

**DETERMINACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) Y LOS INDICES
DE CONTAMINACION DEL AGUA (ICOS) PARA EL RIO SORORIA EN EL
MUNICIPIO DE LA JAGUA DE IBIRICO-CESAR**

DONALDO ANTONIO ROMERO BARRAGÁN

GILBERTO MARIO PADILLA BORJA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2019

**DETERMINACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) Y LOS INDICES
DE CONTAMINACION DEL AGUA (ICOS) PARA EL RIO SORORIA EN EL
MUNICIPIO DE LA JAGUA DE IBIRICO-CESAR**

DONALDO ANTONIO ROMERO BARRAGÁN

GILBERTO MARIO PADILLA BORJA

DIRECTOR:

LUIS HERNANDO MONTOYA ARMENTA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle primeramente a Dios porque me ha dado las fuerzas y gracias a ÉL he conseguido alcanzar este objetivo, a mis padres quienes han sido mi gran motor para lograr culminar mi carrera profesional, a mis hermanos que me han impulsado y han estado conmigo incondicionalmente en todos estos años de estudios, sacrificios, desilusiones, victorias... a ellos muchas gracias por creer en mí y ser parte de este anhelado sueño.

Expreso mis agradecimientos a mi director de proyecto Dr. Luis Montoya Armenta por su tiempo, paciencia y por sus instrucciones que hicieron posible la realización de este proyecto. A mi compañero de proyecto, Donaldo por su esfuerzo, dedicación y por ser de gran apoyo para poder terminar nuestra tesis.

Le agradezco también al laboratorio Bioindalamb y al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, ya que gracias a ellos fue posible determinar los parámetros necesarios para la realización de este trabajo de grado.

Gracias a mis pastores y a los hermanos de la Iglesia de Jesucristo Monte Moriah que han sido un gran apoyo en mi vida, muchas gracias por sus oraciones.

A mis docentes quienes me han impartido sus conocimientos con amor y paciencia para forjarme como profesional.

A todos muchísimas gracias...

GILBERTO MARIO PADILLA BORJA

Quiero darle las gracias a Dios, ya que me ha dado la sabiduría para poder optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Dar las gracias al director del proyecto al Dr. Luis Montoya que nos instruyo y nos dio los lineamientos para realizar dicho proyecto.

Y dar las gracias a mi familia, ya que ellos son los que me inspiran avanzar cada día, de seguir adelante.

Agradecerle al laboratorio Bioindalamb ya que gracias él fue posible la determinación de algunos parámetros fundamentales para la realización de este trabajo de grado, de igual manera al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

También a los docentes que día a día se esfuerzan en formar nuevos profesionales y a mis compañeros de estudios con los cuales se vivieron momentos de alegría y tristeza a lo largo de la carrera.

A todos muchas gracias Dios los Bendiga Siempre.

DONALDO A. ROMERO BARRAGAN

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL.....	18
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
4.2. MARCO TEÓRICO.....	21
4.2.1. Análisis de calidad de agua	21
4.2.2. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	21
4.2.3. Índice de calidad de agua (ICA).....	22
4.2.4. Índice de contaminación del agua.....	23
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	25
4.4. MARCO CONTEXTUAL.....	28
4.5. MARCO LEGAL.....	31
Tabla 2. Normatividad ambiental general asociada al proyecto.....	31
5. MARCO METODOLOGICO.....	33
5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	33
5.3. POBLACIÓN.....	33
5.4. MUESTRA.....	33
5.4.1. Identificación de estaciones de muestreo.....	33
5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	34
5.5.1. Fase I: Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial.....	34
5.5.1.1. Toma de muestras.....	34
5.5.2. Fase II: índice de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICOS) en el río Sororia.....	36

5.5.3. Fase III: Análisis de las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y la normatividad ambiental vigente

44

6. RESULTADOS	45
6.1. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.	45
6.1.1. Oxígeno disuelto.	46
6.1.2. Turbidez.	47
6.1.3. Sólidos suspendidos totales.	51
6.1.4. Potencial de hidrogeno (pH).	54
6.1.5. Alcalinidad.	54
6.1.6. Dureza.	55
6.1.7. Conductividad eléctrica.	56
6.1.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	57
6.1.9. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).	58
6.1.10. Coliformes totales.	59
6.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) Y LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS).	61
6.2.1. Índice de calidad de agua (ICA).	61
6.2.2. Índices de contaminación del agua (ICOS).	73
6.3. ANALISIS DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS.	91
6.3.1. Correlaciones entre parámetros.	91
6.3.2. Análisis de componentes principales (ACP).	93
6.3.3. Análisis con relación a la normatividad ambiental vigente.	96
7. CONCLUSIONES	101
8. RECOMENDACIONES.	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	104
ANEXOS	

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. valores permisibles de parámetros fisicoquímicos del agua	21
Tabla 2. Normatividad ambiental general asociada al proyecto.	31
Tabla 3. normatividad ambiental con relación al recurso hídrico.	32
Tabla 4. Métodos de análisis para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.	35
Tabla 5. Ponderación de variables involucradas en el cálculo del indicador.	38
Tabla 6. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA	40
Tabla 7. Clasificación de la calidad del agua según ICO.....	44
Tabla 8. Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados del río Sororia.	45
Tabla 9. Valores de turbidez obtenidos en la estación 1 en temporada de verano.	48
Tabla 10. Valores de turbidez obtenidos en la estación 2 en temporada de verano.	49
Tabla 11. Valores de turbidez obtenidos en la estación 2 en temporada de verano.	50
Tabla 12. Parámetros para el cálculo del ICA.	61
Tabla 13. Variables fisicoquímicas relacionadas con el ICA.	62
Tabla 14. porcentajes de saturación de oxígeno disuelto para las temporadas de invierno y verano.....	64
Tabla 15. Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno.	64
Tabla 16. Índice de oxígeno disuelto para las temporadas de invierno y verano. .	65
Tabla 17. Índice de sólidos suspendidos totales (SST) para las temporadas de invierno y verano.....	66
Tabla 18. Índice de la demanda química de oxígeno	67
Tabla 19. índice de conductividad eléctrica (CE) para las temporadas de invierno y verano.....	67

