microorganismo en 100 cm<sup>3</sup> de muestra: (resolución 2115,2007).

#### 5.2.12. Características Físicas

De acuerdo a la resolución 2115 del 2007 El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables mostrada en la figura 1. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm, El valor para el potencial de hidrógeno ph del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

**Figura 2.**

Características físicas

| Características físicas | Expresadas como                            | Valor máximo aceptable |
|-------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
| Color aparente          | Unidades de Platino Cobalto (UPC)          | 15                     |
| Olor y Sabor            | Aceptable ó no aceptable                   | Aceptable              |
| Turbiedad               | Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) | 2                      |

*Fuente ministerio de ambiente*

### 5.2.13. Características Químicas

De acuerdo a la resolución 2115 del 2007 las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efectos adversos en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación en la figura 2.

**Figura 3.**

Características químicas

| Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico | Expresadas como               | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Calcio                                                                     | Ca                            | 60                            |
| Alcalinidad Total                                                          | CaCO <sub>3</sub>             | 200                           |
| Cloruros                                                                   | Cl                            | 250                           |
| Aluminio                                                                   | Al <sup>3+</sup>              | 0,2                           |
| Dureza Total                                                               | CaCO <sub>3</sub>             | 300                           |
| Hierro Total                                                               | Fe                            | 0,3                           |
| Magnesio                                                                   | Mg                            | 36                            |
| Manganeso                                                                  | Mn                            | 0,1                           |
| Molibdeno                                                                  | Mo                            | 0,07                          |
| Sulfatos                                                                   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 250                           |
| Zinc                                                                       | Zn                            | 3                             |
| Fosfatos                                                                   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 0,5                           |

fuentes ministerio de ambiente

### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

**Agua cruda:** Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización. (Decreto 1575 de 2007)

**Agua potable o agua para consumo humano:** Es aquella que cumple las características físicas, químicas y microbiológicas. (Resolución 2115 de 2007)

**Calidad del agua:** Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia. (Decreto 1575 de 2007)

**Cadena de custodia:** Proceso por medio del cual se mantiene una muestra bajo posesión física o control durante su ciclo de vida completo, es decir, desde que se toma hasta que se desecha. (Guía Técnica Colombiana Gtc 100)

**Contramuestra:** Toma puntual de agua en los puntos de muestreo concertados, en el proceso de control. (Guía Técnica Colombiana Gtc 100)

**COLIFORMES:** Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C. (Resolución 2115 de 2007)

**ESCHERICHIA COLI - E-coli:** Bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la *β galactosidasa* y *β glucoronidasa*. (Resolución 2115 de 2007)

**Muestra:** Toma puntual de agua en los puntos de muestreo concertados, que refleja la composición física, química y microbiológica representativa del momento, para el proceso de vigilancia de la Autoridad Sanitaria. (IDEAM, 2011)

**Muestreo:** Proceso de toma de muestras que son analizadas en laboratorios para obtener información sobre la calidad del agua del sitio concertado en que fueron tomadas. (IDEAM, 2011)

**Muestra simple:** Se toma en un sitio determinado y una sola vez. Se utiliza para determinar los parámetros de calidad del agua. (IDEAM, 2011)

**Parámetros:** Son las Variables que se emplean como referencia para determinar la calidad del agua. (IDEAM,2011)

**Patógenos:** Se denomina patógeno a cualquier agente biológico externo que se aloja en un ente biológico determinado, capaz de alterar sus condiciones y a partir de ello causar enfermedades o daños visibles.

**POTABILIZACIÓN:** Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas (Resolución 2115 de 2007.)

**POBLACIÓN SERVIDA O ATENDIDA:** Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua. (Resolución 2115 de 2007)

**Puntos de muestreo en red de distribución:** Son aquellos sitios concertados y materializados con dispositivos de toma, donde se realiza la recolección de la muestra de agua para la vigilancia y el control. ( Resolución 811 De 2008.)

**Representatividad:** Lapso de tiempo, dentro de los cuales se tomada la muestra y contramuestra de agua.

**Taxón:** Grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados. (Roldan, 2003)

**Traza:** Es una cantidad mínima de una característica química encontrada en el agua.(Roldan, 2003)

**Valor aceptable:** Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud. (Roldan, 2003)

**Vertimiento:** Sustancias químicas, elementos o compuestos que pueden causar daños o son tóxicos para la salud humana o cualquier forma de vida acuática.(Resolucion 0631 de 2015)

## 5.4. MARCO CONTEXTUAL

### Descripción

El Municipio de Chiriguaná tiene una extensión aproximada de 1 131 595 km<sup>2</sup>. A lo largo y ancho del municipio se encuentran 36 veredas cuya jurisdicción pertenece a cuatro corregimientos (Rincón Hondo, La Sierra, La Aurora y Poponte). Las veredas que pertenecen a la jurisdicción de la cabecera municipal (Celedón, Ocho de enero, Nueva Luz, Los Mosquitos y Rancho Claro) son los asentamientos humanos más cercanos al río Cesar en su paso por Chiriguaná, cuyo recorrido comprende alrededor de 16 km<sup>2</sup> (POT de Chiriguaná, 2000). El territorio municipal es de gran riqueza hidrológica ya que posee diversidad de arroyos, caños, ríos y ciénagas. Los ríos conforman la cuenca del río Cesar, en Chiriguaná, los veranos son cortos, tórridos, húmedos y secos; los inviernos son cortos, calientes, opresivos y mojados y está nublado durante todo el año; Su aparato productivo está dado el sector primario y el subsector agropecuario, su fiestas patronales son NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO DE CHIQUINQUIRA.

### Ubicación geográfica

Geográficamente Chiriguaná está ubicada a los 9 ° grados, 22 minutos de latitud norte y 73 ° grados, 37 minutos de longitud este. Su ubicación estratégica en el centro del departamento le permite colindar con las ecoregiones del valle del río Cesar, el complejo cenagoso de Zapatosa y la serranía del Perijá o Motilones.

### Figura 3

Ubicación del municipio de chiriguana

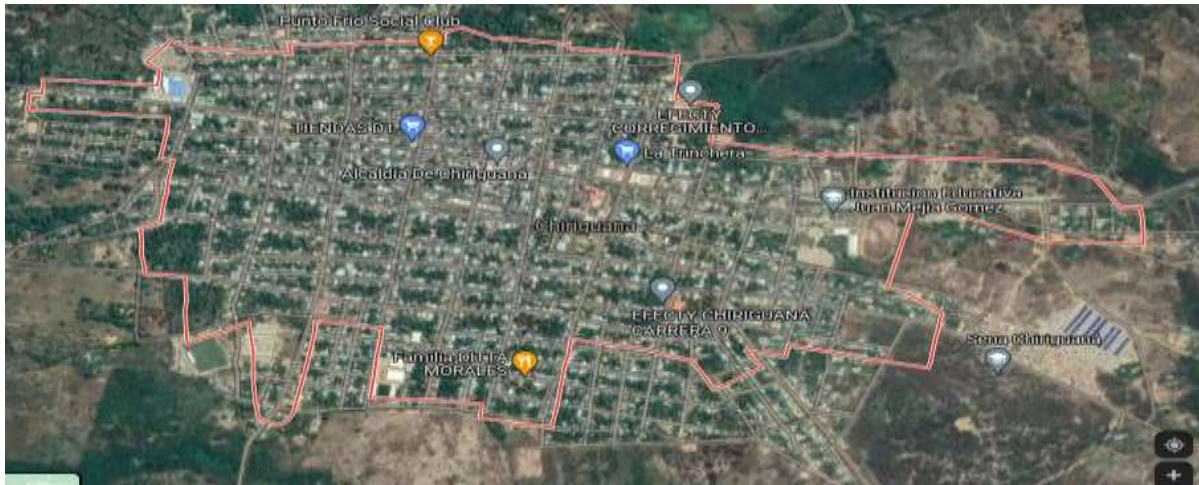


*Fuente: (Y., Acosta, Y. Y Zuluaga, E., 2011).*

## Ubicación satelital

**Figura 4.**

Ilustración imagen satelital del municipio de chiriguana tomado de la web y ajustado por autores



## Ubicación de las estaciones

**Figura 5.**

Ilustración imagen puntos de muestreo



## 5.5. MARCO LEGAL

Tabla 5.

Marco legal

| Tipo de norma       | Número de norma | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Aplicabilidad                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Constitución</b> | Art 79          | Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. | La norma tiene aplicabilidad debido a que establece la responsabilidad del estado y de la ciudadanía en preservar y conocer las condiciones de los recursos naturales, siendo en este caso la condición que presenta el afluyente conocido como “Río Cesar” en su tramo final en el municipio de Chiriguaná. |
| <b>Constitución</b> | Art 80          | El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.                     | La norma tiene aplicabilidad porque establece la responsabilidad del estado en garantizar una conservación, restauración de los recursos naturales, es por ello que el conocer las condiciones de los recursos permite esclarecer las medidas necesarias para cumplir con                                    |

Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. lo establecido en la normatividad colombiana vigente.

|                 |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ley</b>      | Ley 9 de 1979                        | Por medio del cual se fija el manejo de medidas sanitarias, uso de todo tipo de aguas.                                                                                                                                                                                   | La norma tiene aplicabilidad porque en su conjunto de acciones establece aquellas medidas sanitarias necesarias para darle un uso adecuado al recurso hídrico.                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Decretos</b> | Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 | Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III- Libro I – del Decreto- Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos (vertimientos). | La norma tiene aplicabilidad dentro del estudio debido a que hace mención sobre los criterios físicos, químicos y microbiológicos que debe tener el cuerpo de agua para los diferentes usos en los cuales se vaya a disponer. Además de las condiciones que deben tener las masas de aguas que serán vertidas a los cuerpos de agua. Y la capacidad asimilativa de las sustancias de interés sanitario. |
| <b>Decretos</b> | Decreto 1575 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.                                                                                                                                                             | La norma tiene aplicabilidad dentro del estudio debido a que hace mención sobre: la conceptualización sobre tipos de agua y favorabilidad sanitaria según riesgo para la salud humana. En donde establece los criterios y procesos básicos del control y la vigilancia para garantizar                                                                                                                  |

la calidad del agua para consumo humano.

|                     |                                         |                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Resoluciones</b> | 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.                                                         | La norma tiene aplicabilidad dentro del estudio debido a que hace descripción sobre parámetros tóxicos generadores de efectos adversos sobre la salud humana. En donde presenta las características de las condiciones que pueden presentar un cuerpo de agua y sus implicaciones en el bienestar de las personas.                                                                                              |
|                     | 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. | La norma tiene aplicabilidad dentro del estudio debido a que hace mención sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos máximos permisibles en el vertido de aguas residuales domésticas a cuerpos hídricos. Estableciendo los valores químicos máximos permisibles de aguas residuales procedentes de actividades antrópicas, especificando los parámetros a considerar según el tipo de actividad. |

Elaborado por autores(2022)

## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.1. Línea de la investigación:**

La línea perteneciente al programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la facultad de ingenierías y tecnológica es Sostenibilidad y gestión ambiental

### **Sublínea de la investigación**

El presente trabajo se encasilla a la sub-línea de Gestión del recurso hídrico

### **6.2. Tipo de investigación:**

El tipo de esta investigación es correlacional ya que su propósito es evaluar los parámetros de calidad de la fuente hídrica. Y será aplicada debido a que se estudiarán los posibles riesgos ambientales asociados a la concentración de los parámetros establecidos (Hernández, 2011).

### **6.3. Nivel de la investigación:**

El nivel de la investigación es transaccional puesto que con calificaciones e interpretaciones arrojadas por los análisis sobre la mutua relación que ayudara a conocer cómo se comporta las variables físicas, químicas y microbiológicas en el caso de esta serán los parámetros establecidos por la normativa vigente en el estado colombiano que a su vez serán correlacionados y mirar el comportamiento de las ICOS y el BMWP/COL. La investigación proporciona una descripción y exploración de fenómenos en situaciones y características de la vida real. Se describe la correlación de individuos, situaciones o grupos particulares (Narvaez, 2020).

### **6.4. Población de estudio:**

En el presente estudio la población es la fuente hídrica estudiada la cual es el río Cesar

### **6.5. Muestra:**

En el presente trabajo la muestra poblacional será el tramo del río Cesar jurisdicción del municipio de Chiriguana donde se establecerán tres estaciones de muestreo en la parte alta, media y baja.

## 6.7. DESARROLLO METODOLÓGICO

### Etapa N°1:

**Establecer las propiedades físicas, químicas de acuerdo a los requerimientos establecidos las variables ICA E ICO en los periodos secos y de lluvia del Rio Cesar en la jurisdicción del municipio de Chiriguana Cesar**

### Actividad 1.1: Selección de los puntos de muestreo para la ubicación de estaciones.

**Descripción:** Se plantaron tres estaciones de muestreo, zonificadas de la siguiente manera: aguas arriba la estación E1, la estación en el centro E2, y E3 aguas abajo la estación. Una vez identificadas las estaciones, se procederá a la toma de las coordenadas geográficas empleando un GPS.

Para lo anterior se tuvo en cuenta los aspectos de Accesibilidad y seguridad, puesto que es uno de los más importantes, ya que se deben seleccionar puntos de fácil acceso en cuanto a vías de acceso y que sea posible la toma de muestra seguras en la cual se garantice la integridad y seguridad personal. Por otro lado, se deben considerar que en los puntos seleccionados halla macroinvertebrados y las características del agua varíen por las afectaciones de carácter antrópico, como como lo son vertimiento de aguas residuales u actividades del sector agroindustrial, que pueden causar alteraciones a la dinámica de la fuente hídrica.

**Tabla 6.**

Estaciones de muestreo

| Estación | Coordenadas   |
|----------|---------------|
| E1       | 9°22'15.93"N  |
|          | 73°37'36.72"O |
| E2       | 9°22'16.63"N  |
|          | 73°37'33.83"O |
| E3       | 9°22'16.93"N  |
|          | 73°37'30.46"O |

Elaborado por autores (2022)

## **Actividad 1.2: Elaboración del plan de muestreo y toma, preservación y transporte de muestras.**

### **Descripción:**

**Tipo de muestreo:** Se realizó un muestreo puntual de manera manual para las dos temporadas de estudio época de sequía y época de lluvia, estas muestras a recolectar se emplearán para la caracterización de las propiedades físicas, químicas, microbiológicas con las cuales se obtendrán las variables que representan el estado de calidad del río Cesar en jurisdicción del municipio de Chiriguana.

**Tipo de muestras:** Se tomaron muestras simples por estación de muestreo la es aquella que es tomada en un tiempo y lugar determinado, para su análisis individual

**Toma de muestras:** Se emplearon recipientes plásticos de un litro para la toma de muestra, estos recipientes serán lavados con el agua de la fuente hídrica, se llenan completamente y cerrados dentro del río con el fin de que no quede atrapado aire en su interior. Debe evitarse que el recipiente empleado para el muestreo toque el fondo esto puede provocar la suspensión de sedimento fino y falsear los resultados producto de la contaminación en la muestra. Se debe rotular los recipientes con número y coordenadas de la estación y almacenarlos en una cava con hielo para preservarlos

Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad popular del Cesar donde se determinarán los parámetros físicos y químicos los cuales se encuentran en la tabla 7.

Cronograma de recolección de muestras de agua en las estaciones de muestreos en época de invierno.

| Estación | Fechas               |
|----------|----------------------|
| 1        | 6 de octubre de 2022 |
| 2        | 6 de octubre de 2022 |
| 3        | 6 de octubre de 2022 |

Elaborado por autores (2022)

Cronograma de recolección de muestras de agua en las estaciones de muestreos en época de sequía .

| Estación | Fechas              |
|----------|---------------------|
| 1        | 1 de agosto de 2022 |
| 2        | 1 de agosto de 2022 |
| 3        | 1 de agosto de 2022 |

Elaborado por autores (2022)

**Materiales:** Los materiales que se utilizaron para realizar la toma de muestras fueron los siguientes:

- Recipientes plásticos de 1L marcados.
- Termómetro.
- Nevera portátil (cava).
- GPS.
- Cámara.
- Acta de toma de muestras.

**Tabla 7.**

parámetros y métodos

| Parámetros                      | Método                                          | Lugar       |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|
| Temperatura                     | Electrométrico                                  | In situ     |
| PH                              | SM 4500-H + B/Electrométrico                    | In situ     |
| Suspendidos Totales, SST        | SM 2540 D/Gravimétrico – Secado a 103°C – 105°C | Laboratorio |
| Demanda Química de Oxígeno, DQO | SM 5220 D/Reflujo Cerrado - Colorimétrico       | Laboratorio |
| Oxígeno Disuelto, OD            | SM 4500-0 G / Electrométrico                    | Laboratorio |
| Conductividad eléctrica, C.E.   | SM-2510 B /Electrométrico                       | Laboratorio |
| Alcalinidad Total               | SM 2320 B - Volumétrico                         | Laboratorio |
| Dureza Total                    | SM 2340 C - Volumétrico - EDTA                  | Laboratorio |

Elaborado por autores (2022)

**Trabajo de campo (insitu):** Se realizó una caracterización de los parámetros físico in situ como la temperatura, el potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica empleando el multiparamétrico y para la temperatura el termómetro.

Imagen 1



Elaborado por autores (2022)

**Trabajo de laboratorio:** las muestras fueron llevadas en el menor tiempo posible al laboratorio para efectuarles el respectivo procesamiento para su análisis. las muestras simples de agua recolectadas se llevaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, donde se realizaron los respectivos análisis. Con las muestras en el laboratorio el litro donde determinarán los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua tomada en el río Cesar jurisdicción de chiriguana.

Imagen 2



Elaborado por autores 2022

**Determinación de parámetros fisicoquímicos:** Se mediaron los parámetros físicos y químicos de muestreo como los son (pH, conductividad, oxígeno disuelto, potencial de óxido,) estos serán de análisis de estudio en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria determinarán rigiéndonos del protocolo de muestreo y análisis de laboratorio para las caracterizaciones fisicoquímica del IDEAM.

### **Actividad 1.3: Determinación de las variables de los métodos ICA E ICO para establecer la calidad del río cesar en el municipio de Chiriguaná cesar**

**Descripción:** partiendo de los resultados arrojados por los laboratorios se calcularon 5 variables establecidas por el institutito del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM se calculará el índice de calidad del agua ICA posterior utilizando los índices de estas variables se determinará los índices de contaminación orgánica a continuación se mostrará el proceso de cálculo para estos índices.