Tabla 20. Índice de pH.	68
Tabla 21. Índices de calidad del agua (ICA) del río Sororia.....	69
Tabla 22. valores de conductividad, alcalinidad y dureza en temporada de verano.	73
Tabla 23. valores de conductividad, alcalinidad y dureza en temporada de invierno.	73
Tabla 24. calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por mineralización.	78
Tabla 25. valores de oxígeno disuelto, DBO y coliformes totales en temporada de verano.	79
Tabla 26. valores de oxígeno disuelto, DBO y coliformes totales en temporada de invierno.	80
Tabla 27. calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por materia orgánica.	84
Tabla 28. valores de solidos suspendidos para temporada de verano.....	86
Tabla 29. valores de solidos suspendidos para temporada de invierno.	86
Tabla 30. calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por solidos suspendidos.....	87
Tabla 31. valores de pH para temporada de verano.	88
Tabla 32. valores de pH para temporada de invierno.....	89
Tabla 33. calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por pH.	90
Tabla 34. Correlaciones entre los parámetros analizados en las estaciones de muestreo, para las temporadas de invierno y verano.	92
Tabla 35. Matriz de componentes rotados.	93
Tabla 36. Varianza total explicada.....	94
Tabla 37. Valores máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a monitorear en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales por actividades de minería.	96
Tabla 38. Registro fotográfico.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la jagua de iberico.....	28
Figura 2. Ubicación del rio Sororia.....	29
Figura 3. Paisaje de conservación piedemonte sierra nevada de santa marta y Perijá.....	30

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Variación del oxígeno disuelto en las estaciones 1 y 2 con relación a la temperatura (verano).....	46
Gráfico 2. Variación del oxígeno disuelto en las estaciones 1 y 2 con relación a la temperatura (invierno).....	47
Gráfico 3. Valores de turbiedad en la estación 1 (verano).....	48
Gráfico 4. Valores de turbiedad en la estación 2 (verano).....	49
Gráfico 5. Valores de turbiedad en la estación 2 (invierno).....	50
Gráfico 6. Valores de turbiedad en la estación 2 (invierno).....	51
Gráfico 7. Valores de Solidos Suspendidos Totales para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno).....	53
Gráfico 8. Valores de pH para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno).....	54
Gráfico 9. Valores de alcalinidad para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano).....	55
Gráfico 10. Valores de dureza para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano).....	56
Gráfico 11. Valores de conductividad eléctrica para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano).....	57
Gráfico 12. Valores de DQO para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno).....	58
Gráfico 13. Valores de DBO ₅ para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno).....	59
Gráfico 14. Coliformes totales obtenidos en las estaciones 1 y 2 (verano).....	60
Gráfico 15. Coliformes totales obtenidos en las estaciones 1 y 2 (invierno).....	60
Gráfico 16. Índices de calidad de agua en temporada de verano.....	69
Gráfico 17. Índices de calidad de agua en temporada de invierno.....	70
Gráfico 18. Índice de calidad de agua (ICA) en las estaciones de monitoreo.....	71

Gráfico 19. ICA promedio y mínimo del río Sororia.....	72
Gráfico 20. Rangos del ICOMI en las temporadas de invierno y verano.	79
Gráfico 21. rangos del ICOMO en temporadas de verano e invierno.	85
Gráfico 22. Rangos del ICOSUS en las temporadas verano e invierno.....	88
Gráfico 23. Rangos de ICOpH para las temporadas verano e invierno.	91
Gráfico 24. Análisis de componentes principales.....	95
Gráfico 25. Análisis del potencial de hidrogeno en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible.	97
Gráfico 26. Análisis de DQO en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible.	98
Gráfico 27. Análisis de DBO ₅ en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible.	99
Gráfico 28. Análisis de solidos suspendidos totales en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible.	100

INTRODUCCION

La contaminación, es una de las problemáticas más incidente e impactante en la sociedad, acarreando un sinnúmero de consecuencias las cuales influyen en varios contextos como social, económico, cultural, etc. La producción de desperdicio de los procesos industriales amenaza la continuidad del ser humano sobre el planeta y si no se definen alternativas de soluciones viables a un corto plazo las afectaciones incrementaran de forma significativa. Ahora bien, la explotación minera, es una de las soluciones para suplir algunas necesidades del ser humano; sin embargo, ejecutar estas actividades y lograr mantener una relación de protección con el ambiente, es lo mínimo que el ser humano debe tener para garantizar la sostenibilidad de la especie en el medio. Para María Teresa Vélez (2014) “La sostenibilidad debe entenderse de lo global hacia lo regional local, y viceversa. Como en el universo, las conexiones ambiente sociedad son tejidos complejos en donde lo importante no son las escalas, sino lo que puede hacerse desde cada una de ellas para alcanzar el desarrollo sin desmejorar los elementos vitales para la subsistencia de la humanidad”

Uno de los recursos naturales renovables más imprescindible para el ser humano es el recurso hídrico, los cuales se vuelven indispensable para una comunidad en específico. El rio Sororia se encuentra en el centro del departamento del Cesar y es una fuente de agua superficial muy importante, se conforma desde su parte alta, de las Quebradas Sororia Norte y Sororia Sur, y recibe en el transcurso de su recorrido afluentes importantes como los Caños Manizales, Pojuiles, Caudaloso, Santiago y María Rosario, muy cercano a La Jagua de Ibirico.

Sin embargo, las actividades mineras y agrícolas que se vienen realizando dentro del área de esta cuenca se constituyen como factores de contaminación del agua de este rio. Según estudios realizados por la Universidad Nacional se estima que al alrededor de 214.571 hectáreas son utilizadas para la explotación del carbón, afectando a municipios como Jagua de Ibirico, Codazzi, Chiriguaná, Becerril y El

Paso. En el municipio de la Jagua de Ibirico se encuentra una de las principales minas de carbón a cielo abierto más grandes del Cesar, estas explotaciones han impactado de manera significativa a la flora, la fauna y a los cuerpos de agua que se encuentran en sus alrededores, por lo tanto, se hace necesario realizar estudios para poder obtener de manera clara la magnitud de la afectación que ha sufrido el río. (Barrios, 2014)

Este proyecto investigativo pretende llamar la atención de este aspecto y plantear algunas soluciones que permitan no perder de vista la idea de que la naturaleza y el ambiente lo constituyen recursos finitos que debemos utilizar con responsabilidad para poder garantizar a un largo plazo los estándares de calidad de vida de la humanidad.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Río Sororia es una de las más importantes fuentes hídricas del municipio de la Jagua de Ibirico, en la actualidad la población del municipio se abastece de estas aguas para el saneamiento básico, además las poblaciones cercanas utilizan este afluente para su sistema de riego de cultivos.

Actualmente, la Jagua de Ibirico es reconocida por ser uno de los principales municipios productores de carbón en el Cesar, siendo el Cesar uno de los departamentos con mayor potencial minero en Colombia. Este municipio cuenta con una de las minas de carbón a cielo abierto más grandes; la cual es perteneciente al grupo Prodeco que comprende las operaciones de la multinacional Glencore en Colombia, los impactos ambientales generados por la extracción de carbón a cielo abierto son evidentes, las sustancias y los residuos que son liberados en la mina han producido afectaciones en los cuerpos de agua superficiales ya que por acción de la escorrentía de aguas lluvias los desechos de estas van a parar a las fuentes hídricas, el aire también es impactado y la contaminación de este se ve reflejado en los problemas de salud.

Hoy en día, el río Sororia enfrenta un alto riesgo de contaminación, debido a los residuos provenientes de la explotación carbonífera en el área y al uso de sus aguas para cultivos industriales, que utilizan elementos tóxicos. Por tal razón el fundamento del objetivo de este proyecto se dirige en evaluar la calidad de la fuente, para esto se utilizará como herramienta de evaluación el índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICOS), estos índices reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y los índices de contaminación del agua (ICOS) permiten evaluar el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables fisicoquímicas, la

utilización de estos índices cada vez es más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Torres, 2008)

2. JUSTIFICACIÓN

Los escasos estudios y análisis realizados demuestran que alrededor del 14% de los ecosistemas del departamento del Cesar han sido impactados de forma negativa debido a la constante actividad minera ejecutada en dicha zona, y que el 71% de las solicitudes para seguir desarrollando dichas actividades, las cuales reposan en el Instituto Colombiano de Geología y Minería “Ingeominas”, afectarían otro 85% de los ecosistemas. Ahora bien, el recurso hídrico ha sido uno de los elementos más afectado por el cultivo de palma y la gran minería. Expertos demuestran que los problemas más frecuentes y de gran importancia son, “el manejo inadecuado de las aguas dentro de las minas, bombeo y vertimiento en fuentes naturales que contribuyen a su contaminación; afectación de rondas, cauces y redes de drenaje, desaparición de cuerpos de agua, como ciénagas y quebradas, y el desvío de ríos de acuerdo con las necesidades de las grandes compañías mineras. No obstante, el desvío del río Sororia dejó sin agua a las bocatomas construidas para regar los cultivos, como los de Palmeras La Alamosa, a su vez el agua contaminada ha deteriorado la calidad del suelo, la flora, la fauna y las actividades antrópicas”. (Pardo, 2011)

Según lo manifestado por Álvaro pardo en el año 2011, en un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Miguel Rivero Camacho, integrante del grupo de coordinadores de la mesa de trabajo de La Jagua de Ibirico, expresó que: “los ríos ya no tienen los peces de antes y que donde hay posibilidades de pescar, las compañías mineras prohíben que las comunidades lo hagan”

El presente proyecto investigativo se realizará con la finalidad de dar a conocer, el grado de afectación en la que se encuentra la fuente de agua superficial “rio Sororia”. Este procedimiento se llevará a cabo, debido a que diversas empresas mineras, específicamente tres compañías: Carbones de La Jagua S.A., Consorcio Minero Unido S.A. y Carbones El Tesoro S.A, han hecho uso del recurso hídrico

afectando el cauce del río, generando una gran problemática a la población municipal de San Juan del Cesar y comunidades aledañas; además de esto, los agricultores de la zona, han hecho en muchas ocasiones desviaciones del cauce para sus cultivos, lo cual hace que la problemática se incremente sustancialmente.