#### **Índice de calidad del agua ICA**

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

**1. Oxígeno disuelto (OD):** Esta variable tiene un papel biológico fundamental en la determinación de la presencia o ausencia de especies acuáticas. Inicialmente, se calcula el porcentaje de saturación con oxígeno disuelto *PSOD*. (IDEAM, Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales ICA).

$$PSod = (Ox \cdot 100) / Cp$$

Dónde: *Ox*: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación. *Cp*: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación. Una vez calculado el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el subíndice del oxígeno disuelto *IOD* se calcula con la fórmula. (IDEAM, Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA))

$$IOD = 1 - (1 - 0,01 \cdot PSOD)$$

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

$$IOD = 1 - (0,01 \cdot PSOD - 1)$$

**2. Sólidos suspendidos totales (SST):** La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente, tiene relación con procesos erosivos, vertimientos, extracción de material y disponibilidad de material sobrante de construcción. (IDEAM, Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA)) este subíndice para sólidos suspendidos se calcula de la siguiente manera:

$$ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$$

Si  $SST \leq 4,5$ , entonces  $ISST = 1$  o Si  $SST \geq 320$ , entonces  $ISST = 0$

**3. Demanda química de oxígeno (DQO):** esta variable muestra la presencia de sustancias químicas susceptibles a oxidación a referencias altamente ácidas y altas temperaturas como lo es la materia orgánica e inorgánica. Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya se calcula con la fórmula. (IDEAM, Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA))

Si  $DQO \leq 20$ , entonces  $IDQO = 0,91$

Si  $20 < DQO \leq 25$ , entonces  $IDQO = 0,71$

Si  $25 < DQO \leq 40$ , entonces  $IDQO = 0,51$

Si  $40 < DQO \leq 80$ , entonces  $IDQO = 0,26$

Si  $DQO > 80$ , entonces  $IDQO = 0,125$

**4. Conductividad eléctrica (C.E.):** representa la presencia de sales en solución cuya disgregación por lo general forma aniones y cationes capaces de transformar energía eléctrica esto lo que quiere decir es que esta variable representa las variables de mineralización, se calcula de la siguiente manera. (IDEAM, índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA))

$$I.C.E. = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

Cuando  $I.C.E. < 0$ , entonces  $I.C.E. = 0$

**5. pH:** esta variable mide los niveles de acidez o basicidad de las fuentes hídricas, en altos niveles puede afectar los procesos de osmorregulación de la biota acuática. (IDEAM, Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA)).

se calcula de la siguiente forma:

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

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

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

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

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

### Cálculos de los índices de contaminación

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

-  $I_{Conductividad}$  = Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $\log_{10} I_{Conductividad} = -3,26 + 1,34 \log_{10} * \text{Conductividad } (\mu S/cm)$
- $I_{Conductividad} = 10^{\log I_{Conductividad}}$
- Conductividades superiores a  $270 \mu S/cm$ , tienen un índice de conductividad = 1.

-  $I_{Dureza}$  = Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $\log_{10} I_{Dureza} = -9,09 + 4,40 \log_{10} * \text{Dureza } (g/m^3)$
- $I_{Dureza} = 10^{\log I_{Dureza}}$
- Durezas superiores a  $110 (g/m^3)$ , tienen  $I_{Dureza} = 1$
- Durezas inferiores a  $30 (g/m^3)$ , tienen  $I_{Dureza} = 0$

-  $I_{Alcalinidad}$  = Se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 \text{ Alcalinidad } (g/m^3)$
- Alcalinidades superiores a  $250 (g/m^3)$ , tienen  $I_{Alcalinidad} = 1$
- Alcalinidades inferiores a  $50 (g/m^3)$ , tienen  $I_{Alcalinidad} = 0$

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ sólidos suspendidos } (g/m^3)$$

- Sólidos suspendidos superiores a  $340 (g/m^3)$ , tienen  $ICOSUS = 1$
- Sólidos suspendidos superiores a  $10 (g/m^3)$ , tienen  $ICOSUS = 0$

Cabe resaltar que la clasificación para estos métodos se encuentra en las tablas 3 para el índice de calidad del agua y tabla 4 para los índices de contaminación ICOS

## Etapa N°2:

**Identificar las estructuras y composición de las comunidades de macroinvertebrados presentes en los periodos secos y de lluvia en el río Cesar en el municipio de Chiriguaná Cesar.**

### Actividad 2.1 Recolección y almacenamiento de macroinvertebrados acuáticos

**Descripción:** El método empleado consistió en hacer un barrido empleando una red súbber o tipo D-net por las orillas de las estaciones de muestreo con el fin de capturar la mayor cantidad de macroinvertebrados este material recolectado se llevara a una malla con el propósito de quitar por medio de un lavado el exceso de lodos, posteriormente se llevarán a un recipiente con alcohol al 70%, y rotulación de cada recipiente con número de muestra, punto de muestreo, método que se empleó y fecha, estas muestras serán analizadas en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular Del Cesar.

**Recolección:** la recolección se hizo realizando un barrido usando empleando una red súbber o tipo D-net por las orillas de las estaciones de muestreo donde se recolectaron muestras de sedimento con material orgánico para el análisis cualitativo y cuantitativo de los macroinvertebrados acuáticos. Las muestras deben ser rotuladas con el nombre del sitio, fecha y hora de muestreo.

#### Materiales:

- Red tipo D-net
- Alcohol 70%
- Recipientes

Cronograma de recolección de macroinvertebrados acuáticos en las estaciones de muestreos en época de lluvia.

| recolección de macroinvertebrados |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| Estación                          | Fechas               |
| 1                                 | 6 de octubre de 2022 |
| 2                                 | 6 de octubre de 2022 |
| 3                                 | 6 de octubre de 2022 |

Elaborado por autores

Cronograma de recolección de macroinvertebrados acuáticos en las estaciones de muestreos en época de lluvia.

| recolección de macroinvertebrados |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Estación                          | Fechas              |
| 1                                 | 1 de agosto de 2022 |
| 2                                 | 1 de agosto de 2022 |
| 3                                 | 1 de agosto de 2022 |

Elaborado por autores

## Actividad 2.2: identificación y clasificación de las estructuras de macroinvertebrados presentes en el río cesar.

**Descripción:** El análisis morfológico permitió identificar los organismos recolectados en los diferentes puntos de muestreo y clasificarlos según su nivel taxonómico, llegando en la mayoría de los casos hasta género y en unos hasta familia, para posteriormente identificar el grado en el que se encuentra la calidad del agua según el conteo de familias recolectadas en los puntos de muestreo, lo anterior empleando la guía Roldán (1988) publicada para la identificación de macroinvertebrados acuáticos en Antioquia.

Imagen 3



Elaborado por autores

### **Actividad 2.3: valoración de las estructuras identificadas**

**Descripción:** La valoración correspondiente con lo propuesto en el índice BMWP/COL, se realizó sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones recolectados, esta se asigna en relación al grado de sensibilidad a la contaminación y una sola vez por familia; independientemente de la cantidad de macroinvertebrados presentes en el afluente La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio brinda el valor final del índice de bioindicación de la calidad del agua presentados en la tabla en la tabla 1.

#### **Etapa N°3**

**Correlacionar la respuesta entre los índices BMWP, ICA e ICO y los parámetros fisicoquímicos que representan el estado de afectación ambiental del río Cesar en el municipio de Chiriguaná/Cesar.**

**Actividad 3.1: análisis de las variables implicadas en los índices de calidad del agua y contaminación.**

**Descripción:** Por medio de graficas se describe el comportamiento de las cinco variables implicadas en el índice de calidad del agua ICA, con el fin de relacionar los resultados de forma práctica y sencilla de los análisis obtenidos en laboratorio, se tomaron las variables de alcalinidad total y dureza total para establecer los parámetros en los índices de contaminación ICO.

**Actividad 3.2: Análisis de la información cuantitativa y cualitativa del método BMWP/COL**

**Descripción:** Con el BMWP/Col se buscó evaluar la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores, teniendo en cuenta la valoración de las familias precisa. La utilización de dichos indicadores biológicos se basa en el análisis de la alteración de la comunidad de organismos que habitan en el ecosistema fluvial por tanto la presencia y numero de ellos nos indicaran el estado de calidad del afluente en el municipio.

**Actividad 3.3: relaciona por medio del método estadístico Pearson la relación en cuanto a la calidad del rio cesar en el municipio de Chiriguana.**

**Descripción:** El coeficiente de correlación de Pearson tiene el objetivo de indicar cuán asociadas se encuentran dos variables entre sí por tanto es un amplio indicador para relacionar las variables en este estudio, Si la correlación es menor a cero, significa que es negativa, lo que nos indica que las variables se relacionan inversamente si el caso es lo contrario es igual a +1 significa que es positiva perfecta. En este caso significa, es decir, que las variables se correlacionan

directamente. Cuando la correlación es igual a cero significa que no es posible determinar algún sentido de covariación.

**La fórmula del coeficiente de correlación de Pearson es la siguiente:**

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N}$$

Donde:

“x” es igual a la variable número uno, “y” pertenece a la variable número dos, “zx” es la desviación estándar de la variable uno, “zy” es la desviación estándar de la variable dos y “N” es número de datos.

Este método estadístico estadísticos nos facilitara la comprensión en cuanto a los métodos empleados para la calidad los cuales tienen como objetivo determinar el estado de afectación del rio cesar en este municipio.



## 7. ANALISIS Y RESULTADOS

### 7.1 comportamiento de las variables físicas y químicas en periodo seco y de lluvia.

**Tabla 8 .**

Variables físicas y química en periodo seco

| <b>Resultados Época de sequia</b> |                   |                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                   | <b>Estación 1</b> | <b>Estación 2</b> | <b>Estación 3</b> |
| Cantidad de muestra               | 1L                | 1L                | 1L                |
| Temperatura del ambiente          | 28°C              | 28°C              | 28°C              |
| Temperatura del agua              | 23.2°C            | 23.5°C            | 23.2°C            |
| pH                                | 6,99              | 7,33              | 7,30              |
| Alcalinidad                       | 66mg/L            | 79.4mg/L          | 65.2mg/L          |
| Dureza                            | 63.1mg/L          | 72.4mg/L          | 65.3 mg/L         |
| Conductividad                     | 162,0 µS/cm       | 160,0 µS/cm       | 161,0 µS/cm       |
| Oxígeno disuelto                  | 4.6 mg/L          | 4.4 mg/L          | 4.5 mg/L          |
| Solidos suspendidos               | 148mg/L           | 151mg/L           | 143mg/L           |
| Demanda química de oxigeno        | 36.3 mg/L         | 30.4 mg/L         | 25.8 mg/L         |

Elaborado por autores (2022)

**Tabla 9.**

Variables físicas y química en periodo de lluvia

| <b>Resultados Época de lluvia</b> |                   |                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                   | <b>Estación 1</b> | <b>Estación 2</b> | <b>Estación 3</b> |
| Cantidad de muestra               | 1L                | 1L                | 1L                |
| Temperatura del ambiente          | 27°C              | 27°C              | 27°C              |
| Temperatura del agua              | 22.5°C            | 22.5°C            | 22.5°C            |
| pH                                | 6.4               | 6.64              | 7                 |
| Alcalinidad                       | 64 mg/L           | 72 mg/L           | 64 mg/L           |
| Dureza                            | 60 mg/L           | 70 mg/L           | 64.3mg/L          |
| Conductividad                     | 165 µS/cm         | 163 µS/cm         | 164 µS/cm         |
| Oxígeno disuelto                  | 4.7 mg/L          | 4.5 mg/L          | 4.7 mg/L          |

|                            |           |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Solidos suspendidos        | 133mg/L   | 140mg/L   | 131mg/L   |
| Demanda química de oxígeno | 39.4 mg/L | 33.2 mg/L | 27.2 mg/L |

Elaborado por autores (2022)

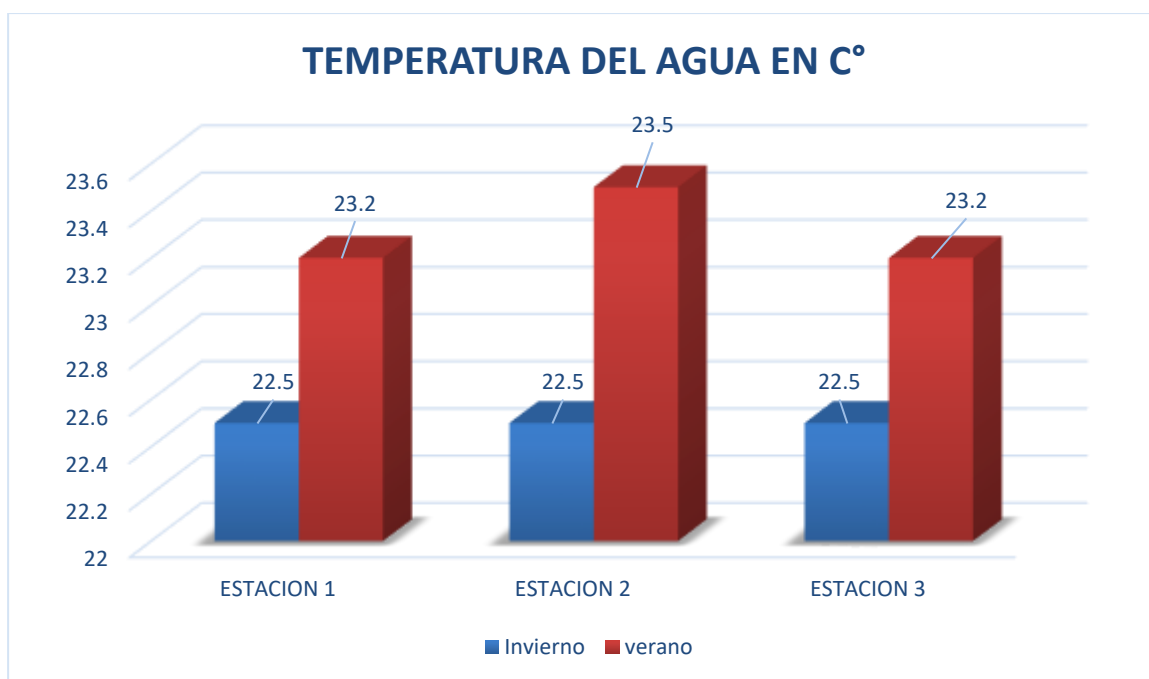
## 7.2 Análisis De La Variables Físicas Y Químicas

### 7.2.1. Temperatura:

La temperatura es un indicador importante con el cual se puede predecir y confirmar las condiciones del agua. Fue tomada en el sitio con un termómetro de rangos entre  $-50^{\circ}\text{C}$  A  $300^{\circ}\text{C}$ . Se registraron unas temperaturas en época de sequia que oscilan entre ( $23.2^{\circ}\text{C}$  y  $23.5^{\circ}\text{C}$ ) en la temporada de lluvias este parámetro tuvo un comportamiento de  $22.5^{\circ}\text{C}$ . este comportamiento de la temperatura en las estaciones de muestreo se puede observar a continuación en el gráfico N°1.

#### Grafico 1.

Comportamiento de la Temperatura en del agua en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

De acuerdo al gráfico N° 1 se muestra que en la época de verano la temperatura se aumento un poco en comparación con la época de invierno, lo cual indica que este parámetro posee un comportamiento estable 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 (Roldán, 2003).

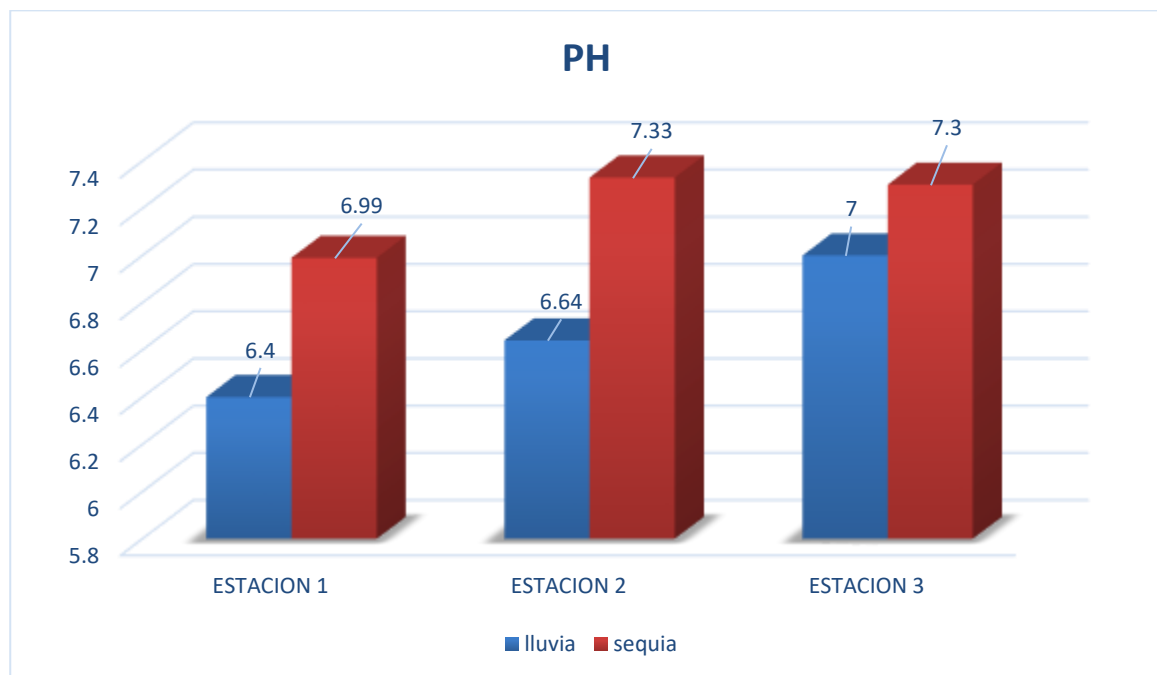
De acuerdo con la resolución 0631 de 2015 sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales, el cual establece un valor permisible menor o igual a 40°C Todos los valores obtenidos en las épocas de invierno y verano están dentro de los rangos.

### 7.2.2. pH

La mayoría de las aguas naturales no contaminadas tienen un pH entre 6,5 y 8,0 (Beita & Barahona, 2011). En los extremos finales de la escala de pH (2 o 13), ocurren daños para los organismos que habitan en el agua. Sin embargo, el valor del pH tolerado por diferentes organismos varía. El pH fue analizado in situ y en el laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria por medio del método Potenciométrico en la época de lluvia y sequía, los valores obtenidos se muestran en el gráfico N°2.

#### Grafico 2.

Comportamiento del PH en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

De acuerdo al gráfico N°2 el pH más elevado fue obtenido en época de sequía en la estación número 2, el comportamiento en las otras estaciones es poco significativa en cada una de ellas, en época de lluvias el pH estuvo en el rango de (6.4 a 7.0) en las estaciones de muestreo mientras que en época de sequía este oscila entre (6.99 a 7.33). De acuerdo con la Resolución 0631 de 2015 en

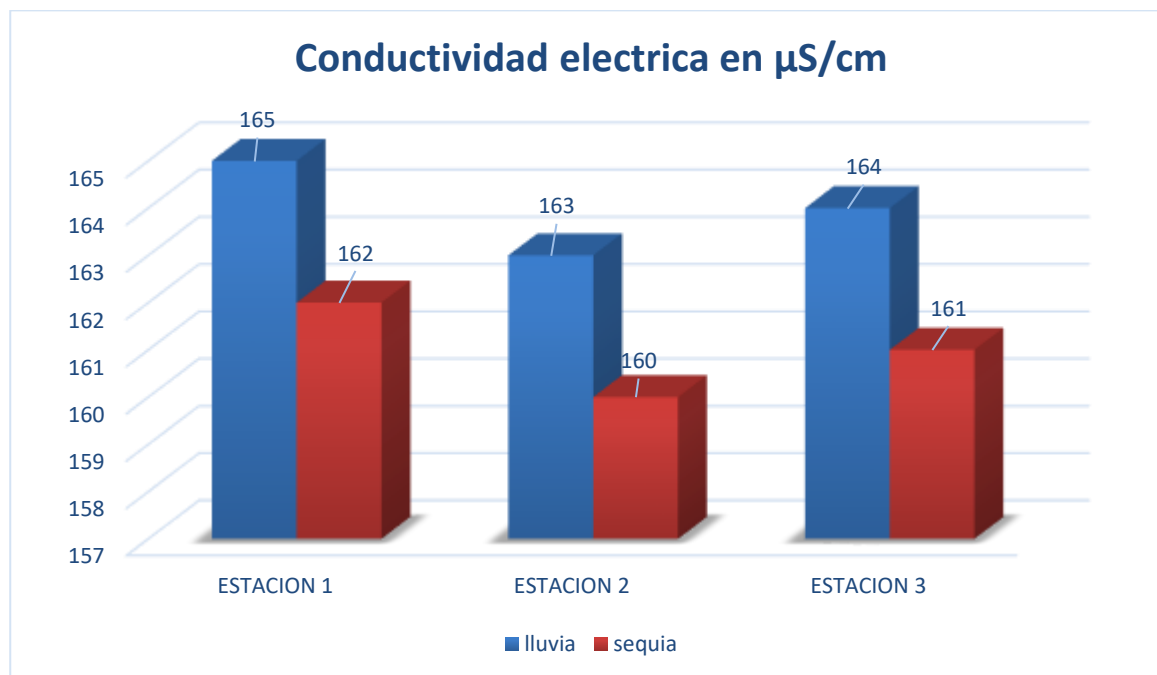
la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales, se recomienda que el rango de pH se encuentre entre 6 y 9. Lo que nos deja como resultado que los valores de pH durante el periodo de estudio, En El Río Cesar En El Municipio De Chiriguaná se encuentran dentro de los rangos establecidos en las anteriores normativas ambientales.