Se desconoce el grado de contaminación en la que se encuentra esta fuente de agua superficial, por lo que surge la necesidad de evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos y dar a conocer si estos cumplen con los valores mínimos permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente. Esta problemática, ha generado que se presente la necesidad de buscar alternativas o medidas de manejo que vayan en pro de la protección, conservación y sostenibilidad de este preciado recurso natural. En este sentido, con la presente investigación se pretende establecer el grado de afectación ambiental del río Sororia ubicado en el centro del departamento del Cesar, mediante el índice de contaminación ambiental (ICA) y los índices de contaminación (ICOS), siguiendo la metodología establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para identificar los tramos de mayor afectación.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar el índice de calidad de agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICOS) para el río Sororia en el municipio de la Jagua de Ibirico-Cesar

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Evaluar parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, DBO₅, DQO, alcalinidad, dureza) y microbiológicos (coliformes totales) del agua en la cuenca alta y baja del río Sororia.
- ✓ Establecer el índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICO'S) en el río Sororia.
- ✓ Analizar las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y la normatividad ambiental vigente.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Pinto L; Molina J. (2019). Evaluación de la Calidad del Agua del Río Calenturitas, en el Departamento del Cesar, Implementando el Índice de Calidad del Agua (ICA) y los Índices de Contaminación (ICOS) para Colombia

La presente investigación tiene como principal objetivo evaluar la calidad del agua del río Calenturitas implementando índices de calidad ICA y los índices de contaminación "ICO/Col", ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOpH.

En ese sentido, para realizar lo anterior se tomaron muestras del cuerpo de agua superficial y se llevaron al laboratorio para conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tales como temperatura, pH, conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos, dureza total, alcalinidad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, y así, posteriormente determinar y analizar los Índices de Calidad y los Índices de Contaminación de la fuente hídrica.

Caho C. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaimaral empleando las metodologías UWQI y CWQI distrito capital, Bogotá. Este artículo realiza una comparación espaciotemporal entre agosto de 2015 y abril de 2016, seleccionando cuatro puntos de muestreo y monitorizando parámetros fisicoquímicos en cuatro épocas diferentes, obteniendo como resultado que la mayoría de puntos muestreados y valorizados por el ICA-UWQI tuvieron una valoración de regular, y para el ICA-CWQI, de pobre. Lograron determinar que de las dos metodologías la UWQI es ideal para evaluar rápidamente algún uso específico del agua, pues permite inmediatez en la toma de decisiones, y que la CWQI es ideal para los estudios de evaluación espaciotemporal (C. Rodríguez, 2017). Será indispensable en nuestro proyecto debido a que se busca utilizar una metodología parecida con el fin de

encontrar los parámetros más importantes de análisis en materia de la calidad del agua.

González J. (2017) Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá, Bogotá Colombia. Esta investigación presenta la evaluación de indicadores de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO) en la microcuenca del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá se formularon métodos de identificación y análisis de factores físicos, químicos y biológicos en puntos claves de vertimientos, resultantes de actividades de desarrollo social y económico tanto en el sector rural como urbano del municipio, que permitieron establecer las condiciones del recurso hídrico y a su vez el fortalecimiento de bases teóricas para la implementación de proyectos de gestión y mejora de los recursos influenciando positivamente la biocenosis de la zona a futuro. Este proyecto nos aporta en la identificación de los índices de contaminación del agua de una forma detallada, ya que goza con una excelente información bibliográfica para la determinación de estos parámetros que son el eje principal en el proyecto.

Rubio et al. (2015) índice de calidad (ICA) de la presa la boquilla en chihuahua, México. Este artículo presenta la determinación de los índices de calidad en varios puntos de muestreo en la presa, teniendo en cuenta todos los parámetros fisicoquímicos indispensables para el análisis de estos indicadores de calidad, en las estaciones de muestreo se establecieron diferentes profundidades y épocas de invierno y verano, se logró establecer valoraciones positivas con respecto a la calificación del cuerpo de agua con valores entre 2,2 y 2,45 lo que mostro que el afluente tiene una excelente calidad. Será indispensable en nuestro proyecto, ya que adopta los diferentes puntos de muestreo y las estaciones de invierno-verano lo que nos permitirá analizar la calidad del agua en diferentes puntos del tramo estudiado, además en épocas del año diferentes.

Castro M; Almeida J; Ferrer J; Díaz D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. Este artículo nos presenta el desarrollo de una idea basada en conocimiento que contribuyo a mejorar los procesos de gestión del recurso hídrico. El estudio de los indicadores de calidad del agua durante el período de análisis (1980-2014), es fundamental para evaluar la incidencia de variables bióticas y abióticas sobre un fenómeno- ambiente-área tan relevante como la calidad del agua. Los autores analizaron reportes experimentales suministrados por publicaciones especializadas y organizaciones gubernamentales del orden nacional e internacional. El análisis de la información revisada permitió establecer que una de las metodologías más importante para determinar la calidad del agua es el uso de indicadores Ica: herramienta matemática que permite transformar grandes cantidades de datos en una escala de medición única. Este proyecto aportara una idea de datos estadísticos encaminados al estudio de los factores fisicoquímicos, indicadores de calidad de un afluente o cuerpo de agua determinado.

Observatorio Nacional de Cartagena de Indias (2014). Análisis del cálculo de indicadores de calidad de agua Cartagena, bolívar. El objetivo de este análisis es de conocer el estado de la calidad del agua del sistema de caños y lagos se utilizaron dos índices de calidad en los diferentes cuerpos de agua de la ciudad de Cartagena, se realizaron estudios para la preservación de la flora y la fauna marina con 7 de los parámetros establecidos redistribuyéndolos proporcionalmente para darle una clasificación al estado en el que se encontraba el cuerpo de agua. La gran mayoría de los cuerpos de agua investigados mostraron el estado pésimo de estos cuerpos de agua debido a las restricciones y su uso inadecuado. El uso de sistemas de monitoreo para el estudio de los cuerpos de agua nos permite tener estadísticamente valores de mayor exactitud, teniendo en cuenta la escogencia de parámetros de estudios que permitan tener resultados no solo en calidad de los ya conocidos, sino donde se evidencien otros factores relevantes que nos permitan identificar el verdadero estado del cuerpo de agua.

4.2. MARCO TEÓRICO.

4.2.1. Análisis de calidad de agua

Conocer la calidad del agua es una actividad de investigación realizada mediante una serie de análisis fisicoquímicos y microbiológicos que pueden ser realizados en campo o en laboratorio, uno de sus principales objetivos es detectar posibles riesgos para la salud asociados al agua para uso y consumo humano. Para realizar un análisis acerca de la calidad del agua, es necesario ejecutar los procedimientos que se encuentran a continuación:

4.2.2. Parámetros fisicoquímicos del agua.

El agua químicamente pura es un compuesto de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). A temperatura ambiente es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Sin embargo, el agua que nos encontramos en la naturaleza y de la que tenemos que partir para los distintos usos, difiere mucho del agua pura. En la siguiente tabla se mencionan algunos valores permisibles para parámetros fisicoquímicos del agua, con respecto a la normatividad ambiental colombiana.

Tabla 1. Valores permisibles de parámetros fisicoquímicos del agua.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	Unidades.	Valores permisibles según la normatividad. (mg/l)
pH	Unidades	5-9
Arsénico	As (mg/l)	0.1
Bario	Ba (mg/l)	5.0
Cinc	Zn (mg/l)	5.0
DBO5	Mg/l	1000
DQO	Mg/l	2000
Grasas y aceites	Mg/l	100
Sólidos suspendidos totales	SST Mg/l	800

Fuente. Adaptado de la Resolución 1074 de 1997 pág. 3 Colombia.

4.2.3. Índice de calidad de agua (ICA).

Yogendra & Puttaiah, (2008), Afirman que: “el índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces”. pag 39.

En la actualidad existen diferentes metodologías para evaluar la calidad de agua de un cuerpo; la diferencia entre una y otra radica en la forma de calcularse y en los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación del índice respectivo. En cuerpos de agua lénticos la aplicación de los ICA ha sido relativamente nueva: Pinilla (2010) desarrolló un índice limnológico para varios humedales de Bogotá empleando los parámetros y límites establecidos por la legislación colombiana para el agua potable; Castro D. y Pinilla G (2014) emplearon un índice similar, pero con una variación en los parámetros fisicoquímicos y biológicos adoptados. Esto demuestra que al igual que para los demás cuerpos de agua superficiales existen muchas metodologías para la determinación de la calidad de agua en humedales.

4.2.3.1. ICA UWQI-IDEAM

“El IDEAM en el ENA (Estudio Nacional del Agua) adoptó la metodología UWQI (Universal Water Quality Index), la cual fue desarrollada y aplicada con el fin de obtener un índice simplificado para establecer la calidad de agua usada para el consumo humano. Para el cálculo se emplea una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, cuya estructura de cálculo es la que se presenta en la siguiente formula”. Torres (2008).

$$UWQI = \sum_{I=1}^n W I$$

“Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y l_i es el subíndice del i -ésimo parámetro. El IDEAM (2015) adoptó seis variables básicas para la determinación del ICA en los cuerpos de agua: una de estado (oxígeno disuelto) y cinco de presión (demanda química de oxígeno –DQO–, conductividad eléctrica –CE–, sólidos suspendidos totales –SST–, pH y relación nitrógeno total / fosforo total)” (García, Vargas, Onofre, Aguirre & Sánchez, 2011).

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

4.2.4. Índice de contaminación del agua.

Ramírez A. Restrepo R. y Viña G. (1997) establecen en su artículo que existen “cuatro *índices de contaminación*, los cuales califican diferentes cualidades de las aguas y, por lo tanto, complementan el panorama ambiental de un curso hídrico, tal como lo demuestra la correlación próxima a cero entre ellos. Los mismos han sido propuestos a partir de la experiencia acumulada en programas de monitoreo hidrobiológicos, implementados por la industria petrolera en Colombia por más de seis años y en los resultados arrojados por estadísticas multivariadas. Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acordes con las concentraciones de las distintas variables y los usos potenciales de las aguas. Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trofia del sistema. Los índices son de fácil estimación (matemática o gráficamente) y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental existente, tal como se observa en la aplicación desarrollada. En virtud al reducido número de variables

involucradas, la aplicación de estos índices representa claras ventajas económicas, por lo que sería muy importante vincularlos a la legislación ambiental nacional”.

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).

Este índice “se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos” Ramírez A, (1997)

$$ICOMI=1/3 (I_{Conductividad}+I_{Dureza}+I_{Alcalinidad}). \quad (\text{ec. 1}).$$

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

Ramírez A, Restrepo R y Viña G (1997) afirman que “al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas

$$ICOMO=1/3 (I_{DBO}+I_{COLIFORMES}+I_{OXIGENO\%}) \quad (\text{EC.2})$$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).

Ramírez A, Restrepo R y Viña G (1997) manifiestan que: se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la demanda de oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias, podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos.

Índice de contaminación trófico (ICOTRO): se determina en esencia por la concentración del fósforo total.