### 7.2.3. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica es un indicador de sales disueltas en el agua, por tanto la medición en campo es de gran importancia para la interpretación ambiental del recurso (IDEAM, 2007). Las variaciones o fluctuaciones en los valores de la conductividad El rango de los valores medidos en periodo húmedo (163  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 165  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en la épocas de sequia esta estuvo entre (160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 162  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) este comportamiento se puede evidenciar en el gráfico N°3.

#### Grafico 3.

Comportamiento conductividad eléctrica  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

Los valores obtenidos no sobrepasan el valor máximo permisible de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  establecido por la Resolución 2115 de 2007. La variación en el comportamiento de los valores de conductividad eléctrica que se muestra se debe posiblemente a la carga de sal y sustancias disueltas

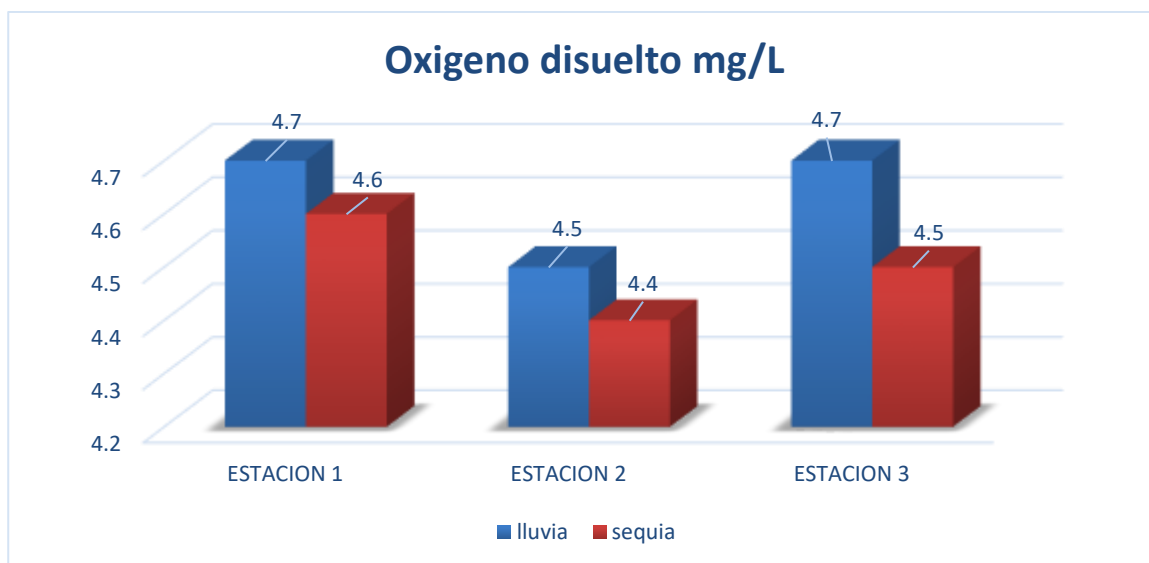
en el agua, que pueden provenir de fertilizantes del sector agrícola y de aguas residuales domésticas. El valor de la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración de sólidos disueltos en el agua, mayor será la conductividad y viceversa (Zúñiga et al., 2016)

### 7.2.3 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes para la vida acuática y los microorganismos siendo 5mg/L aceptable y concentraciones por debajo de 3mg/L letal para la fauna ictiológica (CORPONOR, 2018). En el gráfico N°4 se muestran los resultados obtenidos en ambos periodos.

#### Grafico 4.

Comportamiento del Oxígeno disuelto mg/L en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

De acuerdo con el gráfico N°4 se observa que en periodos de secos se presentaron valores menores de oxígeno disuelto, estos están entre (4.4 mg/L y 4.6 mg/L). No obstante, en temporada seca, la disminución del POD concuerda con los valores bajos de caudal y por consiguiente una menor aireación del medio, mientras que en periodos de lluvias los valores obtenidos están entre (4.5 mg/L y 4.7 mg/L). De este modo, los niveles de concentración (mg/L) o porcentaje de saturación (%) de oxígeno disuelto, son dependientes de la temperatura, puesto que aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno y viceversa (Goyenola, 2007). Los

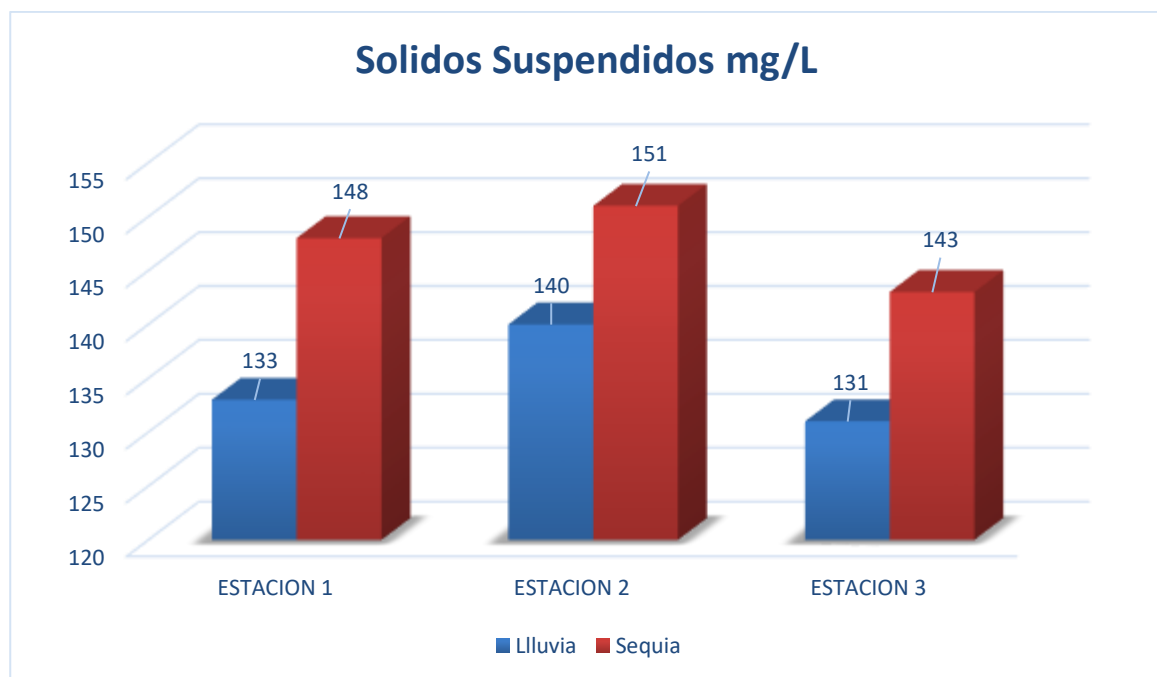
de agua fría dulce el oxígeno disuelto debe ser superior a 5,0 mg/L y para agua cálida dulce pasar los 4,0 mg/L, y todos los valores están por encima del rango según el decreto 1594 de 1984

### 7.2.4 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. En el gráfico N°5 se presenta el comportamiento de los sólidos suspendidos en los dos periodos de muestreo.

#### Grafico 5.

Comportamiento de Sólidos Suspendidos totales en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

De acuerdo con el gráfico N°5 en temporada de lluvia los sólidos suspendidos totales en las estaciones de muestreo tuvieron valores entre (131 mg/L a 140 mg/L) mientras que en la época de sequía se obtuvieron mayores valores (143 a 151 mg/L), el valor más alto se obtuvo en temporada seca en la estación dos con 151 mg/L.

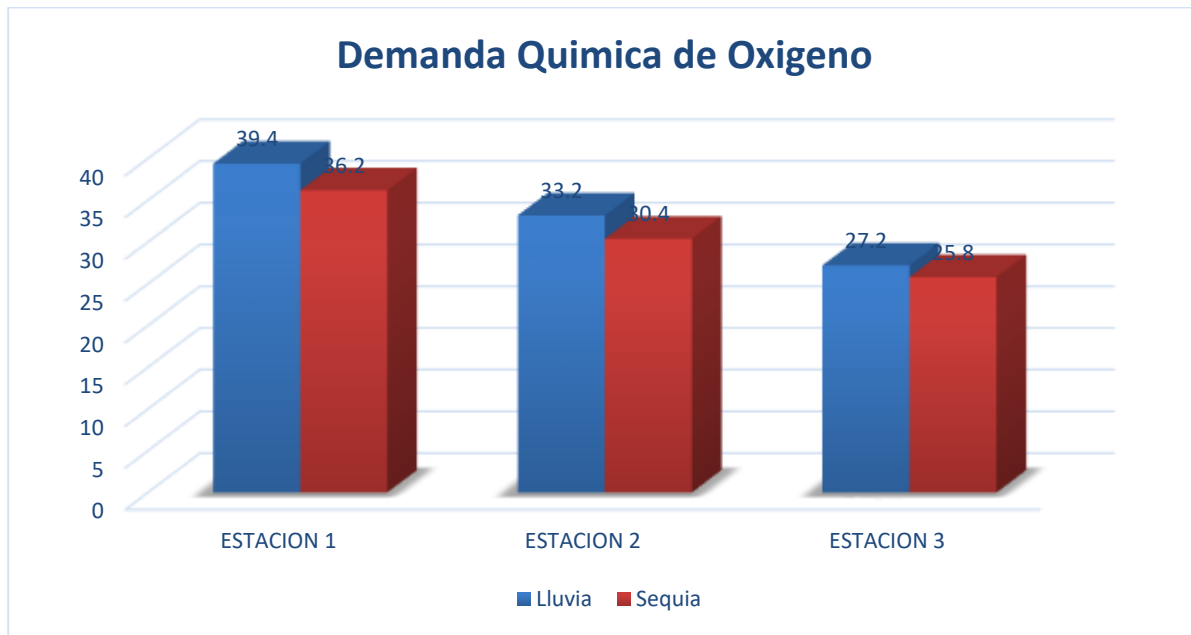
### 7.2.5 demanda química de oxígeno

El análisis de la demanda química de oxígeno en aguas de superficie es una de las más expresivas para determinación del grado de contaminación del agua, en el análisis se refleja la

cantidad total de componentes oxidables, sea carbono o hidrógeno de hidrocarburos, nitrógeno etc, los valores obtenidos en ambos periodos se muestran en el gráfico N°6

### Grafico 6.

Comportamiento de la Demanda química de oxígeno mg/L en las estaciones de muestreo



Elaborado por autores (2022)

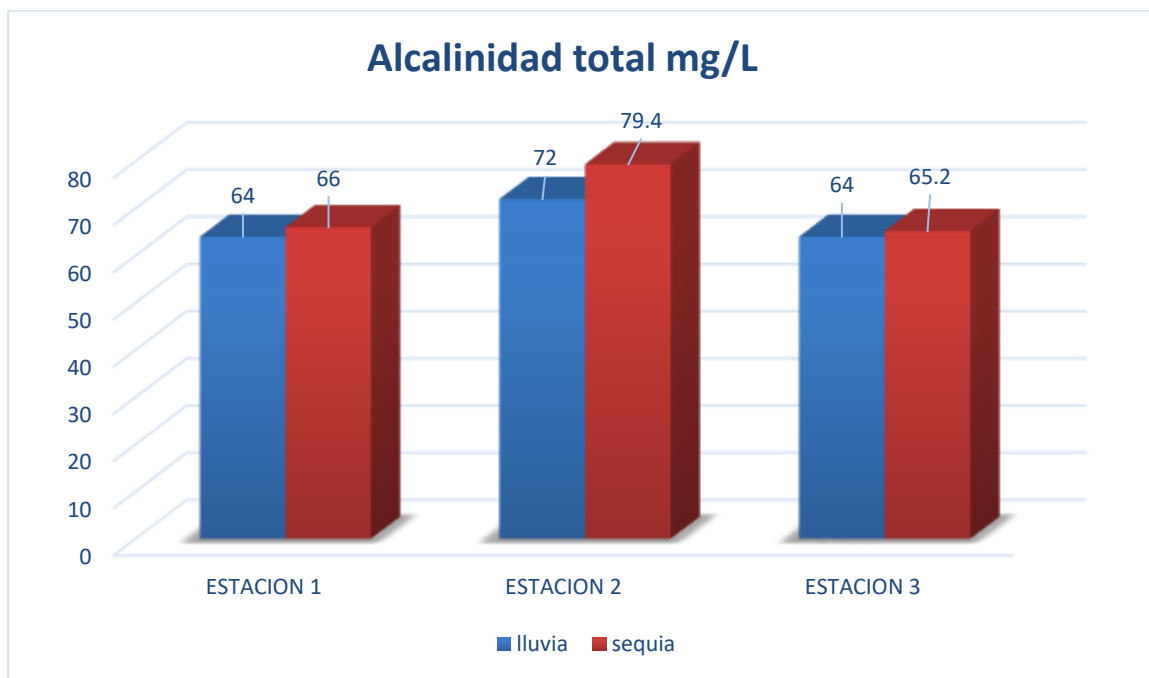
De acuerdo con la grafico 6 en la época de sequia se obtuvieron valores que oscilan (25.8 a 36,3mg/L) y en época de lluvia (27,7 a 39,36mg/L), en la estación uno se tuvieron los valores mas altos mientras que la estación tres los mas bajos, en la temporada de invierno hubo mayor requerimiento de oxigeno para oxidar la materia organica por tanto la demanda química de oxigeno indico presencia de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable y resistentes a la degradación biológica, provenientes de aguas servidas y del sector agroindustriales que son vertidas en el recorrido del rio Cesar, estos en su gran mayoría, fertilizantes y plaguicidas, los cuales se excluyen de la posibilidad de ser biodegradables debido a su gran complejidad química.(Ardila,2010)

### 7.2.6 Alcalinidad total

El análisis de las medidas de alcalinidad obtenidas en los diferentes puntos de muestreo durante ambos periodos de estudio, presentaron el comportamiento ilustrado en el gráfico N°7

#### Grafico 7.

Comportamiento de la alcalinidad total mg/L en las estaciones de muestreo



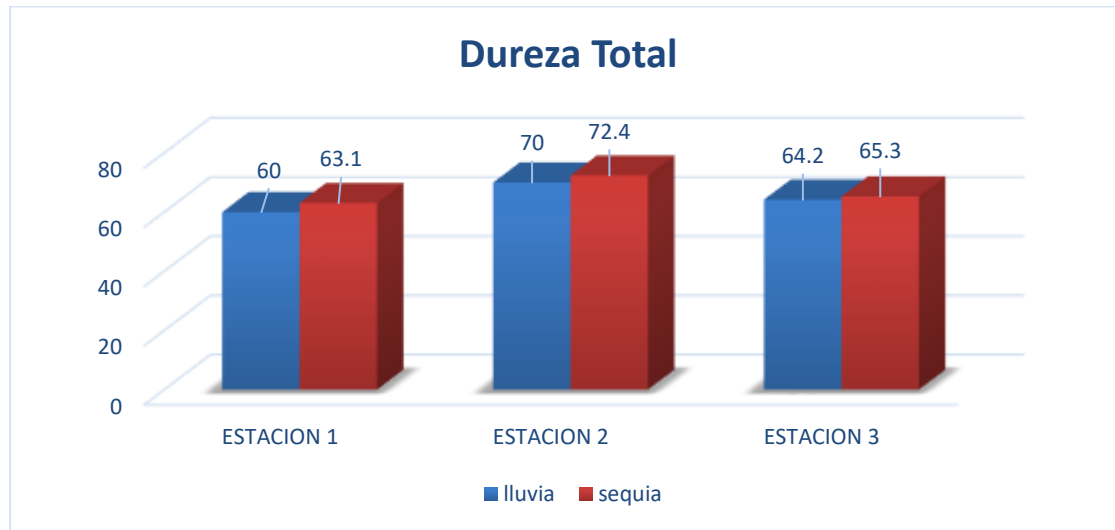
Elaborado por autores (2022)

De acuerdo a la grafica N°7 La capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones se conoce como alcalinidad en el río Cesar se registraron valores con poca variación entre los puntos de muestreos variando entre (64 mg/L a 72 mg/L) en la temporada húmeda. Por otro lado se obtuvieron mayores valores de alcalinidad en temporada seca los cuales oscilaron entre los (65.2mg/L a 79.4) mg/L, esto debido por la disminución del caudal y por tanto el aumento de la concentración de los carbonatos, principal sistema que determina la alcalinidad en las aguas superficiales, (Massol, 2014). En Colombia, de acuerdo con la Resolución 2115 del 2007, el valor máximo aceptable para este parámetro, que permita considerarla apta para consumo humano es de 200 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Como se pudo observar, que el río Cesar no registro datos superiores a este valor máximo establecido, lo que indica que los resultados obtenidos están cumpliendo con la norma.

### 7.2.7 Dureza total

El análisis de las medidas de dureza total las cuales fueron obtenidas en los diferentes puntos de muestreo durante ambos periodos de estudio, presentó el comportamiento ilustrado en el grafico N°8.

**Grafico 8.**



Elaborado por autores (2022)

La dureza del agua corresponde a la concentración de determinados compuestos minerales que hay en una cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio (Zamora, 2009) de acuerdo con el grafico N°8 la dureza obtenida en el periodo de lluvia oscilan entre ( 60 mg/L y 70mg/L) y en periodo de sequia de (63.1 mg/L a 72.4mg/L) en las estaciones de muestreo, de tal modo El grado de dureza se relaciona directamente en forma proporcional a la concentración de estas sales por tanto, se observa, que en temporada de lluvias se obtuvieron menores concentraciones con respecto a la seca, esto debido al incremento del caudal del agua que conduce a un mayor lavado de estos compuestos minerales. Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), como es el caso en la estación numero uno en temporada de verano donde se evidencia el comportamiento mas bajo, la estación dos y tres son aguas medianamente dura debido a que los resultados obtenidos están entre 61 y 120 mg/L. Asimismo, en la resolución 2115 de 2007 se establece un valor máximo permisible de 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

### 7.3 Análisis De Macroinvertebrados Acuáticos

Después de realizar la recolección de macroinvertebrados acuáticos con el fin de lograr la representatividad taxonómica de los bioindicadores presentes en el río Cesar en el tramo del municipio de Chiriguana y hacer uso del programa de estudio de calidad del agua, En donde se obtuvo un total de 394 individuos 226 en temporada seca y 168 en temporada de lluvia distribuidas en 25 familias y ocho ordenes siendo la más abundante la Elmidae del orden coleópteros con 94 individuos.