4.3. MARCO CONCEPTUAL.

A continuación, se definen términos básicos utilizados para el desarrollo del proyecto:

- **Alcalinidad.** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3) (RAS, 2012).
- **Análisis de agua.** “Consiste en evaluar las propiedades de una matriz (agua natural superficial o subterránea, agua residual doméstica o industrial, agua tratada, agua marina), cuyos resultados deben ser de alta calidad y confiabilidad y adecuados al propósito para el cual fueron solicitados, ya que con base en esta información se toman importantes decisiones en materia de legislación, medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente las cuales están regidas por normas y regulaciones de carácter oficial. Las muestras recolectadas para los análisis deben ser relevantes y verdaderamente representativas, por lo tanto, el muestreo es el aspecto más crítico de un programa de monitoreo” (Barreto, 2009).
- **Análisis físico-químico del agua.** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (RAS, 2012).

- **Análisis microbiológico del agua.** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (RAS, 2012).
- **Calidad del agua.** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua (RAS, 2012).
- **Contaminación:** “es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares” (ley 23, 1973).
- **Coliformes totales:** Bacterias Gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (RAS, 2012).
- **Cuenca hidrográfica.** “Es una unidad de territorio donde las aguas fluyen naturalmente conformando un sistema interconectado, en el cual interactúan aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales” (IDEAM, 2003 pg. 17).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (RAS, 2012).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (RAS, 2012).

- **Indicador.** “Cualquier entidad biológica o proceso, o comunidad cuyas características muestren la presencia de las condiciones ambientales específicas o contaminación” (QuimiNet, 2004).
- **Muestra compuesta de agua.** Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestras (RAS, 2012).
- **Oxígeno disuelto.** Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L (RAS, 2012).
- **Potencial de hidrógeno (pH).** Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro (RAS, 2012).
- **Sólidos suspendidos totales (SST).** hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (sistema de información del medio ambiente, 2007).
- **Temperatura.** “La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y si las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces” (Nieto, 2015).
- **Turbiedad.** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión (RAS, 2012).
- **Vertimiento.** “Cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto, que, contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola,

minero, industrial, de servicios, aguas residuales a un cuerpo de agua, canal, al suelo o el subsuelo” (Decreto 901, 1997).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

El municipio de la jagua de ibirico se encuentra entre las coordenadas geográficas; latitud norte 9°24', longitud occidental 73°20'. Limita al norte con el municipio de Becerril, al sur con el municipio de Chiriguaná, al oriente con la república bolivariana de Venezuela y al occidente con el municipio del Paso y Chiriguaná; a 150 metros sobre el nivel del mar. Posee 4 tipos de bosque: bosque seco tropical, bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo premontano bajo y bosque húmedo premontano. su clima es cálido, con temperaturas que van desde los 24°C hasta los 40°C en las partes bajas, con una temperatura media de 28°C. el régimen de lluvias es bimodal (PNUD, 2015).

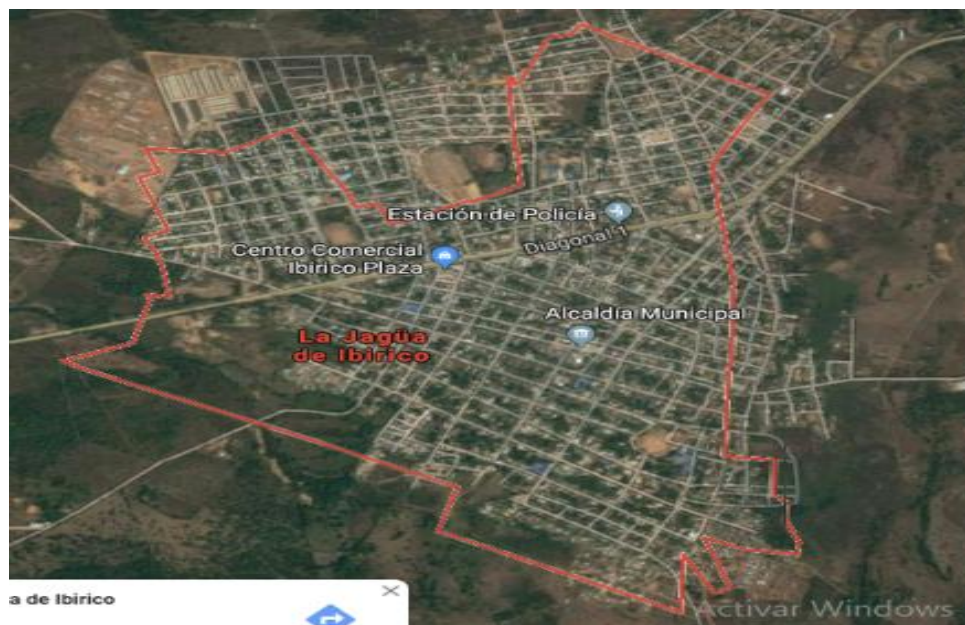


Figura 1. Ubicación geográfica de la jagua de Ibirico. Google maps (2019).

Las actividades principales en el municipio de la jagua de ibirico, son la minería y la agricultura, las cuales se describen a continuación (PNUD, 2015):

Minería: en el municipio se encuentra el tercer productor más grande de carbón térmico de exportación en Colombia: El Grupo Prodeco. Según el informe de sostenibilidad 2011, el 67,9% de la fuerza laboral provino de áreas cercanas a sus operaciones, ello equivale aproximadamente a 4.972 personas. Esta situación, contrasta con los bajos ingresos per cápita del 46,9% de la población, que vive con menos de un salario mínimo mensual legal.

Agricultura: los cultivos de mayor predominancia en la zona, son los de café, aguacate, plátano y cacao, de los cuales el café se comercializa principalmente a nivel nacional e internacional, el plátano a nivel local y departamental, mientras que, por su importancia como insumo, el cacao es vendido a través de aliados comerciales e internacionales.

La investigación de este proyecto se desarrollará en el río Sororia del departamento del cesar, el cual hace parte de la cuenca del río calenturitas. Está ubicado al noreste de Colombia, en el municipio de la Jagua de Ibirico entre las coordenadas 9°30'59.27" latitud norte, 73°18'20.74" longitud oeste y 9°34'49.93" latitud norte, 73°19'36.93" longitud oeste.



Figura 2. Ubicación del río Sororia. Google maps (2019).

El municipio de la Jagua de Ibirico está incluido en el sistema de áreas protegidas con 47.596 hectáreas protegidas, la gran diversidad de flora y fauna del municipio se ve representada por las 736 especies registradas, con especies endémicas y prioritarias para la conservación (SILAP, 2019).

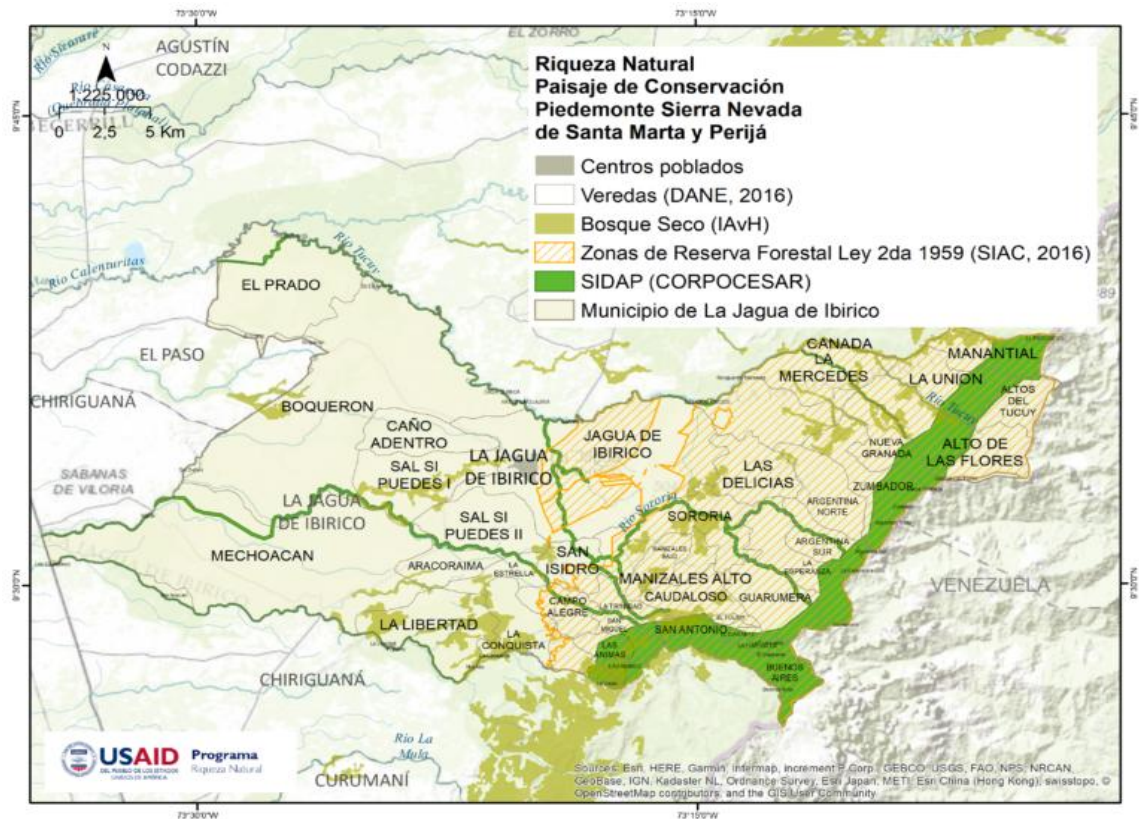


Figura 3. Paisaje de conservación piedemonte sierra nevada de Santa Marta y Perijá. Recuperado del programa de protección del municipio de la Jagua de Ibirico SILAP, 2019.

4.5. MARCO LEGAL

Para el desarrollo de los objetivos planteados, se tendrá en cuenta la normatividad general asociada y aplicable directamente al proyecto.

Tabla 2. Normatividad ambiental general asociada al proyecto.

TITULO	RESPONSABLE	FECHA	DESCRIPCION
Artículos 78, 79 y 80	Constitución política de Colombia	1991	Establece que la ley regulará el control de la calidad de los bienes y servicios prestados a las comunidades, mediante la protección de la diversidad e integridad del ambiente para conservar las áreas ecológicamente importantes. Además, la misma planificará el aprovechamiento y manejo de los recursos para garantizar su conservación, restauración o sustitución, controlando los factores de deterioro ambiental
Ley 23	Congreso de Colombia	1973	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones

Ley 99	Congreso de Colombia	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811	Presidente de la república de Colombia	1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

nota: elaborado por autores, 2019.

Tabla 3. Normatividad ambiental con relación al recurso hídrico.

TITULO	RESPONSABLE	FECHA	DESCRIPCION
Resolución 1074	Departamento técnico administrativo del medio ambiente	1997	Se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos. Concentraciones máximas permisibles para verter a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público.
Resolución 0631	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	2015	Establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y otras disposiciones.

Nota: elaborado por autores, 2019.

5. MARCO METODOLOGICO

5.1. LINEA DE INVESTIGACION.

Sostenibilidad y gestión ambiental.

5.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El estudio propuesto sigue los lineamientos del tipo de investigación descriptiva, ya que busca desarrollar una imagen o una representación específica de las propiedades, características y los rasgos más importantes de un estudio; además de ser de tipo explicativo, ya que no solo describe el problema o fenómeno observado, sino que se acerca y busca explicar las causas que originaron la situación analizada.