Las familias taxonómicas encontradas en el periodo seco también se encontraron en periodo de lluvias, esto a la vez consigue ser un indicador de calidad de agua ya que en los parámetros físicos y químicos presenta un comportamiento regular lo que indica que las condiciones del afluente garantizan el desarrollo de los organismos encontrados.

A continuación, se puede apreciar la caracterización taxonómica de familia y género de los macroinvertebrados que fueron identificados en cada una de las estaciones. (Ver Tabla 10. A Tabla 16.)



### 7.3.1. Identificación y caracterización taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados de muestreo en época de sequía en el río Cesar jurisdicción del municipio de Chiriguana Cesar.

**Tabla 10.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 1 de muestreo en época de sequía.

| <b>ESTACIÓN 1</b> |                 |              |
|-------------------|-----------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>   | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                 |              |
| Psephenidae       | Psephenops      | 2            |
| Ptilodactylidae   | Anchytarsus     | 9            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                 |              |
| Hydrobiosidae     | Atopsyche       | 5            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                 |              |
| Gerridae          | Brachymetra     | 10           |
| Philopotamidae    | Chimarra        | 7            |
| Naucoridae        | Hemiptera       | 2            |
| Baetidae          | Baetodes        | 2            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                 |              |
| Elmidae           | Microcylloepus  | 22           |
|                   | Macrelmis larva | 13           |
|                   | Cylloepus       | 4            |
| Libellulidae      | Tremea          | 2            |
| <b>FAMILIA 3</b>  |                 |              |
| Chironomidae      | Cricotopus      | 2            |
| <b>FAMILIA 1</b>  |                 |              |
| Tubificidae       | Tubificidae     | 1            |
| <b>Total</b>      |                 | <b>81</b>    |

Elaborado por autores (2022)

**Tabla 11.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 2 en época de sequía.

| <b>ESTACIÓN 2</b> |                 |              |
|-------------------|-----------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>   | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                 |              |
| Oligoneuridae     | Lachlania       | 1            |
| Ptilodactylidae   | Anchytarsus     | 7            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                 |              |
| Philopotamidae    | Chimarra        | 2            |
| Leptophlebiidae   | Thraulodes      | 2            |
|                   | Terpides        | 1            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                 |              |
| Gerridae          | Brachymetra     | 10           |
|                   | Limnogonus      | 11           |
| <b>FAMILIA 7</b>  |                 |              |
| Naucoridae        | Ambrysus        | 4            |
|                   | Limnocoris      | 6            |
| Baetidae          | Baetodes        | 1            |
| Leptohyphidae     | Leptohyphes     | 1            |
| Hydropsychidae    | Smicridea       | 11           |
| Calopterygidae    | Hetaerina       | 2            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                 |              |
| Elmidae           | Microcylloepus  | 1            |
|                   | Macrelmis larva | 3            |
|                   | Cylloepus       | 13           |
| <b>FAMILIA 3</b>  |                 |              |
| Chironomidae      | Cricotopus      | 4            |
| <b>Total</b>      |                 | <b>80</b>    |

Elaborado por autores (2022)

**Tabla 12.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 3 en época de sequía.

| <b>ESTACION 3</b> |                  |              |
|-------------------|------------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>    | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                  |              |
| Psephenidae       | Psephenops       | 1            |
| Ptilodactylidae   | Anchytarsus      | 2            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                  |              |
| Philopotamidae    | Dolophilodes     | 3            |
|                   | chimarra         | 1            |
| Polycentropodidae | Polypsectropus   | 2            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                  |              |
| Gerridae          | Brachymetra      | 12           |
| <b>FAMILIA 7</b>  |                  |              |
| Baetidae          | Camelobaetidiu   | 2            |
|                   | Baetidae         | 1            |
| Hydropsychidae    | Smicridea        | 3            |
| Calopterygidae    | Hetaerina        | 1            |
| Naucoridae        | Ambrysus         | 3            |
| Dryopidae         | Helichus         | 12           |
| Baetidae          | Baetodes         | 1            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                  |              |
| Elmidae           | Phanocerus larva | 2            |
|                   | Macrelmis larva  | 12           |
|                   | Microcylloepus   | 3            |
|                   | Stenelmis        | 1            |
| <b>Familia 3</b>  |                  |              |
| Tipulidae         | Molophiilu       | 3            |
| <b>Total</b>      |                  | 65           |

Elaborado por autores (2022)

### 7.3.2. Identificación y caracterización taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados de muestreo en época de lluvia en el río Cesar jurisdicción del municipio de Chiriguana Cesar.

**Tabla 13.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 1 en época de lluvia.

| <b>ESTACIÓN 1</b> |                 |              |
|-------------------|-----------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>   | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                 |              |
| Psephenidae       | Psephenops      | 1            |
| Oligoneuridae     | Lachlania       | 2            |
| Hydraenidae       | Lampyridae      | 2            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                 |              |
| Philopotamidae    | Chimarra        | 6            |
| Leptophlebiidae   | Thraulodes      | 2            |
| <b>Dytiscidae</b> | Thermonectus    | 3            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                 |              |
| Gerridae          | Limnogonus      | 9            |
| Veliidae          | Stridulivelia   | 14           |
| <b>FAMILIA 7</b>  |                 |              |
| Naucoridae        | Ambrysus        | 1            |
|                   | Limnocoris      | 2            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                 |              |
| Elmidae           | Macrelmis larva | 2            |
| Libellulidae      | Tamea           | 3            |
| <b>FAMILIA 3</b>  |                 |              |
| Chironomidae      | Cricotopus      | 4            |
| <b>Total</b>      |                 | 51           |

Elaborado por autores (2022)

**Tabla 14.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 2 en época de lluvia.

| <b>ESTACIÓN 2</b> |                          |              |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>            | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                          |              |
| Psephenidae       | Psephenops               | 2            |
| Ptilodactylidae   | Anchytarsus              | 1            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                          |              |
| Leptophlebiidae   | Thraulodes               | 2            |
|                   | Farrodes                 | 1            |
| Polycentropodidae | Polyplectropus           | 7            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                          |              |
| Gerridae          | Brachymetra              | 4            |
| <b>Veliidae</b>   | Stridulivelia            | 11           |
| <b>FAMILIA 7</b>  |                          |              |
| Hydropsychidae    | Smicridea                | 1            |
|                   | Leptonema                | 2            |
| Baetidae          | Baetodes                 | 2            |
| Leptohyphidae     | Leptohyphes              | 3            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                          |              |
| Elmidae           | Microcylloepus larva     | 2            |
|                   | Macrelmis larva y adulto | 4            |
|                   | Cylloepus                | 3            |
|                   | Stenelmis                | 1            |
|                   | Disersus larva           | 2            |
| Libellulidae      | Tamea                    | 1            |
| Coridalidae       | Corydalis larva          | 1            |
| <b>FAMILIA 1</b>  |                          |              |
| Tubificidae       | Tubificidae              | 7            |
| <b>Total</b>      |                          | 57           |

Elaborado por autores (2022)

**Tabla 15.**

Identificación taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en la estación 3 en época de lluvia.

| <b>ESTACIÓN 3</b> |                   |              |
|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>FAMILIAS</b>   | <b>GENERO</b>     | <b>TOTAL</b> |
| <b>FAMILIA 10</b> |                   |              |
| Perlidae          | Anacroneuria      | 1            |
| Oligoneuridae     | Lachlania         | 1            |
| Ptilodactylidae   | Anchytarsus       | 2            |
| <b>FAMILIA 9</b>  |                   |              |
| Philopotamidae    | Chimarra          | 3            |
| Leptophlebiidae   | <u>Thraulodes</u> | <u>1</u>     |
|                   | <u>Farrodes</u>   | <u>1</u>     |
| Hydrobiosidae     | Atopsyche         | 1            |
| <b>FAMILIA 8</b>  |                   |              |
| Gerridae          | Brachymetra       | 6            |
|                   | Limnogonus        | 3            |
|                   | Eurygerris        | 4            |
| <b>FAMILIA 7</b>  |                   |              |
| Hydropsychidae    | Leptonema         | 7            |
|                   | Smicridea         | 5            |
| Calopterygidae    | Hetaerina         | 1            |
| Naucoridae        | Limnocoris        | 2            |
| Baetidae          | Baetodes          | 1            |
| Dryopidae         | Dryops            | 3            |
| <b>FAMILIA 6</b>  |                   |              |
| Elmidae           | Microcylloepus    | 1            |
|                   | Stenelmis         | 2            |
|                   | Cylloepus         | 2            |
|                   | Macrelmis larva   | 1            |
| Libellulidae      | Tamea             | 2            |
| <b>FAMILIA 3</b>  |                   |              |
| Chironomidae      | Cricotopus        | 7            |
| <b>FAMILIA 1</b>  |                   |              |
| Tubificidae       | Tubificidae       | 1            |
| <b>Total</b>      |                   | <b>58</b>    |

Elaborado por autores (2022)

#### 7.4 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos según el orden taxonómico recolectados el río Cesar jurisdicción del municipio de chiriguana Cesar. en época de verano.

**Tabla 16.**

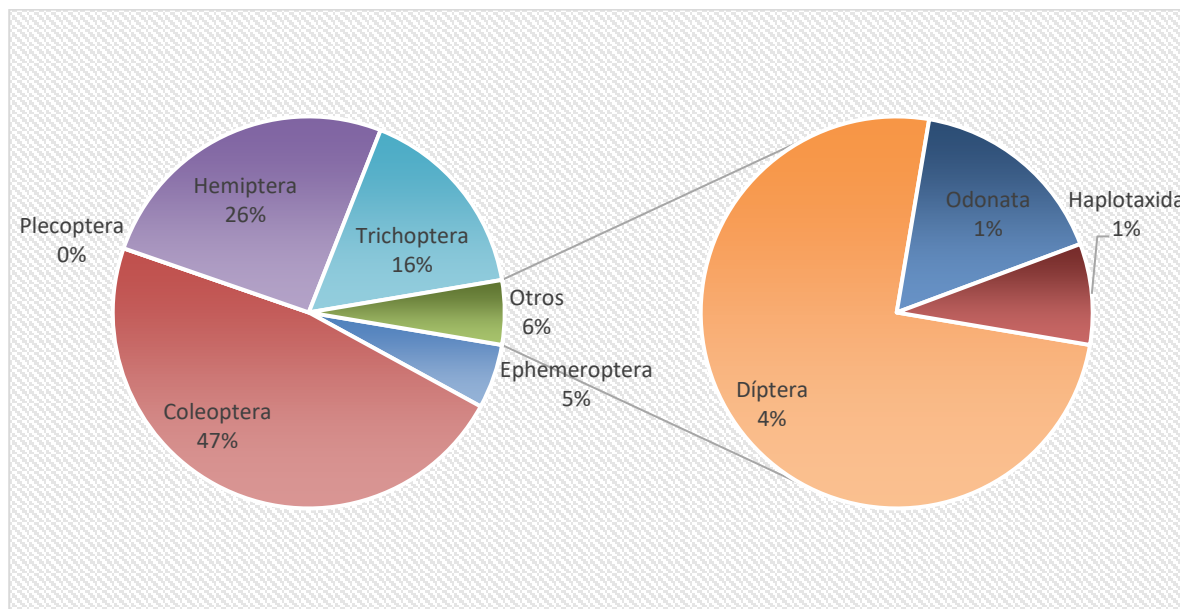
Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de sequia

| Orden taxonómico     | Estación 01 | Estación 02 | Estación 03 | Total | Porcentaje |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------|------------|
| <b>Ephemeroptera</b> | 2           | 6           | 4           | 12    | 5%         |
| <b>Coleoptera</b>    | 50          | 24          | 33          | 107   | 47%        |
| <b>Plecoptera</b>    | x           | X           | x           | x     | -          |
| <b>Hemiptera</b>     | 12          | 32          | 14          | 58    | 26%        |
| <b>Trichoptera</b>   | 12          | 14          | 11          | 37    | 16%        |
| <b>Díptera</b>       | 2           | 4           | 3           | 9     | 4%         |
| <b>Odonata</b>       | 2           | X           | x           | 2     | 1%         |
| <b>Haplotaxida</b>   | 1           | X           | x           | 1     | 1%         |
| <b>Total</b>         | 81          | 80          | 65          | 226   |            |

Elaborado por autores (2022)

#### Diagrama 1.

Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de sequía.



Elaborado por autores (2022)

### 7.4.1 Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos según el orden taxonómico recolectados el río Cesar jurisdicción del municipio de chiriguana Cesar en época de invierno.

**Tabla 17.**

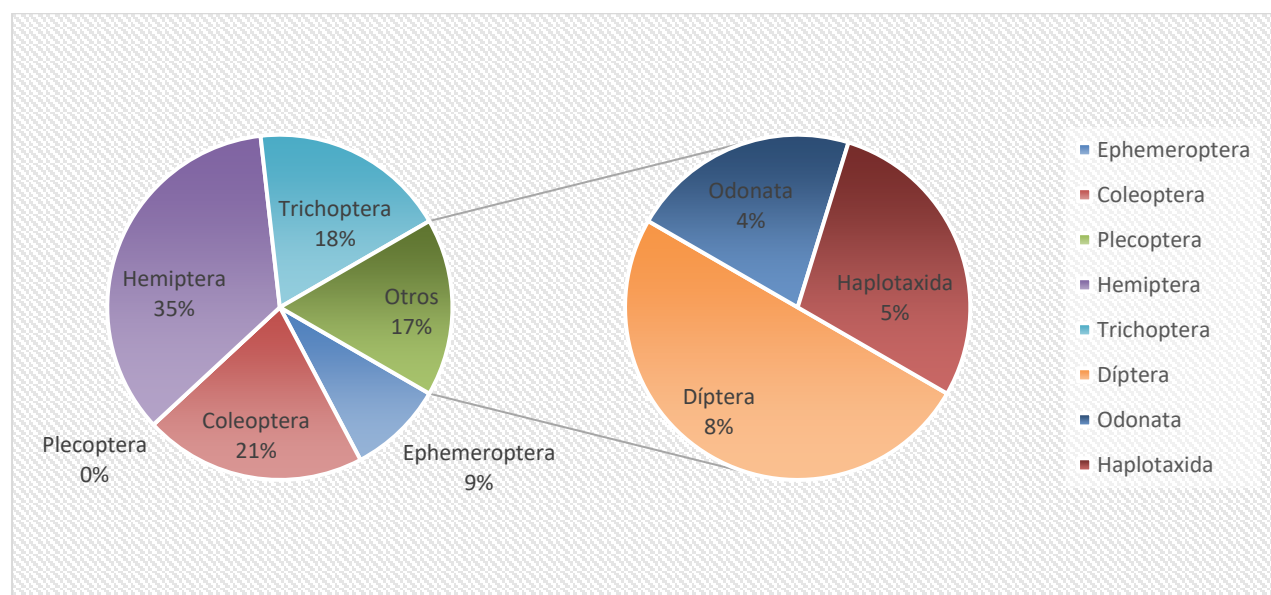
Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de lluvia.

| Orden taxonómico     | Estación 01 | Estación 02 | Estación 03 | Total | Porcentaje |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------|------------|
| <b>Ephemeroptera</b> | 4           | 7           | 4           | 15    | 9%         |
| <b>Coleoptera</b>    | 8           | 17          | 10          | 35    | 21%        |
| <b>Plecoptera</b>    | X           | X           | 0           | 0     | -          |
| <b>Hemiptera</b>     | 26          | 15          | 18          | 59    | 35%        |
| <b>Trichoptera</b>   | 6           | 10          | 15          | 31    | 18%        |
| <b>Díptera</b>       | 7           | X           | 7           | 14    | 8%         |
| <b>Odonata</b>       | 3           | 1           | 2           | 6     | 4%         |
| <b>Haplotaxida</b>   | 4           | 3           | 1           | 8     | 5%         |
| <b>Total</b>         | 57          | 53          | 58          | 168   |            |

Elaborado por autores (2022)

#### Diagrama 2.

Representación porcentual de los macroinvertebrados acuáticos en periodo de invierno.



Elaborado por autores (2022)

A través de la clasificación taxonómica realizada a cada macroinvertebrado, se afirma que las poblaciones tienen una gran variedad de adaptaciones morfológicas.

En el río Cesar en jurisdicción del municipio de Chiriguaná se pudo identificar invertebrados como los Coleopteros los cuales representaron el 47% en verano y el 21% en invierno; estos organismos poseen un papel importante para los ecosistemas debido a que tienen alta participación en los procesos de reciclaje de materia orgánica en descomposición, contribuyen al control del aumento poblacional de otros insectos y son fuente de alimento para otras especies. El orden coleóptera se caracteriza por abarcar un gran número de especímenes en la tierra, cuyas características morfológicas son tener dos pares de alas. Siendo el primero endurecidas y conocidos como élitros y el segundo es un par de alas membranoso. (Ruppert y Barnes, 1996).

Los coleópteros son un orden característico dentro de los ecosistemas debido a su gran abundancia y diversidad ecológica, lo cual al momento de sufrir cambios es notorio la alteración en sus condiciones de vida, es por esto que son empleados como indicadores biológicos de diversidad. (Vergara *et al.*, 2006). No obstante esta potencialidad como bioindicador no solo se debe únicamente por el hecho de su alta sensibilidad a los cambios, sino que ha su participación dentro de diferentes procesos ecológicos como: contribución a la polinización, ser fuentes de alimento, aporte a la formación de humus y a la descomposición de la materia orgánica (Vergara *et al.*, 2006; Cordero, 2008; Pedraza, 2008).

El orden Hemiptera conocidos como: Heteroptera o verdaderos chinches, tuvieron una representatividad dada por un 26% verano y 35% en lluvias, se caracterizan por ser predadores que viven en remansos de ríos y quebradas; son poco resistentes a corrientes rápidas y por lo tanto, habitan frecuentemente en lagos, ciénagas y pantanos, aunque existen especies que resisten cierto grado de salinidad y las temperaturas de las aguas termales. (ROLDAN, 1996).

Se consiguió encontrar macroinvertebrados en el río Cesar del orden Trichoptera, cuya representación fue dada por 16% verano y 18% en invierno, teniendo que estas especies poseen un papel ecológico importante. Puesto que dentro de sus diferentes etapas de vida realizan actividades de gran beneficio ecosistémico. En su etapa de adultos como también de larvas son gran fuente de

alimento para diferentes organismos acuáticos y terrestres. En su fase de larvas tienen participación dentro de todos los procesos ecológicos; sobretodo aquellas especies que son raspadoras las cuales consumen algas y tienen aporte en el control de la productividad primaria. Por otro lado los fragmentadores de hojarasca, la descomponen para hacer disponible este material para otros consumidores, mientras que los que son conocidos como filtradores tienden a agrupar las partículas finas y producir partículas más grandes que puedan ser consumidas. Este orden dentro de todas las ventajas que brinda a los ecosistemas, también se tiene en cuenta como indicador de la calidad del agua debido a su gran diversidad y como cada de unas poseen niveles de tolerancia distintos a los cambios en su hábitat. De igual modo esto no ejerce diferencia a que son organismos altamente sensibles a las alteraciones de sus condiciones de vida, es por esto que son muy útiles como bioindicadores de la calidad de agua y la salud de los ecosistemas.

El orden Díptera se establecen como uno de los órdenes de insectos más abundantes en el mundo, cuya presencia expresa una gran capacidad de colonización de los sustratos que ofertan los ecosistemas, de dicho orden se obtuvo que en verano hubo una representación de 4% y en invierno de 8% . La orden díptera es de gran importancia para la cadena trófica, ya que además de ser parte de la dieta de una biota acuática, contribuyen con el reciclaje de nutrientes y a la transformación de la materia orgánica. De igual modo, estos organismos son utilizados como bioindicadores ya que tienden a ubicarse en zonas con alto contenido de materia orgánica y aguas con presencia de contaminación.

El orden Odonata son considerados depredadores voraces, que practican incluso el canibalismo entre los miembros de su especie, poseen gran tamaño e importancia dentro de la cadena alimenticia, estos organismos se representaron en el río Cesar en la jurisdicción del municipio de Chiriguaná en el periodo seco en un 1% y en el periodo de lluvias en un 4%.

Los Haplotaxida son un grupo de anélidos que engloba a las lombrices y sus parientes. Sus especies poseen una morfología bastante homogénea, con las quetas laterales más o menos desarrolladas. El grupo se distribuye por todo el mundo, viviendo en lugares húmedos o bajo el agua. Se pueden encontrar principalmente bajo tierra, entre hojarasca y humus vegetal, en cortezas

y demás galerías húmedas, en el agua de riachuelos y lagos o en los sedimentos de estos y en el agua y sedimentos marinos. Su alimentación consta generalmente de detritus orgánicos, aunque algunos pueden comer algas o plancton. Representan un 5% en invierno y 1% en verano.



## 7.5 Determinación del índice BMWP/COL

### 7.5.1 determinación del índice BMWP/COL en las estaciones de muestreo en época de sequía y lluvias.

**Tabla 18.**

Indice BMWP/COL en las estaciones de muestreo en época de sequía y lluvia

| Epoca         | Estaciones | Indice Bmwp/COL | Significado                    | Calidad   |
|---------------|------------|-----------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Sequia</b> | 1          | 83              | Aguas ligeramente contaminadas | Aceptable |
|               | 2          | 90              | Aguas ligeramente contaminadas | Aceptable |
|               | 3          | 97              | Aguas ligeramente contaminadas | Aceptable |
| <b>Lluvia</b> | 1          | 95              | Aguas ligeramente contaminadas | Aceptable |
|               | 2          | 94              | Aguas ligeramente contaminadas | Aceptable |
|               | 3          | 116             | Aguas muy limpias a limpias    | Buena     |

Elaborado por autores (2022)

De acuerdo a los resultados del BMWP/COL en la época de sequia este indicador arroja una calidad aceptable en las tres estaciones de muestreo en la época de sequia, y en el periodo de lluvias la estación 1 y 2 presentaron el mismo comportamiento en cuanto a calidad siendo así aguas ligeramente contaminadas, la estación tres expuso una buena calidad, con los resultados presentados en la tabla 18 se puede deducir que la calidad del río Cesar en ambos periodos presentó una calidad aceptable en cuanto al BMWP/COL.

De acuerdo a los resultados, los grupos que presentaron mayor sensibilidad en el afluente, a aquellas alteraciones del ecosistemas, se obtuvo que fueron los órdenes Ephemeroptera, Hemiptera y coleóptera. Estos grupos indican que el agua presenta características físicas y químicas alteradas, pero de calidad regular a aceptable, es decir, permite la supervivencia de los organismos pero no el crecimiento poblacional a comparación de ríos con calidad de agua aceptable a buena y con características físico y químicas de alta calidad. A través de esto se comprende que los organismos son altamente sensibles a la contaminación y a medida que esta incrementa y degrada los ecosistemas acuáticos, afecta directamente al desarrollo poblacional normal de estos organismos. Disminuyendo la cantidad de especímenes que puedan encontrarse

debido a la poca adaptabilidad a las nuevas condiciones o directamente erradicando en la zona la presencia de varias comunidades de macroinvertebrados.

El incremento de materia orgánica en el agua es causante de la proliferación de microorganismos y organismos que se encargan de la descomposición, estos genera efectos de mayor demanda de las concentraciones de oxígeno disuelto, ocasionando su reducción y el aporte para el desarrollo de las demás comunidades y especies que habitan el cuerpo hídrico. Sin embargo, gran parte de los invertebrados presentan alta sensibilidad a los cambios de las condiciones de oxígeno, notando cuando este presenta reducciones a comparación de los parámetros en normalidad, es por esto que se presentan casos de disminución de abundancia o desaparición total. Por otro lado existen grupos que toleran las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, el aumento de la materia orgánica y la baja calidad del agua, como es el caso de los organismos del orden díptera, especialmente de la familia Chironomidae el cual presenta mayor representatividad en épocas de invierno o periodos de intensas lluvias.



## 7.6 Índice de calidad de agua ICA

### Tabla 19.

Índice de calidad del agua en los periodos de sequia y lluvia

| INDICE PROMEDIO DE CALIDAD DEL AGUA ICA |          |       |       |     |      |       |      |               |
|-----------------------------------------|----------|-------|-------|-----|------|-------|------|---------------|
| Época                                   | Estación | IOD   | ICE   | IPH | ISST | IDQO  | ICA  | Clasificación |
| Sequia                                  | 1        | 0.11  | 0.098 | 0.2 | 0.11 | 0.102 | 0.62 | REGULAR       |
|                                         | 2        | 0.103 | 0.10  | 0.2 | 0.11 | 0.102 | 0.61 | REGULAR       |
|                                         | 3        | 0.105 | 0.10  | 0.2 | 0.11 | 0.102 | 0.62 | REGULAR       |
| Lluvia                                  | 1        | 0.10  | 0.097 | 0.2 | 0.12 | 0.102 | 0.61 | REGULAR       |
|                                         | 2        | 0.104 | 0.098 | 0.2 | 0.12 | 0.102 | 0.62 | REGULAR       |
|                                         | 3        | 0.109 | 0.097 | 0.2 | 0.12 | 0.102 | 0.63 | REGULAR       |

Elaborado por autores (2022)

El índice de calidad del agua en las mejores condiciones, llega a tener un valor asignado de 1 o 100% y a medida que la calidad decrece este va tomando un valor cercano a cero; un Índice bueno de calidad del agua tendrá un rango entre 0.91 a 1, de tal manera que puede emplearse como un indicativo relacionado a una alta diversidad de vida acuática; mientras más disminuye el valor del ICA, se genera una disminución poblacional de que aquellos organismos que no puedan adaptarse al nuevo medio. Con el aumento de la concentración de contaminantes se forman hábitats específicos para aquellos organismos que puedan sobrevivir a los cambios, o que en su defecto se hayan traslado de otros debido a las condiciones óptimas para su desarrollo poblacional. Por el contrario las aguas con un ICA considerado como aceptable permitirá que se puedan realizar actividades antrópicas con ese cuerpo de agua, como a su vez albergar fauna acuática que exprese que la calidad de la zona es buena.

Sin embargo el tener un ICA de categoría regular permite identificar problemáticas relacionadas al cuerpo de agua, tales como: eutrofización por crecimiento de algas, entre otros. Por esta razón se tiene menor una menor diversidad acuática. Por otro lado cuando existe un ICA de categoría mala se reconoce la mala calidad del cuerpo hídrico, expresando limitaciones en el desarrollo de las especies que ocupan la zona, y problemas relacionados a contaminación por actividades naturales o especialmente antrópicas. Por último si se presenta una categoría muy mala

del ICA, esto representa que solo un número limitado de organismos acuáticos poseen vida en esas condiciones y además limitaciones para su uso. (Carrasco, 2014).

De acuerdo a lo planteado anteriormente y a los resultados presentados en la tabla N° 19 el índice de calidad del agua (ICA) en el Río Cesar en el municipio de Chiriguana, en los periodos de lluvias y secos posee una señal de alerta de color amarillo, denominada “REGULAR”, con un rango de valores entre 0,51 y 0,70. Se puede inferir que a pesar que la calidad del agua no se encuentra en un estado optimo y este se aleja de las condiciones naturales, lo que puede implica inconvenientes para el desarrollo de actividades domésticas y agropecuarias comunes en la población de estudio y sectores aledaños.

El meteorólogo y jefe de organización del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Christian Euscátegui, dejó en claro que, en lo corrido del año, el país se ha estado enfrentando a este fenómeno climático, prueba de ello son las intensas lluvias que se han venido presentando durante los últimos cinco meses en el país y que golpearon fuertemente a la región caribe. Con lo anterior el fenómeno de la niña ha golpeado fuertemente al centro del Cesar por tanto se han visto veranos muy cortos en el transcurrir del año lo que pudo generar incidencias en los resultados obtenidos debido al aporte hídrico por medio del aumento del régimen pluviométrico del municipio de Chiriguana.



## 7.7 índices de contaminación Icos

Tabla 20

Índices de contaminación en los periodos de lluvia y sequia

| Época  | Estación | Icosu | Calidad | Icomi | Calidad | Icopph   | Calidad |
|--------|----------|-------|---------|-------|---------|----------|---------|
| Sequia | 1        | 0.42  | Medio   | 0.65  | Alto    | 0.000944 | Ninguna |
|        | 2        | 0.43  | Medio   | 0.8   | Alto    | 0.003044 | Ninguna |
|        | 3        | 0.41  | Medio   | 0.20  | Baja    | 0.00274  | Ninguna |
| lluvia | 1        | 0,4   | Medio   | 0.6   | Alto    | 0.00012  | Ninguna |
|        | 2        | 0,4   | Medio   | 0.7   | Alto    | 0.00028  | Ninguna |
|        | 3        | 0,4   | Medio   | 0.21  | Baja    | 0.00977  | Ninguna |

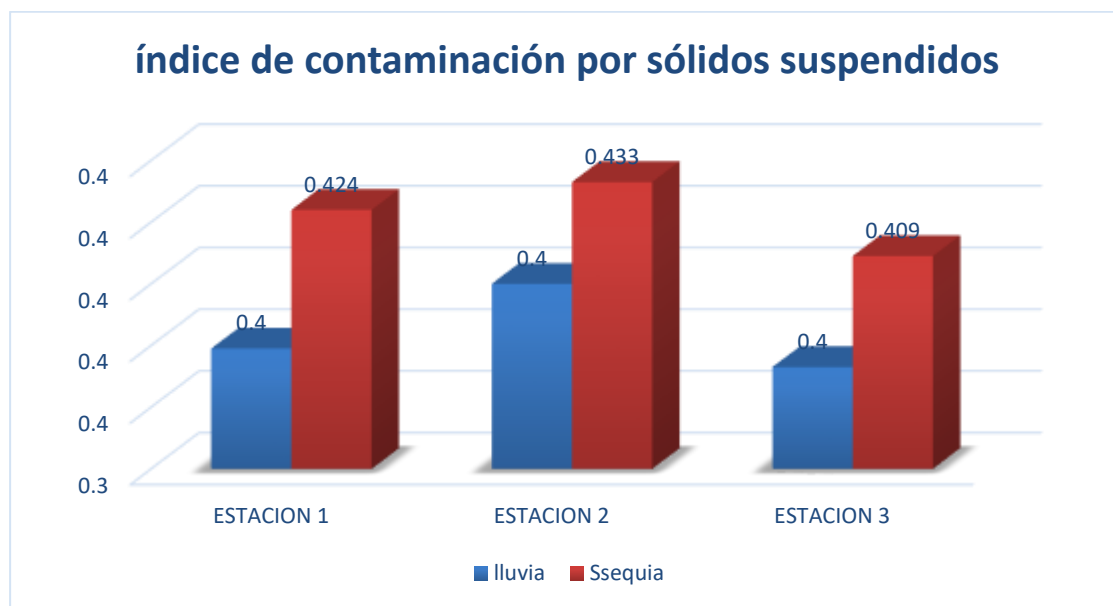
Elaborado por autores (2022)

### El índice de contaminación por sólidos suspendidos

Deacuerdo con la CVC (2004), el comportamiento del ICOSUS se asocia al arrastre y resuspensión de sólidos debido a las altas velocidades del flujo.

#### Grafico 9.

Índice de contaminación por sólidos suspendidos periodo de sequia y lluvia



Elaborado por autores (2022)

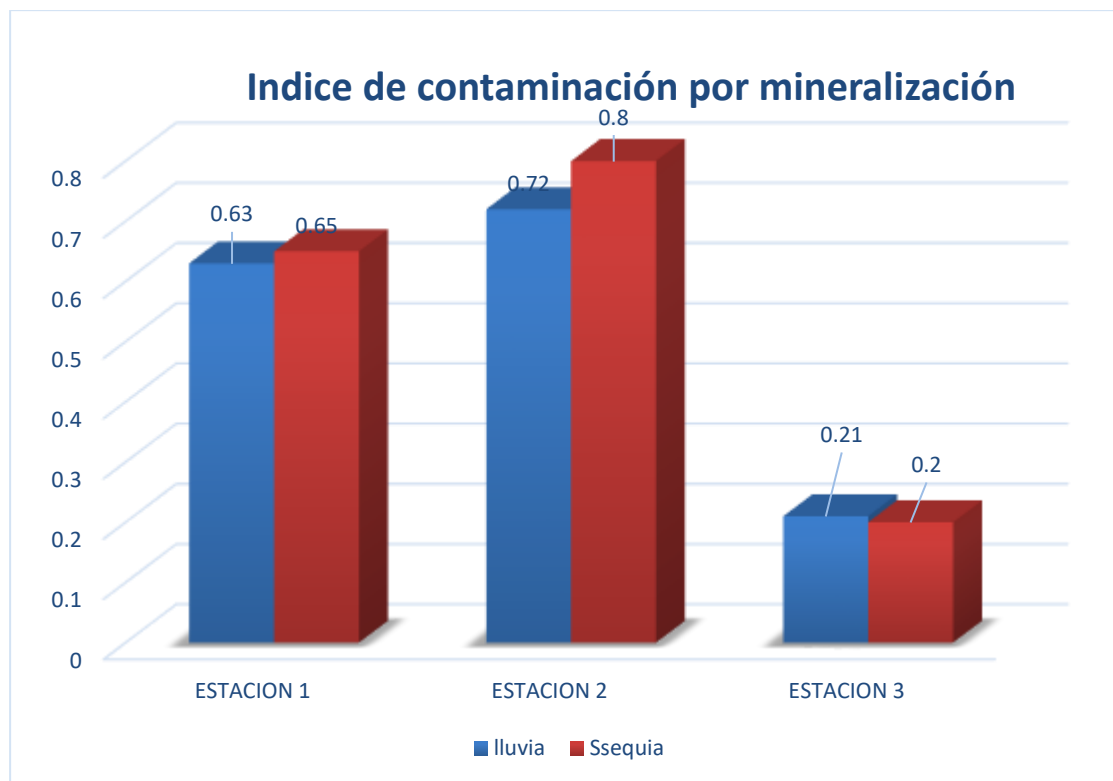
La media de los tres estaciones en época de lluvia esta entre (0,4) , lo que indica que las aguas del rio Cesar en el municipio de chiriguana presentan contaminación por sólidos

suspendidos de medio a alto, mientras que en la época de sequía el índice de contaminación por sólidos toma los valores de (valores de 0,409 a 0,433), indicando que la contaminación por SST es media en las aguas del río Cesar. Esta diferencia entre periodos es marcada debido a que en invierno por mayor presencia de lluvias y los aumentos de caudales se presenta una mayor dilución en el cuerpo de agua, teniendo en cuenta esto y además que los cuerpos de agua tienden al desbordamiento de sus cauces tienden a conjugarse con otros afluentes (caños, cienegas, ríos, etc) (Perez j, 2017).

### Indice de contaminación por mineralización

#### Grafico 10.

El Índice de contaminación por mineralización en periodos de sequía y lluvia



Elaborado por autores (2022)

El índice de contaminación por mineralización ICOMI no hubo mayor variación en los periodos de muestreo, la estación 1 y 2 su comportamiento representa un grado de contaminación

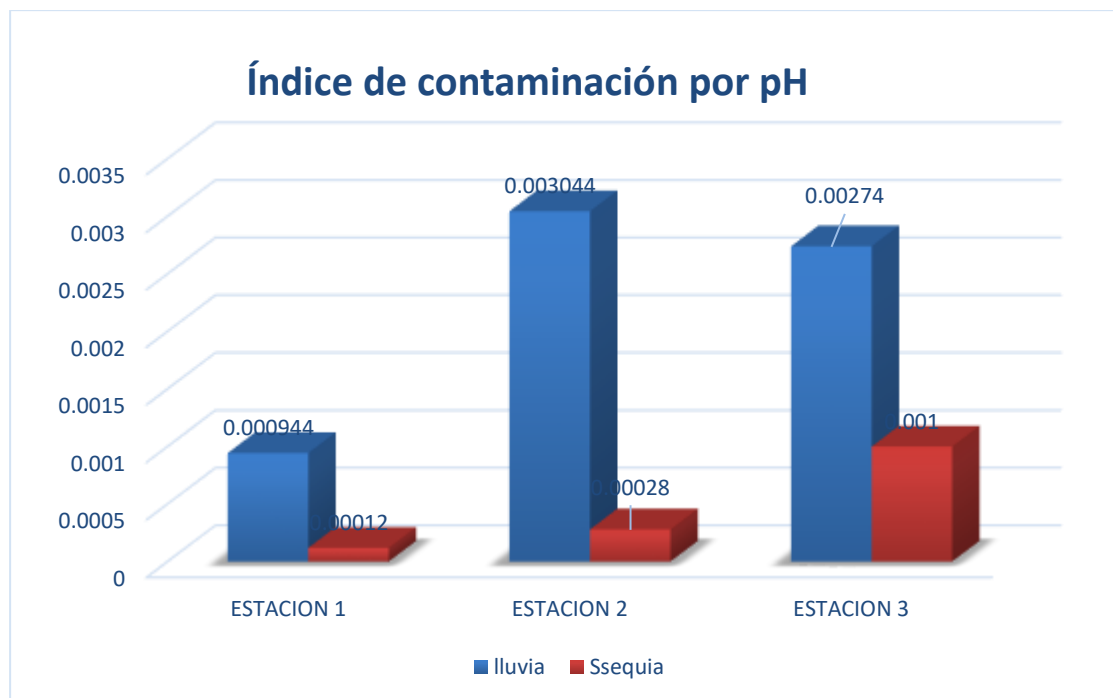
alto mientras que la estación tres su grado fue bajo en los periodos de estudio, Teniendo en cuenta que este índice relaciona parámetro principalmente como lo son la conductividad, dureza y alcalinidad, lo cual permite aludir la presencia de bajos contenidos de magnesio y calcio en comparación con las otras estaciones.

### Índice de contaminación por pH

el índice de contaminación por PH ICOPH en ambos periodos los resultados obtenidos tuvieron tendencia a 0, indicando de esta manera que la contaminación generada por la variación de pH es casi nula.

#### Grafico 11.

Índice de contaminación por pH



Elaborado por autores (2022)

El análisis de los datos presentó un rango de variación natural, lo cual señala que aproximadamente entre pH 6 a 7 es una condición perfectamente natural de las aguas. Tal variación se ha tenido en cuenta de tal modo que cambios en esta variable alrededor de dicho rango, no revisten deterioro en su condición.

## 7.8 Correlación de las variables físicas y químicas mediante el coeficiente de Pearson

### 7.8.1 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 21.

**Tabla 21.**

Correlaciones de los parámetros físicos y químicos

|     | <i>TP</i>    | <i>PH</i>   | <i>CE</i>    | <i>OD</i>    | <i>SST</i>  | <i>DQO</i> |
|-----|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|
| TP  | 1            |             |              |              |             |            |
| PH  | 0.68974051   | 1           |              |              |             |            |
| CE  | -0.89997325* | 0.8619494*  | 1            |              |             |            |
| OD  | -0.73508319  | -0.5927929  | 0.88273483   | 1            |             |            |
| SST | 0.9367056**  | 0.61620456  | -0.89813624* | -0.807607482 | 1           |            |
| DQO | -0.36999288  | -0.57168855 | 0.69985726   | 0.86639201*  | -0.49398687 | 1          |

Elaborado por autores (2022)

Nota: **TP**: Temperatura, **pH**, **CE**: Conductividad Eléctrica, **SST**: Sólidos Suspendedos Totales, **OD**: Oxígeno Disuelto

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

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

De acuerdo a los coeficientes de correlación, se observa que se presentaron correlaciones significativas entre la Temperatura y la Conductividad Eléctrica ( $R=-0.89997325$ ), esto es debido a que mientras que la La conductividad del agua es altamente dependiente de la temperatura es decir existe una relacion directamente proporcional entre ambas variables esto es debido a que mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica, además de eso la temperatura incide, en la solubilidad del oxígeno en el agua, teniendo efectos negativo sobre la fauna y la flora acuática asociada al curso del agua.

Los Solidos Suspendidos Totales presentaron una correlación negativa con la Conductividad Eléctrica ( $R=-0.89813624$ ) , “esto es debido a que en cuerpos de aguas superficiales se tiene una estrecha relación de los mismo, ya que conforme aumenta la conductividad se reduce la calidad del recurso hidrico” (COOPONOR, 2018)

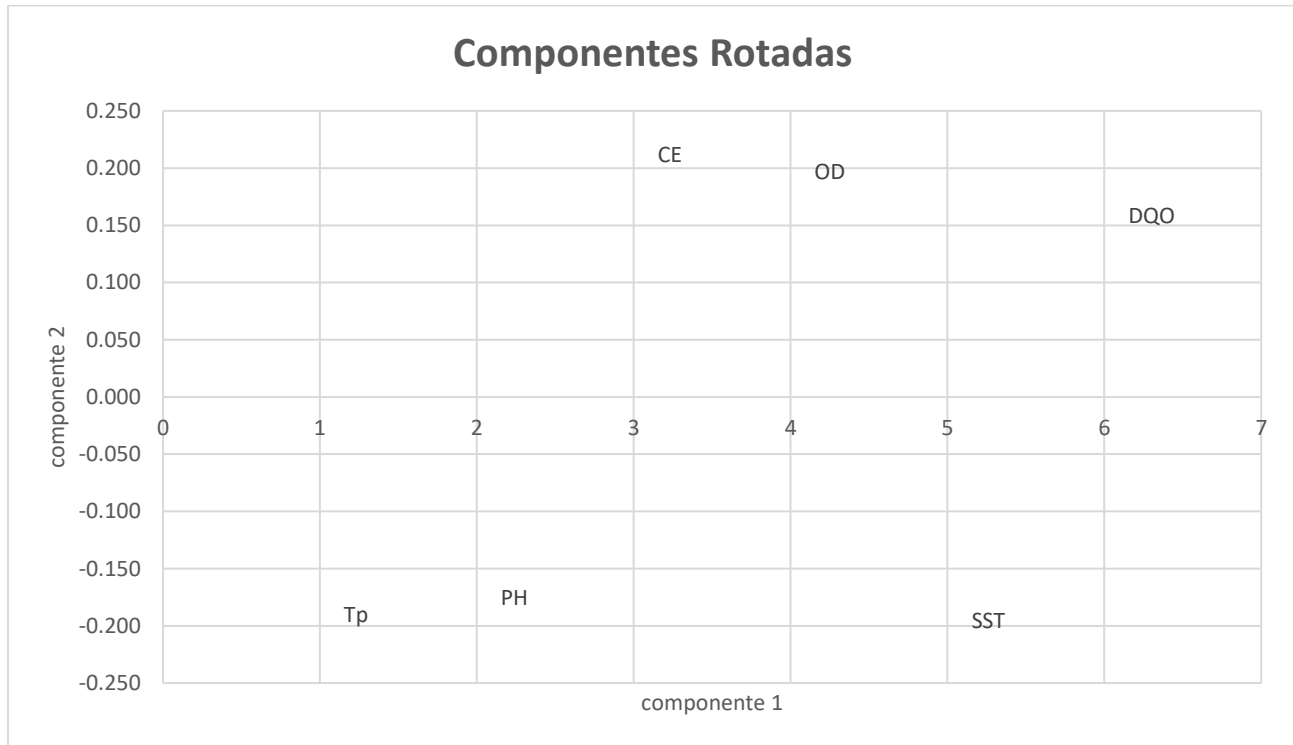
La Conductividad Eléctrica se correlacionó positivamente con el Oxígeno Disuelto, ( $R=0.88273483$ ) lo que indica que hay presencia de sustancias orgánicas. Dichas correlaciones pueden ser más fuertes en la época de verano donde se presenta mayor cantidad de materia orgánica, al igual que el PH y la temperatura donde su coeficiente de correlación fue positivo ( $R=0.68974051$ ) por tanto cuando se presenta un incremento en la temperatura, el pH disminuye, de igual forma una disminución de temperatura implica un aumento en el pH.



## 7.8.2 Análisis principal de componentes

**Grafico 12.**

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



Elaborado por autores (2022)

De la anterior gráfica se observa que el grupo de la derecha conformado por los parámetros correspondientes a Oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno tiene una relación directa e influyen de manera conjunta con el grado de la posible contaminación del agua.

La Conductividad Eléctrica y a Sólidos Suspendidos Totales se encuentran de manera independiente que se muestra se debe posiblemente a la carga de sales y/o sustancias disueltas en el agua, que pueden provenir del sector agrícola y de aguas residuales domésticas.

En la parte inferior izquierda se encuentran la temperatura y el pH 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.

## CONCLUSIONES

En la evaluación de los parámetros físicos y químicos en la cuenca baja el río Cesar municipio de Chiriguana se encontró que la temperatura y el pH, estuvieron dentro de los límites permisibles de la normativa colombiana (Decreto 1594 de 1984, sobre usos del agua y residuos líquidos).

Las concentraciones de SST indicaron que en el periodo seco hay mayor carga contaminante en mg/L de sólidos en las tres estaciones de muestreo, permitiendo el aumento del índice de contaminación por sólidos ICOSUS, comparación de los obtenidos en el periodo de lluvias.

El oxígeno disuelto tuvo variaciones entre ambos periodos dando mayores valores en periodos de lluvias, los resultados de este parámetro son favorables para el normal desarrollo de los organismos acuáticos de acuerdo al Decreto 1594 de 1984 sobre usos del agua y residuos líquidos, los criterios de calidad para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna.

Los valores de conductividad en todas las estaciones medidas cumplieron con lo establecido por la normativa, de acuerdo con Yepes (2004) el promedio de la conductividad en las aguas tropicales se encuentra en un rango de 140-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; las estaciones de muestreo evaluadas en el estudio pertenecen a esta catalogación y la mayoría de ellas fueron inferiores a este rango. Según Ramírez et al, (1998), la conductividad a partir de los 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en ríos colombianos empieza a señalar problemas de contaminación.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el BMWP/COL, indican que la calidad de el río Cesar en el tramo perteneciente al municipio de Chiriguana presenta de calidad aceptable es decir, permite la supervivencia de los organismos pero no el crecimiento poblacional aunque las condiciones físicas y químicas del afluente sean regulares.

Los grupos que presentaron mayor sensibilidad en el afluente, a aquellas alteraciones del ecosistemas, fueron los órdenes Ephemeroptera, Hemiptera y coleóptera. Indicando que el agua presenta características alteradas, en cuanto a abundancia los puntos de muestreo poseen una

alta variedad de adaptaciones morfológicas y de comportamientos para poder aprovechar los diferentes recursos tróficos que ofrece el ecosistema fluvial.

Los resultados obtenidos a través del uso del índice BMWP/Col con un valor promedio de 90 para época de sequía y de 101 en época de lluvia, indican que pueden haber cambios ecológicos en las zonas de muestreo relacionadas con el sector agroindustrial, densidades humanas, cambios en el paisaje y el aumento en los valores de los parámetros fisicoquímico.

El índice de calidad de agua ICA determinados en los tres puntos de muestreo mediante la metodología propuesta por el IDEAM, muestra una señal de alerta Regular en todas las estaciones de muestreo, en ambos periodos de estudio, lo cual permite indicar que el cuerpo de agua tiende a tener problemáticas asociadas a la eutrofización por crecimiento de algas y actividades que se desarrollan en cercanías a su cause, por lo cual este tiende a una disminución significativa en su diversidad acuática.

En la cuenca baja del río Cesar en jurisdicción del municipio de Chiriguaná existe una contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) con concentraciones promediadas en los puntos monitoreados en ambos periodos de estudio y se presentó contaminación por mineralización (ICOMI).



## Recomendaciones

Aplicar estudios que involucren metodologías biológicas y microbiológicas en la evaluación de condiciones de calidad del agua, con el fin de observar y registrar cambios y/o alteraciones en el río Cesar en la cuenca baja. Asimismo, incluir en estos estudios, metodologías robustas y/o técnicas analíticas para detectar presencia de minerales y metales pesados así como los índices de contaminación ICOMO, ICOTRO y emplear índice de calidad del agua las variables faltantes del. Esto debido a que el índice de contaminación por mineralización estimado en el presente trabajo arrojó datos relativamente altos, indicando contaminación.

Realizar estudios con grupos multidisciplinarios y fines investigativos que involucre a la flora y fauna presente en el área de estudio, como insumos bases para establecer lineamientos y realizar inventarios. Asimismo, como potencial para el desarrollo ecológico.

Realizar monitoreos continuos en el recurso hídrico de manera sistemática y periódica, con el fin de tener registros sobre las condiciones de calidad del agua del afluente, y tomar los correctivos pertinentes, permitiendo el accionar oportuno con miradas puestas en la conservación del recurso e involucrar a los entes territoriales en estos procesos.



## BIBLIOGRAFÍA.

(POMCAS, Río Bajo Cesar - Ciénaga De La Zapatosa, 2016). FORMULACIÓN DEL POMCA DEL RÍO BAJO CESAR – CIÉNAGA ZAPATOSA. Gov.Co. Retrieved October 14, 2021, From [https://www.corpocesar.gov.co/files/fasep&ZA\\_BC-CZ\\_Vf.pdf](https://www.corpocesar.gov.co/files/fasep&ZA_BC-CZ_Vf.pdf)

2115, R. (2007). MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Edu.co.

Acosta, Y. Y Zuluaga, E., (2011). Evaluación De La Calidad Del Agua En El Río Negro Y Sus Principales Tributarios Empelando como Indicadores los Índices ICA, el BMWP/COL y El ASPT

BOFILL-MAS, S et al. (2005). Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. Rev. Esp. Salud Pública [online], vol.79, n.2, pp.253-269. ISSN 2173-9110.

Cañas, J. S. (2014). Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/10901>.

Clasificación De Aguas Tomado De Grupo Epm Disponible En La Web: <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>

Galarraga, E. S. (1984). Algunos Aspectos Relacionados Con Microorganismo En Agua Potable. Revista Politécnica De Información Técnica Científica, 135- 143.

Garita, P. 2005. Análisis Del Riesgo De Contaminación De Diez Nacientes Utilizadas Por La Empresa De Servicios Públicos De Heredia Para El Abastecimiento De Agua Potable. Universidad De Costa Rica. San José, Costa Rica. 120p.

Gestión Integral del Recurso Hídrico. (2021, junio 17). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Giraldo Quintero, G. (2004). Bioindicación De La Calidad Del Agua En Corrientes Alto Andinas. Aplicación De Los Índices De Monitoreo Biológico BMWP/ Col Y BMWP'/Cu. Tecnura, 7(14), 17-23. DOI: 10.14483/22487638.6172

Gonzáles., M., & Fajardo, L. (2013). Asociación de grupos funcionales de macroinvertebrados acuáticos a *Juncus effusus* – *Typha latifolia* y *Eichornia crassipes* – *Limnobium laevigatum*, en el terciario alto del humedal Juan Amarillo, Bogotá – Colombia.

Guzmán, K. (2013). Documentos De Trabajo Sobre Economía Regional: El Río Cesar. Cartagena: Centro de estudios económicos regionales (CEER) banco de la república.

IDEAM. (Octubre De 2011). Subsistema De Información. Módulo Fisicoquímico Ambiental –MFQA- De La Base De Datos Oracle. Recuperado El 30 De Marzo 2021, De Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales - IDEAM: [Http://Www.Ideam.Gov.Co/Documents/24155/125494/36-](http://Www.Ideam.Gov.Co/Documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_Calidad_Agua_3_FI.Pdf/9d28de9c-8b53-470e-82abdaca2d0b0031)

[3.21\\_HM\\_Indice\\_Calidad\\_Agua\\_3\\_FI.Pdf/9d28de9c-8b53-470e-82abdaca2d0b0031](http://Www.Ideam.Gov.Co/Documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_Calidad_Agua_3_FI.Pdf/9d28de9c-8b53-470e-82abdaca2d0b0031)

ILUSTRACION N°1 CARACTERISTICAS FISICAS TOMADA DE GESTION DEL RECURSO HIDRICO (MINIAMBIENTE) DISPONIBLE EN LA WEB: [Https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Gestionintegraldelrecursohidrico/Pdf/Legislaci%C3%B3n\\_Del\\_Agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.Pdf](https://Www.Minambiente.Gov.Co/Images/Gestionintegraldelrecursohidrico/Pdf/Legislaci%C3%B3n_Del_Agua/Resoluci%C3%B3n_2115.Pdf)

Imagen Satelital Del Municipio De Chiriguaná Tomado De La Web Y Ajustado Por Autores Disponible En [Https://Www.Google.Com/Maps/Place/Chiriguana,+Cesar/@9.3614636,-73.6172096,6281m/Data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8e5e2f09445699e3:0x3dfb4446e185c9d4!8m2!3d9.361464!4d-73.5997](https://Www.Google.Com/Maps/Place/Chiriguana,+Cesar/@9.3614636,-73.6172096,6281m/Data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8e5e2f09445699e3:0x3dfb4446e185c9d4!8m2!3d9.361464!4d-73.5997)

INDICADORES (IDEAM) Tomado De La Web, Disponible En Línea En [Http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Agua/Indicadores1](http://Www.Ideam.Gov.Co/Web/Agua/Indicadores1)

Kornacki & Johnson. (2005). Patógeno E Indicadores Microbiológicos De Calidad Del Agua Para Consumo Humano.

Marco, (2014). Prueba De La Conductividad Eléctrica En La Evaluación Fisiológica De La Calidad De Zemillas Zeyheria Tuberculosa. Brazil.

Marco. (2014). Prueba De La Conductividad Eléctrica En La Evaluación Fisiológica De La Calidad De Zemillas Zeyheria Tuberculosa. Brazil.

Metcalf., (1995). INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO VERTIDO Y REUTILIZACION. En Eddy (Pág. 185). Madrid - España: Mc Graw

Moreno, J., Patarroyo, N., & Rodríguez, H. (2006). La importancia del uso de los indicadores biológicos en los estudios de impacto ambiental. (Monografía). Universidad Industrial de Santander, Bogotá, Colombia.

Oñate Barraza, H.C. y Cortez Henao, G.Y. 2020. Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/COL. Tecnura. 24, 65 (jul. 2020), 39–48. DOI:<https://doi.org/10.14483/22487638.15766>.

Organización Mundial De La Salud, (2006). Guía Para La Calidad Del Agua Potable.

Peña Prieto, L, Muñoz Martínez, M. Y Espinosa Correa, A. (2001). Tratamiento De Aguas Residuales Municipales Y Su Impacto Ambiental Sobre Un Ecosistema, Universidad Distrital, Colombia. Tecnura, 5(9), 35-45.

Ramírez, L. A. (2016). Contaminación Bacteriológica Por Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Escherichia Coli Y Salmonella SP En Aguas Termales De Alcance Turístico De La Región San Martín. San Martín: universidad nacional de San Martín.

Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08

Rodríguez-Monroy J, Y Durán De Bazúa C. (2006). Remoción De Nitrógeno En Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Usando Humedales Artificiales De Flujo Vertical A Escala De Banco. Tecnol. Ciencia Ed.

ROLDAN, G. (1992) Fundamentos De Limnología Neotropical. Editorial Universidad De Antioquia. Medellín, Colombia. P

Roldan, G. (2012). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

ROLDAN, Gabriel, (1988). Guía Para El Estudio De Los Macroinvertebrados Acuáticos Del Departamento De Antioquia. Fondo FEN-Colombia. Colciencias - Universidad De Antioquia. ED. Presencia Ltda, Bogotá.

ROLDAN, Gabriel. (2003), Bioindicación De La Calidad Del Agua En Colombia. Medellín, Colombia. Universidad De Antioquia.

Sawyer C & Mc CARTY. (2001). Química Para Ingeniería Ambiental. Colombia, Mc Graw Hill.

Severiche, C. A., & González, H. (2012). Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por método turbidimétrico modificado. *Ingenierías USBMed*, 3(2), 6–11. <https://doi.org/10.21500/20275846.269>

SUNASS. (2004). Resolución De Gerencia General N°037

Torres, P, Cruz, C. H. & Patiño, P. J. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías*.

TORRES, P., CRUZ, C., PATIÑO, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica., *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, Vol. 8, #15 especial, ISSN 1692 – 3324, Medellín, Colombia, pp. 81 – 94.

Universidad Del Atlántico, (2011) Informe Ejecutivo. Caracterización E Impactos Ambientales Por Vertimientos En Tramos De La Cuenca Media Y Baja Del Río Cesar, VALLEDUPAR.

Madera, Lisbeth C, Angulo, Luis C, Díaz, Luis C, & Rojano, Roberto. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información tecnológica*, 27(4), 103-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>

Massol , A. (2014). Manual de la Ecología Microbiana. Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayaguez.

Zúñiga, Ó. O., Cobas, G. G., Rivera, J. G., & Hernández, K. T. (2016). Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 18.

Zamora, J. R. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable, analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9 (12), 125-134.

Carrasco, M. G. (2014). “Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río congüime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad del agua (ica brown) en la provincia de zamora chinchipe cantón paquisha.” Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador.

Ruppert, E.; y Barnes, R. 1996. Zoología de Invertebrados. México, D.C. Mc Graw Hill. Interamericana. Sexta Edición. 1114 p.

Vergara, O.; Jerez, V.; y Parra, L. 2006. Diversidad y patrones de distribución de coleópteros en la Región del BíoBío, Chile: una aproximación preliminar para la conservación de la diversidad. Revista Chilena de Historia Natural 79:369-388.



## ANEXOS

### Anexo 1 MACROINVERTEBRADOS.

IDENTIFICADA EN EL  
LABORATORIO

IDENTIFICADA EN EL LA  
GUÍA

FAMILIA  
PSEPHENIDAE



FAMILIA  
PTILODACTYLIDAE



FAMILIA:  
GERRIDAE



FAMILIA:  
VELIIDAE



FAMILIA  
NAUCORIDAE



FAMILIA ELMIDAE



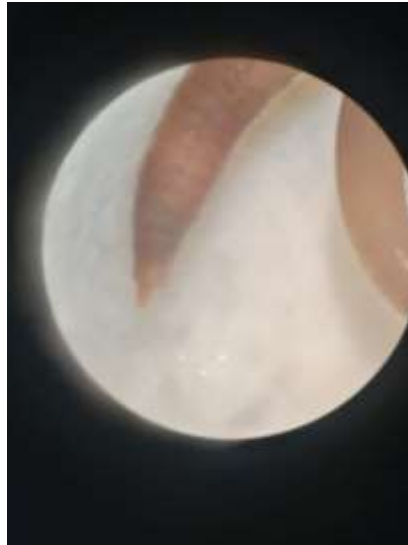
FAMILIA:  
BAETIDAE



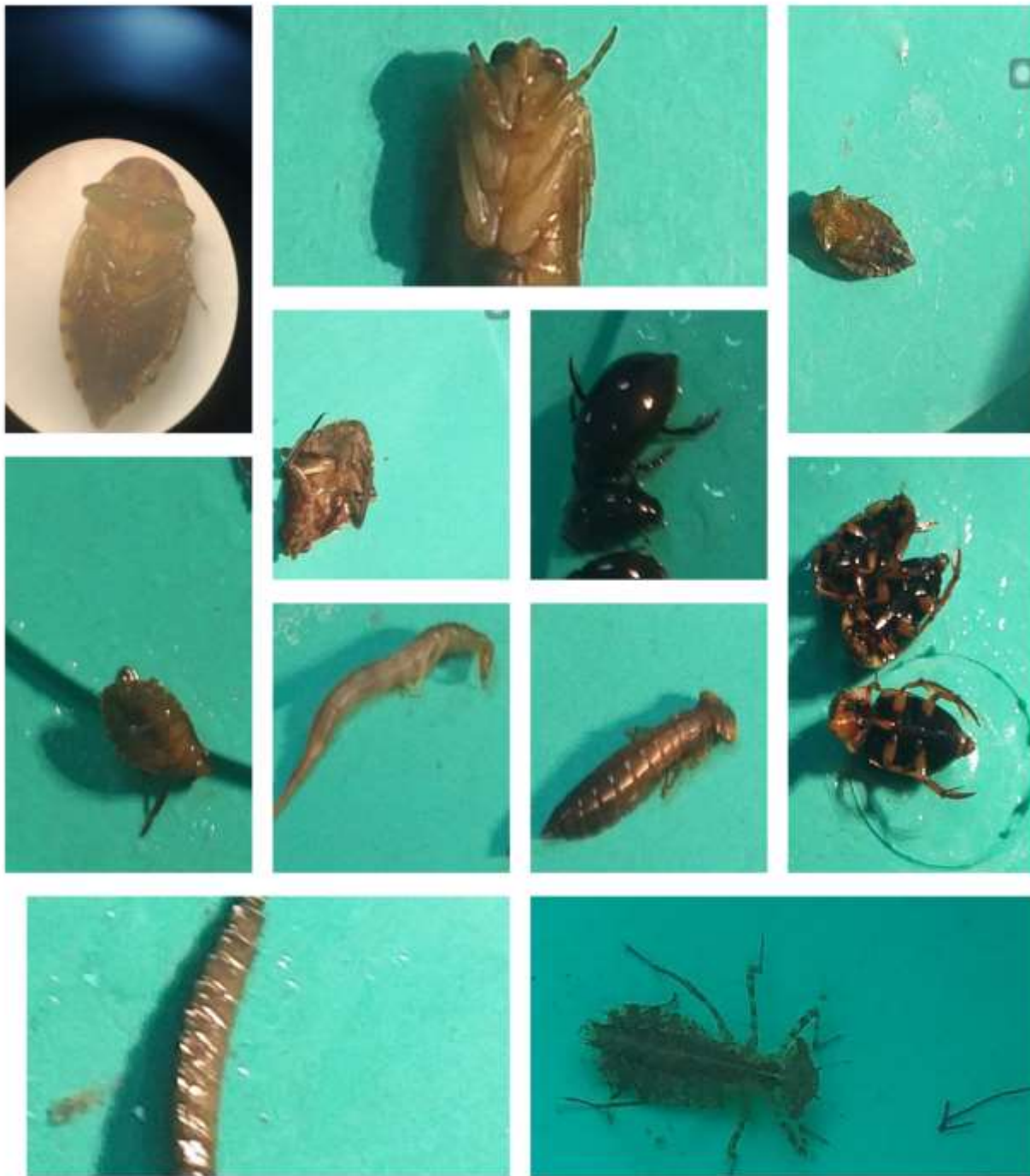
FAMILIA  
CHIRONOMIDAE



FAMILIA  
TUBIFICIDAE



## OTROS





## ANEXO 2 REGISTRO FOTGRAFICO











**Laboratorio Ambiental y de Alimentos**  
**Nancy Flórez García**  
Confiable a toda prueba



**IDEAM**  
INstituto de Investigación  
de Recursos Acuáticos y  
Forestales

---

COD: RD-104 Ver: 10 del 11 de Abril de 2022

**INFORME DE ENSAYOS**  
Nº 73131

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

EMPRESA : CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO  
DIRECCION : CALLE 41 #18F - 58  
CONTACTO : CARLOS GIRALDO RODELO  
CARGO : ESTUDIANTE

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

NOMBRE : AGUA SUPERFICIAL  
LUGAR DE MUESTREO : CHIREGUANA  
PUNTO DE MUESTREO : N: 9°22'15,93", O: 73°37'36,72"  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N.S  
PROC. DE MUESTREO : N.S

NIT : 1003242761  
CIUDAD : VALLEDUPAR  
TELÉFONO : 3003310993

HORA MUESTRA : 08:45  
MUESTREO : 2022/10/05  
RECEPCIÓN : 2022/10/05  
INICIO ENSAYOS : 2022/10/10  
FINAL ENSAYOS : 2022/10/13  
INFORME : 2022/10/13

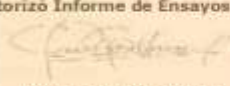
| Físicoquímico                                              |                                           |      |                |           |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|----------------|-----------|
| ANÁLISIS                                                   | MÉTODO - TÉCNICA                          | LCM  | FECHA ANÁLISIS | RESULTADO |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO): mg O <sub>2</sub> /L (A) | SM 5220 C - Reflujo cerrado - volumétrico | 20,0 | 2022/10/12     | 39,4      |
| Sólidos Suspensivos Totales mg/L (A)                       | SM 2540 D - Gravimétrico                  | 5,00 | 2022/10/07     | 123,0     |

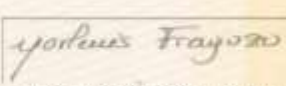
**NOTA:**  
La muestra a la que se refieren los resultados que figuran en este informe de ensayos, excepto la fecha de recepción, fecha de inicio de ensayo, fecha final de ensayo y fecha de informe han sido proporcionados por el cliente o un tercero de conformidad con las directrices del cliente. En consecuencia, los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la muestra y por tanto se refieren única y exclusivamente a dicha muestra. El Laboratorio no es responsable del origen o la fuente de donde ha sido extraída la muestra.

N.A: No Aplica      N.S: No Suministrado      N.R: Parametro no requerido por la especificación      (SNA) Subcontratado No Acreditado.  
(A): Acreditado      (S): Subcontratado      (LCM): Límite de cuantificación del método.

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.  
Resultado no controlado una vez entregado al cliente.  
El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.  
Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indique que el Laboratorio Subcontratado no le ha suministrado en el certificado de análisis entregado.  
Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.  
Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros indicados con (A) según Resolución Nº 0388 de 02 de mayo 2019 " por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLOREZ GARCIA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLOREZ GARCIA SAS., para producir información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionado con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.  
La información consignada en los campos de Información del Cliente e Información de la Muestra (Lugar de Muestreo, Punto de Muestreo, Tipo de Muestra y Fecha de Muestreo) es definida por el cliente. Adicionalmente para la matriz agua emvasada además los campos Lote y Registro Sanitario.  
Para los informes de ensayo que conlleven declaración de conformidad, esta será realizada basando en la regla de decisión "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple" conforme a lo descrito en la Guía para Establecer Reglas de Decisión en la Declaración de Conformidad. IAC-G8-09/2019.

**Autorizó Informe de Ensayos**

  
**DANIEL GÓMEZ GALINDO**  
 TP: PQ-07031  
 Coordinador Técnico de Laboratorio

  
**YORLENIS FRAGOZO CASTILLA**  
 Jefe de Informes

Fin de Informe

Firmado digitalmente por:  
FRAGOZO CASTILLA YORLENIS  
Fecha y hora: 20.10.2022  
11:24:13

Página 1 de 1

Teléfonos: 5732963 EXT 301 - 3145060908 E-mail: calidad.amb@labnancyflorez.com.co  
Sede Operativa: Cra 15 No 13C 72 Barrio Alfonso López - Tel: 5732963 EXT 300 - Valledupar



**Nancy Flórez García**  
Confiable a toda prueba



COD: RD-104 Ver: 10 del 11 de Abril de 2022

**INFORME DE ENSAYOS**  
Nº 73132

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

EMPRESA : CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO  
DIRECCIÓN : CALLE 81#18F - 58  
CONTACTO : CARLOS GIRALDO RODELO  
CARGO : ESTUDIANTE

NIT : 1003342761  
CIUDAD : VALLEDUPAR  
TELÉFONO : 3003310993

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

NOMBRE : AGUA SUPERFICIAL  
LUGAR DE MUESTREO : CHIRIGUANA  
PUNTO DE MUESTREO : N: 9°22'16,93", O: 73°37'30,48"  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N.S.  
PROC. DE MUESTREO : N.S.

CODIGO : 2210100812  
LOTE : N.A.  
REGISTRO INVIMA : N.A.

HORA MUESTRA : 09:08  
MUESTREO : 2022/10/05  
RECEPCIÓN : 2022/10/05  
INICIO ENSAYOS : 2022/10/10  
FINAL ENSAYOS : 2022/10/13  
INFORME : 2022/10/13

| Físicoquímico                                             |                                           |      |                   |           |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|-------------------|-----------|
| ANÁLISIS                                                  | MÉTODO - TÉCNICA                          | LOM  | FECHA<br>ANÁLISIS | RESULTADO |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O <sub>2</sub> /l (A) | SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico | 20,0 | 2022/10/13        | 33,2      |
| Sólidos Suspendedos Totales mg/L (A)                      | SM 2540 D - Gravimétrico                  | 3,00 | 2022/10/07        | 140,0     |

**NOTA:**

La muestra a la que se refieren los resultados que figuran en este informe de ensayos, excepto la fecha de recepción, fecha de inicio de ensayo, fecha final de ensayo y fecha de informe han sido proporcionados por el cliente a un tercero de conformidad con las directivas del cliente. En consecuencia, los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la muestra y por tanto se refieren íntegramente a dicha muestra. El Laboratorio no es responsable del origen o la fuente de donde fue obtenida la muestra.

N.A.: No Aplica N.S.: No suministrado N.R.: Parámetro no requerido por la especificación (SMA) Subcontratado no Acreditado

(A): Acreditado (S): Subcontratado (LOM): Límite de cuantificación del método

Todos resultados del laboratorio están respaldados por una marca que verifica su autenticidad.

Resultado no controlado una vez entregado al cliente.

El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

Cuando se coloque la sigla N.S. en la Ficha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado.

Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumple en cada caso los tiempos establecidos en el método.

Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros indicados con (A) según Resolución N° 0296 de 03 de mayo 2019 por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLÓREZ GARCÍA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLÓREZ GARCÍA SAS, para producir información cuantitativa, física, química y biológica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionados con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

La información consignada en los campos de Información del Cliente e Información de la Muestra (Lugar de Muestreo, Punto de Muestreo, Tipo de Muestra y Fecha de Muestreo) es obtenida por el cliente. Adicionalmente para la matriz agua emvasada además los campos Lote y Registro Sanitario.

Para los informes de ensayo que conlleven declaración de conformidad, esta será realizada basando en la regla de decisión "Declaración Binaria para una Regla de Aceptación Simple" conforme a lo descrito en la Guía para Establecer Reglas de Decisión en la Declaración de Conformidad BAC-08/09/2018.

**Autorizó Informe de Ensayos**

DANIEL GÓMEZ GALINDO  
TR: RD-07081  
Coordinador Técnico de Laboratorio

YORLENIS FRAGOZO CASTILLA  
Jefe de Informes

Fin de Informe

Firmado digitalmente por:  
FRAGOZO CASTILLA YORLENIS  
Fecha y hora: 20.10.2022  
11:24:14

Página 1 de 1

Teléfonos: 5732963 EXT 301 - 3145060908 E-mail: calidad.amb@absnancyflorez.com.co  
Sede Operativa: Cra 15 No 13c 72 Barrio Alfonso López - Tel: 5732963 EXT 300 - Valledupar



COD: RO-104 Ver: 10 del 11 de Abril de 2022

**INFORME DE ENSAYOS**  
N° 73130

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

EMPRESA : CARLOS ANDRÉS GIRALDO RODELO  
DIRECCIÓN : CALLE 41#18F - 58  
CONTACTO : CARLOS GIRALDO RODELO  
CARGO : ESTUDIANTE

NIT : 1003242761  
CIUDAD : VALLEDUPAR  
TELÉFONO : 3003310993

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

NOMBRE : AGUA SUPERFICIAL  
LUGAR DE MUESTREO : CHIRIGUANA  
PUNTO DE MUESTREO : N: 9°27'16,83", O: 73°37'63"  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N-5  
PROC. DE MUESTREO : N-5

CÓDIGO : 2210100810  
LOTE : N.A.  
REGISTRO INVIMA : N.A.

HORA MUESTRA : 08:25  
MUESTREO : 2022/10/05  
RECEPCIÓN : 2022/10/05  
INICIO ENSAYOS : 2022/10/10  
FINAL ENSAYOS : 2022/10/13  
INFORME : 2022/10/13

| Físicoquímico                                             |                                            |      |                   |           |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|-------------------|-----------|
| ANÁLISIS                                                  | MÉTODO - TÉCNICA                           | LCM  | FECHA<br>ANÁLISIS | RESULTADO |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O <sub>2</sub> /L (A) | SPH 3220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico | 20,0 | 2022/10/12        | 27,7      |
| Sólidos Suspensos Totales mg/L (A)                        | SPH 2540 D - Gravimétrico                  | 5,00 | 2022/10/07        | 131,0     |

**NOTA:**

La muestra a la que se refieren los resultados que figuran en este informe de ensayos, excepto la fecha de recepción, fecha de inicio de ensayo, fecha final de ensayos y fecha de informe han sido proporcionados por el cliente o un tercero de conformidad con las directrices del cliente. En consecuencia, los datos que figuran en el informe no constituyen una garantía de la representatividad de la muestra y por tanto se refieren única y exclusivamente a dicha muestra. El Laboratorio no es responsable del origen o la fuente de donde ha sido extraída la muestra.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado N.R: Parámetro no requerido por la especificación (SNA) Subcontratado no Acreditado.

(A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Límite de cuantificación del método

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.

Resultado no controlado una vez entregado al cliente.

El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.

No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.

Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado.

Para los ensayos microbiológicos y DBO<sub>5</sub>, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.

Laboratorio Acreditado por el IDEAM para los parámetros indicados con (A) según Resolución M-0398 de 02 de mayo 2019 \* por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLOREZ GARCÍA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLOREZ GARCÍA SAS., para producir información cuantitativa, física, química y biológica para los estudios de análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionado con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

La información consignada en los campos de Información del Cliente e Información de la Muestra (Lugar de Muestreo, Punto de Muestreo, Tipo de Muestra y Fecha de Muestreo), es definida por el cliente. Adicionalmente para la matriz agua envasada además los campos Lote y Registro Sanitario.

Para los informes de ensayo que contienen declaración de conformidad, esta será realizada basado en la regla de decisión "Declaración binaria para una Regla de Aceptación Simple" conforme a lo descrito en la Guía para Establecer Reglas de Decisión en la Declaración de Conformidad ILAC-G8:09/2019.

**Autorizó Informe de Ensayos**

DANIEL GÓMEZ GALINDO

TP: PQ-07031

Coordinador Técnico de Laboratorio

YORELIS FRAGOZO CASTILLA

Jefe de Informes

Fin de Informe

Firmado digitalmente por:  
FRAGOZO CASTILLA YORELIS  
Fecha y hora: 20.10.2022  
11:24:15

Página 1 de 1

Teléfonos: 5732963 EXT 301 - 3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co  
Sede Operativa: Cra 15 No 13c 72 Barrio Alfonso López - Tel: 5732963 EXT 300 - Valledupar

### Anexos 3 Calculo BMWP/COL PERIODO SECO

| Estación 1 sequia |         |                |         |
|-------------------|---------|----------------|---------|
| FAMILIAS          | Puntaje | N° de familias | Puntaje |
| FAMILIA 10        | 10      | 2              | 20      |
| Psephenidae       |         |                |         |
| Ptilodactylidae   |         |                |         |
| FAMILIA 9         | 9       | 1              | 9       |
| Hydrobiosidae     |         |                |         |
| FAMILIA 8         |         |                |         |
| Gerridae          | 8       | 4              | 32      |
| Philopotamidae    |         |                |         |
| Naucoridae        |         |                |         |
| Baetidae          |         |                |         |
| FAMILIA 6         |         |                |         |
| Elmidae           | 6       | 2              | 18      |
| Libellulidae      |         |                |         |
| FAMILIA 3         | 3       | 1              | 3       |
| Tipulidae         |         |                |         |
| FAMILIA 1         |         |                |         |
| Tubificidae       | 1       | 1              | 1       |
|                   |         | BMWP/COL       | 83      |

| Estación 2 sequia |         |            |         |
|-------------------|---------|------------|---------|
| FAMILIAS          | Puntaje | N° familia | Puntaje |
| FAMILIA 10        | 10      | 2          | 20      |
| Oligoneuridae     |         |            |         |
| Ptilodactylidae   |         |            |         |
| FAMILIA 9         | 9       | 2          | 18      |
| Philopotamidae    |         |            |         |
| Leptophlebiidae   |         |            |         |
| FAMILIA 8         | 8       | 1          | 8       |
| Gerridae          |         |            |         |
| FAMILIA 7         | 7       | 5          | 35      |
| Naucoridae        |         |            |         |
| Baetidae          |         |            |         |
| Leptohyphidae     |         |            |         |
| Hydropsychidae    |         |            |         |
| Calopterygidae    |         |            |         |
| FAMILIA 6         | 6       | 1          | 6       |
| Elmidae           |         |            |         |
| FAMILIA 3         | 3       | 1          | 3       |
| Tipulidae         |         |            |         |
|                   |         | BMWP/COL   | 90      |

### ESTACIÓN 3

| FAMILIAS          | Puntaje | N° de familias | Puntaje |
|-------------------|---------|----------------|---------|
| FAMILIA 10        | 10      | 2              | 20      |
| Psephenidae       |         |                |         |
| Ptilodactylidae   |         |                |         |
| FAMILIA 9         | 9       | 2              | 18      |
| Philopotamidae    |         |                |         |
| Polycentropodidae |         |                |         |
| FAMILIA 8         | 8       | 1              | 8       |
| Gerridae          |         |                |         |
| FAMILIA 7         | 7       | 6              | 42      |
| Baetidae          |         |                |         |
| Hydropsychidae    |         |                |         |
| Calopterygidae    |         |                |         |
| Naucoridae        |         |                |         |
| Dryopidae         |         |                |         |
| Baetidae          |         |                |         |
| FAMILIA 6         | 6       | 1              | 6       |
| Elmidae           |         |                |         |
| Familia 3         | 3       | 1              | 3       |
| Tipulidae         |         |                |         |
|                   |         | BMWP/COL       | 97      |

## Anexo 4 Calculo BMWP/COL PERIODO LLUVIA

| ESTACIÓN 1      |         |             |         |
|-----------------|---------|-------------|---------|
| FAMILIAS        | Puntaje | Nº familias | Puntaje |
| FAMILIA 10      | 10      | 3           | 30      |
| Psephenidae     |         |             |         |
| Oligoneuridae   |         |             |         |
| Hydraenidae     |         |             |         |
| FAMILIA 9       | 9       | 3           | 27      |
| Philopotamidae  |         |             |         |
| Leptophlebiidae |         |             |         |
| Dytiscidae      |         |             |         |
| FAMILIA 8       | 8       | 2           | 16      |
| Gerridae        |         |             |         |
| Veliidae        |         |             |         |
| FAMILIA 7       | 7       | 1           | 7       |
| Naucoridae      |         |             |         |
| FAMILIA 6       | 6       | 2           | 12      |
| Elmidae         |         |             |         |
| Libellulidae    |         |             |         |
| FAMILIA 3       | 3       | 1           | 3       |
| Tipulidae       |         |             |         |
|                 |         | BMWP/COL    | 95      |

## ESTACIÓN 2

| FAMILIAS          | puntaje | N° de familias | Puntaje |
|-------------------|---------|----------------|---------|
| FAMILIA 10        | 10      | 2              | 20      |
| Psephenidae       |         |                |         |
| Ptilodactylidae   |         |                |         |
| FAMILIA 9         | 9       | 2              | 18      |
| Leptophlebiidae   |         |                |         |
| Polycentropodidae |         |                |         |
| FAMILIA 8         | 8       | 2              | 16      |
| Gerridae          |         |                |         |
| Veliidae          |         |                |         |
| FAMILIA 7         | 7       | 3              | 21      |
| Hydropsychidae    |         |                |         |
| Baetidae          |         |                |         |
| Leptohyphidae     |         |                |         |
| FAMILIA 6         | 6       | 3              | 18      |
| Elmidae           |         |                |         |
| Libellulidae      |         |                |         |
| Coridalidae       |         |                |         |
| FAMILIA 1         | 1       | 1              | 1       |
| Tubificidae       |         |                |         |
|                   |         | BMWP/COL       | 94      |

### ESTACIÓN 3

| FAMILIAS          | Puntaje | Nº de familias  | Puntaje    |
|-------------------|---------|-----------------|------------|
| <b>FAMILIA 10</b> | 10      | 3               | <b>30</b>  |
| Perlidae          |         |                 |            |
| Oligoneuridae     |         |                 |            |
| Ptilodactylidae   |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 9</b>  | 9       | 3               | <b>27</b>  |
| Philopotamidae    |         |                 |            |
| Leptophlebiidae   |         |                 |            |
| Hydrobiosidae     |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 8</b>  | 8       | 1               | <b>8</b>   |
| Gerridae          |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 7</b>  | 7       | 5               | <b>35</b>  |
| Hydropsychidae    |         |                 |            |
| Calopterygidae    |         |                 |            |
| Naucoridae        |         |                 |            |
| Baetidae          |         |                 |            |
| Dryopidae         |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 6</b>  | 6       | 2               | <b>12</b>  |
| Elmidae           |         |                 |            |
| Libellulidae      |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 3</b>  | 3       | 1               | <b>3</b>   |
| <b>Tipulidae</b>  |         |                 |            |
| <b>FAMILIA 1</b>  | 1       | 1               | <b>1</b>   |
| Tubificidae       |         |                 |            |
|                   |         | <b>BMWP/COL</b> | <b>116</b> |

## Anexo 5 CALCULO DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA

### ICA SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PERIODO SECO

| Estación | Valor SST | Procedimiento                                                                                                                 | ICA    |
|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| E1       | 148       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 148)$ $ISST = 0.576$ $ICA = 0.2 \cdot 0.576 = 0.1152$ | 0.1152 |
| E2       | 151       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 151)$ $ISST = 0.567$ $ICA = 0.2 \cdot 0.567 = 0.1134$ | 0.1134 |
| E3       | 143       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 143)$ $ISST = 0.591$ $ICA = 0.2 \cdot 0.591 = 0.1182$ | 0.1182 |

### ICA pH PERIODO SECO

| Estación | Valor pH | Procedimiento                                                                   | ICA |
|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| E1       | 6.99     | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |
| E2       | 7.33     | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |
| E3       | 7.30     | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |

### ICA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA PERIODO SECO

| Estación | Valor C.E | Procedimiento                                                                                                  | ICA       |
|----------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| E1       | 162.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}162}$<br>$= 0.49794$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.49794 = 0.99785$     | 0.99785   |
| E2       | 160.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}160}$<br>$= 0.50623$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.50623 = 0.101246$    | 0.101246  |
| E3       | 161.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}161}$<br>$= 0.502094$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.502094 = 0.1004188$ | 0.1004188 |

### ICA OXIGENO DISUELTO PERIODO SECO

| Estación | Valor<br>mg/l OD | T<br>(°K) | Procedimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ICA     |
|----------|------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| E1       | 4.6              | 296.35 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{296.35} \right) - \left( \frac{66423080}{296.35^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{296.35^3} \right) - \left( \frac{862194900000}{296.35^4} \right) = 2.145$ $C = e^C = e^{-2.145} = 8.54$ $PS_{OD} = \frac{4.6 * 100}{8.54} = 58.86\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 58.86) = 0.5886$ $ICA = 0.2 * 0.5886 = 0.1177$  | 0.1177  |
| E2       | 4.4              | 296.65 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{296.35} \right) - \left( \frac{66423080}{296.35^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{296.35^3} \right) - \left( \frac{862194900000}{296.35^4} \right) = 2.145$ $C = e^C = e^{-2.145} = 8.54$ $PS_{OD} = \frac{4.4 * 100}{8.54} = 51.52\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 51.52) = 0.5152$ $ICA = 0.2 * 0.5152 = 0.1030$  | 0.10304 |
| E3       | 4.5              | 296.35 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{296.35} \right) - \left( \frac{66423080}{296.35^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{296.35^3} \right) - \left( \frac{862194900000}{296.35^4} \right) = 2.145$ $C = e^C = e^{-2.145} = 8.54$ $PS_{OD} = \frac{4.5 * 100}{8.54} = 52.69\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 52.69) = 0.5269$ $ICA = 0.2 * 0.5269 = 0.10538$ | 0.10538 |

$$\left( \frac{12438000000}{296.35^3} \right) -$$

$$\left( \frac{8621949000000}{296.35^4} \right) = 2.145$$

$$C = e^C = e^{-2.145} = 8.54$$

$$PS_{OD} = \frac{4.5 * 100}{8.54} =$$

$$52.69\%$$

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 *$$

$$52.69\% = 0.5269$$

$$ICA = 0.2 * 0.5269$$

$$= 0.10538$$

### ICA SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PERIODO DE LLUVIA

| Estación | Valor SST | Procedimiento                                                                                                                 | ICA    |
|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| E1       | 133       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 133)$ $ISST = 0.621$ $ICA = 0.2 \cdot 0.576 = 0.1242$ | 0.1242 |
| E2       | 140       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 140)$ $ISST = 0.6$ $ICA = 0.2 \cdot 0.6 = 0.12$       | 0.12   |
| E3       | 131       | $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ $ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 131)$ $ISST = 0.627$ $ICA = 0.2 \cdot 0.627 = 0.1254$ | 0.1254 |

### ICA pH PERIODO DE LLUVIA

| Estación | Valor pH | Procedimiento                                                                   | ICA |
|----------|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| E1       | 6.4      | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |
| E2       | 6.64     | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |
| E3       | 7.0      | Si $4 < \text{pH} \leq 8$ entonces $I_{pH} = 1$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 1 = 0.2$ | 0.2 |

### ICA CONDUCTINIDAD ELECTRICA PERIODO DE LLUVIA

| Estación | Valor C.E | Procedimiento                                                                                                | ICA     |
|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| E1       | 165.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}165}$<br>$= 0.485448$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.485448 = 0.0970$  | 0.0970  |
| E2       | 163.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}163}$<br>$= 0.493789$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.493789 = 0.09875$ | 0.09875 |
| E3       | 164.0     | $I_{CE} = 1 - 10^{-3,26+1,34*\text{Log}_{10}164}$<br>$= 0.489623$<br>$\text{ICA} = 0.2 * 0.489623 = 0.09792$ | 0.09792 |

---

**DQO En periodo de sequia**

---

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <p>Si <math>DQO \leq 20</math>, entonces<br/><math>IDQO = 0,91</math></p> <p>Si <math>20 &lt; DQO \leq 25</math>,<br/>entonces <math>IDQO = 0,71</math></p> <p>Si <math>25 &lt; DQO \leq 40</math>,<br/>entonces <math>IDQO = 0,51</math></p> <p>Si <math>40 &lt; DQO \leq 80</math>,<br/>entonces <math>IDQO = 0,26</math></p> <p>Si <math>DQO &gt; 80</math>, entonces<br/><math>IDQO = 0,125</math></p> | E1: $DQO = 36.3 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br><br>$0,51$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | E2: $DQO = 30.4 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br><br>$0,51$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | E3: $DQO = 25.8 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br><br>$0,51$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                               |                                                            |

---

### DQO En periodo de Lluvia

|                                                   |                               |                                                        |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Si $DQO \leq 20$ , entonces<br>$IDQO = 0,91$      | E1: $DQO = 39.4 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br>$0,51$ |
|                                                   |                               |                                                        |
| Si $20 < DQO \leq 25$ ,<br>entonces $IDQO = 0,71$ | E2: $DQO = 33.3 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br>$0,51$ |
|                                                   |                               |                                                        |
| Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO = 0,51$ | E3: $DQO = 27.7 \text{ mg/L}$ | Si $25 < DQO \leq 40$ ,<br>entonces $IDQO =$<br>$0,51$ |
|                                                   |                               |                                                        |
| Si $40 < DQO \leq 80$ ,<br>entonces $IDQO = 0,26$ |                               |                                                        |
|                                                   |                               |                                                        |
| Si $DQO > 80$ , entonces<br>$IDQO = 0,125$        |                               |                                                        |
|                                                   |                               |                                                        |

### ICA OXIGENO DISUELTO PERIODO DE LLUVIA

| Estación | Valor<br>mg/l<br>OD | T<br>(°K) | Procedimiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ICA     |
|----------|---------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| E1       | 4.7                 | 295.65 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{295.65} \right) -$ $\left( \frac{66423080}{295.65^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{295.65^3} \right) -$ $\left( \frac{862194900000}{295.65^4} \right) = 2.15$ $C = e^C = e^{2.15} = 8.58$ $PS_{OD} = \frac{4.7 * 100}{8.58} = 54.77\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 54.77\%)$ $= 0.5477$ $ICA = 0.2 * 0.5477 = 0.10954$ | 0.10954 |

---

|           |     |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |
|-----------|-----|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>E2</b> | 4.5 | 295.65 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{296.35} \right) -$ $\left( \frac{66423080}{296.35^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{296.35^3} \right) -$ $\left( \frac{862194900000}{296.35^4} \right) = 2.17$ $C = e^C = e^{2.15} = 8.58$ $PS_{OD} = \frac{4.5 * 100}{8.58} = 52.44\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 52.44\%)$ $= 0.5244$ $ICA = 0.2 * 0.5244 = 0.10488$ | 0.10488 |
|-----------|-----|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

---

|           |     |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |
|-----------|-----|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>E3</b> | 4.7 | 295.65 °K | $\ln C = -139.3441 + \left( \frac{157570.1}{295.65} \right) -$ $\left( \frac{66423080}{295.65^2} \right) + \left( \frac{12438000000}{295.65^3} \right) -$ $\left( \frac{862194900000}{295.65^4} \right) = 2.15$ $C = e^C = e^{2.15} = 8.58$ $PS_{OD} = \frac{4.7 * 100}{8.58} = 54.77\%$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * 54.77\%)$ $= 0.5477$ $ICA = 0.2 * 0.5477 = 0.10954$ | 0.10954 |
|-----------|-----|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|

---



## ANEXO 6 CALCULO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ICO

### PERIODO SECO

#### ICOSUS

$$\text{ICOSUS} = - 0,02 + 0,003 * \text{SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES}$$

| ESTACIÓN | SST      | ICOSUS                                                                                                                                                      |
|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | 148 mg/l | $\text{Icosus}_{E1} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E1} = - 0,02 + 0,003 * 148 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E1} = 0.424 \text{ mg/l}$ |
| E2       | 151 mg/l | $\text{Icosus}_{E2} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E2} = - 0,02 + 0,003 * 151 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E2} = 0.433 \text{ mg/l}$ |
| E3       | 143 mg/l | $\text{Icosus}_{E3} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E3} = - 0,02 + 0,003 * 143 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E3} = 0.409 \text{ mg/l}$ |

### PERIODO DE LLUVIA

#### ICOSUS

$$\text{ICOSUS} = - 0,02 + 0,003 * \text{SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES}$$

| ESTACIÓN | SST      | ICOSUS                                                                                                                                                                             |
|----------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | 133mg/l  | $\text{Icosus}_{E1} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E1} = - 0,02 + 0,003$<br>$\quad \quad \quad * 133 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E1} = 0,379 \text{ mg/l}$ |
| E2       | 140 mg/l | $\text{Icosus}_{E2} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E2} = - 0,02 + 0,003$<br>$\quad \quad \quad * 140 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E2} = 0,4 \text{ mg/l}$   |
| E3       | 131 mg/l | $\text{Icosus}_{E3} = - 0,02 + 0,003 * \text{SST}$<br>$\text{Icosus}_{E3} = - 0,02 + 0,003$<br>$\quad \quad \quad * 131 \text{ mg/l}$<br>$\text{Icosus}_{E3} = 0,373 \text{ mg/l}$ |

**ICOMI**  
**PERIODO SECO**

**ICOMI**

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

| ESTACIÓN | INDICES                                                                                                       | ICOMI                                                                        |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | $I_{Conductividad}$<br>$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$                                                    | $ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$   |
|          | $I_{Conductividad}$<br>$= 0,502053 (\mu S/cm)$                                                                |                                                                              |
|          | $I_{Dureza} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$<br>$I_{Dureza} = 0.06762 (g/m^3)$                                     | $ICOMI_{E1} = \frac{1}{3} * (0,502053 + 0.06762 + 0.08) = \mathbf{0.649673}$ |
|          | $I_{Alcalinidad}$<br>$= -0,25 + 0,005$<br>$* \text{Alcalinidad } (g/m^3)$<br>$I_{Alcalinidad} = 0.08 (g/m^3)$ |                                                                              |
|          |                                                                                                               |                                                                              |
| E2       | $I_{Conductividad}$<br>$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$                                                    | $ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$   |
|          | $I_{Conductividad}$<br>$= 0,49376 (\mu S/cm)$                                                                 |                                                                              |
|          | $I_{Dureza} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$<br>$I_{Dureza} = 0.06762 (g/m^3)$                                     | $ICOMI_{E2} = \frac{1}{3} * (0,49376 + 0.12383 + 0.147) = \mathbf{0.76459}$  |
|          |                                                                                                               |                                                                              |
|          |                                                                                                               |                                                                              |

$$I_{\text{Alcalinidad}}$$

$$= -0,25 + 0,005$$

$$* \text{Alcalinidad } (\text{g}/\text{m}^3)$$

$$I_{\text{Alcalinidad}} = 0.08 (\text{g}/\text{m}^3)$$

**E3**

$$I_{\text{Conductividad}}$$

$$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$$

$$I_{\text{Conductividad}}$$

$$= 0,497905 (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$$

$$I_{\text{Dureza}} = 0.0781 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$I_{\text{Alcalinidad}}$$

$$= -0,25 + 0,005$$

$$* \text{Alcalinidad } (\text{g}/\text{m}^3)$$

$$I_{\text{Alcalinidad}} = 0.076 (\text{g}/\text{m}^3)$$

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

$$\text{ICOMI}_{E3} = \frac{1}{3} * (0,497905 + 0.0781 + 0.076) = 0.2$$



## PERIODO DE LLUVIA

### ICOMI

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

| ESTACIÓN | INDICES                                                                                                                            | ICOMI                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | $I_{Conductividad}$<br>$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$                                                                         | $ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$   |
|          | $I_{Conductividad}$<br>$= 0,514551 \text{ (}\mu\text{S/cm)}$                                                                       |                                                                              |
|          | $I_{Dureza} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$<br>$I_{Dureza} = 0.05418 \text{ (g/m}^3\text{)}$                                           | $ICOMI_{E1} = \frac{1}{3} * (0,514551 + 0.05418 + 0.07) = \mathbf{0.638731}$ |
|          | $I_{Alcalinidad}$<br>$= -0,25 + 0,005$<br>$* \text{Alcalinidad (g/m}^3\text{)}$<br>$I_{Alcalinidad} = 0.07 \text{ (g/m}^3\text{)}$ |                                                                              |
|          |                                                                                                                                    |                                                                              |
| E2       | $I_{Conductividad}$<br>$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$                                                                         | $ICOMI = \frac{1}{3} * (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$   |
|          | $I_{Conductividad}$<br>$= 0,50621 \text{ (}\mu\text{S/cm)}$                                                                        |                                                                              |
|          | $I_{Dureza} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$<br>$I_{Dureza} = 0.106765 \text{ (g/m}^3\text{)}$                                          | $ICOMI_{E2} = \frac{1}{3} * (0,50621 + 0.106765 + 0.11) = \mathbf{0.722975}$ |
|          |                                                                                                                                    |                                                                              |

$$I_{\text{Alcalinidad}}$$

$$= -0,25 + 0,005$$

$$* \text{Alcalinidad } (\text{g}/\text{m}^3)$$

$$I_{\text{Alcalinidad}} = 0.11 (\text{g}/\text{m}^3)$$

**E3**

$$I_{\text{Conductividad}}$$

$$= 10^{\text{Log.I.conductividad}}$$

$$I_{\text{Conductividad}}$$

$$= 0,510376 (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log.I.Dureza}}$$

$$I_{\text{Dureza}} = 0.0786 (\text{g}/\text{m}^3)$$

$$I_{\text{Alcalinidad}}$$

$$= -0,25 + 0,005$$

$$* \text{Alcalinidad } (\text{g}/\text{m}^3)$$

$$I_{\text{Alcalinidad}} = 0.07 (\text{g}/\text{m}^3)$$

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

$$ICOMI_{E3} = \frac{1}{3} * (0,510376 + 0.0786 + 0.07) = \mathbf{0.219}$$



## PERIODO SECO

### ICOpH

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$$

| ESTACIÓN | pH        | ICOSUS                                                                                                                                                 |
|----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | pH = 6,99 | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E1} = \frac{e^{-31.08+3.45*6,99}}{1 + e^{-31.08+3.45*6,99}}$ $ICOpH_{E1} = 0.000944$ |
| E2       | pH = 7,33 | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E2} = \frac{e^{-31.08+3.45*7,33}}{1 + e^{-31.08+3.45*7,33}}$ $ICOpH_{E2} = 0.003044$ |
| E3       | pH = 7,30 | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E3} = \frac{e^{-31.08+3.45*7,30}}{1 + e^{-31.08+3.45*7,30}}$ $ICOpH_{E3} = 0.00274$  |

## PERIODO DE LLUVIA

### ICOpH

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$$

| ESTACIÓN | pH        | ICOSUS                                                                                                                                                  |
|----------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1       | pH = 6.4  | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E1} = \frac{e^{-31.08+3.45*6.4}}{1 + e^{-31.08+3.45*6.4}}$ $ICOpH_{E1} = 0.00012339$  |
| E2       | pH = 6.64 | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E2} = \frac{e^{-31.08+3.45*6.64}}{1 + e^{-31.08+3.45*6.64}}$ $ICOpH_{E2} = 0.0002823$ |
| E3       | pH = 7.0  | $ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$ $ICOpH_{E3} = \frac{e^{-31.08+3.45*7.0}}{1 + e^{-31.08+3.45*7.0}}$ $ICOpH_{E3} = 0.00977$     |

**r**