5.3. POBLACIÓN.

La población de estudio del proyecto es representada por el río Sororia y los habitantes del municipio de la Jagua de Ibirico de 21.300 habitantes aproximadamente, los cuales se abastecen del afluente.

5.4. MUESTRA.

5.4.1. Identificación de estaciones de muestreo.

Al momento de seleccionar los diferentes puntos de muestreo en el cauce del río Sororia, se tendrán en cuenta variables como: proximidades de confluencias y descargas, rutas de acceso, actividad antrópica en la zona, distancia a las orillas, profundidad del agua en el punto de muestreo. Con base en lo anterior, se seleccionaron dos puntos de muestreo del agua:

- **Primera estación:** se localiza aguas arriba, cerca de la bocatoma del acueducto del municipio de la Jagua de Ibirico, con coordenadas geográficas 9°30'55.0" N, 73°18' 20.6" E. Se establece este punto debido a la baja intervención antrópica en este tramo del río.

- **Segunda estación:** está localizado aguas abajo, en inmediaciones al puente en la vía La Jagua-Becerril, con coordenadas geográficas 9°34'21.1" N, 73°19' 23.5" E. La ubicación estratégica de este punto se tomó porque se encuentra en las proximidades de la zona urbana del municipio de la Jagua de Ibirico. Otro factor que se tuvo en cuenta para seleccionar este punto, es que queda en el tramo del río que está más cerca de la mina PRODECO y debido a las actividades de explotación del carbón que realizan se generan desechos que por escorrentía de las aguas lluvia se depositan en el río.

5.5. DESARROLLO METODOLÓGICO.

5.5.1. Fase I: Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua superficial.

5.5.1.1. Toma de muestras.

Las muestras se realizarán en las estaciones establecidas anteriormente y se llevarán a cabo de forma manual. Para las muestras a las que se realizará un análisis fisicoquímico, se utilizarán frascos plásticos de dos litros. En cada punto de muestreo se llenarán ocho litros (cuatro frascos), cuatro litros (dos frascos) en la época de sequía y cuatro litros (dos frascos) en la época de lluvia. Para las muestras en las que se llevará a cabo el análisis microbiológico, se utilizará un frasco de vidrio de 500 ml. Las muestras se analizarán cada una de manera individual y se tomarán en dos épocas del año (época de sequía y época de lluvias), de acuerdo a lo estipulado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la toma de muestras.

5.5.1.2. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En cada estación de muestreo se realizarán mediciones in situ de variables fisicoquímicas (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) con un equipo multiparámetro YSI Pro-DSS, siguiendo los protocolos del Standard Methods establecidos para cada uno de los parámetros a evaluar.

Posterior a la recolección de las tomas de muestras en el río Sororia, estas se llevaron a laboratorio para determinar los parámetros físico-químicos restantes y microbiológicos básicos necesarios para realizar el análisis estadístico y calcular el índice de Calidad del Agua (ICA) y los Índices de Contaminación del Agua (ICO's).

Luego de realizarse la toma de muestras estas serán preservadas y llevadas el mismo día de su recolección al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular Del Cesar y al laboratorio especializado Bioindalamb en la ciudad de Valledupar para realizar el análisis. Se realizarán estudios de parámetros físicos, químicos y microbiológicos como: turbiedad, sólidos suspendidos totales, alcalinidad, DBO₅, DQO y dureza, de las muestras tomadas en el punto 1 y en el punto 2 en las épocas de sequía e invierno.

Tabla 4. Métodos de análisis para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

PARAMETROS	METODO DE ANALISIS
<i>pH</i>	Se determinarán de forma in situ con el equipo multiparámetro YSI Pro-DSS, siguiendo los protocolos del Standard Methods establecidos para cada uno de los parámetros a evaluar.
<i>Temperatura</i>	
<i>Oxígeno disuelto</i>	
<i>Conductividad eléctrica</i>	
<i>Turbidez</i>	Será analizada mediante un turbidímetro HANNA Instruments previamente calibrado, en las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad popular del Cesar.

<i>Sólidos suspendidos totales</i>	Se determinarán mediante filtración de un volumen determinado (300 a 500 ml) de muestra bruta, previamente homogeneizada, utilizando un filtro con un diámetro de poro de 0,45 µm. El filtro, que posteriormente es secado a 105°C durante una hora, se tara hasta obtener peso constante y se almacena para posteriores análisis (Montoya, 2013).
<i>Dureza</i>	se determinaron de acuerdo a los protocolos establecidos por el IDEAM en el laboratorio especializado Bioindalamb de la ciudad de Valledupar.
<i>Alcalinidad</i>	
<i>DBO₅</i>	
<i>DQO</i>	
<i>Coliformes totales</i>	

Nota: elaborado por autores, 2019.

5.5.2. Fase II: índice de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICOS) en el río Sororia.

Obtenidos los datos de campo y habiendo determinado las diferentes características fisicoquímicas y microbiológicas del agua en laboratorio, se hace necesario una etapa de análisis de datos o resultados; En esta etapa se calcula el índice de calidad del agua (ICA), los indicadores de contaminación en el agua (ICOS), los indicadores de contaminación en los sólidos en suspensión y las técnicas estadísticas empleadas.

a. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables (IDEAM, 2011)

Metodología de cálculo ICA. El índice se calcula teniendo en cuenta la concentración de cinco variables y la fórmula de cálculo es:

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

Donde:

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

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

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

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

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

$$n_{jt} = \sum_{k=1}^m \left[\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right]$$

Donde:

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

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

Tabla 5. Ponderación de variables involucradas en el cálculo del indicador.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	PONDERACIÓN
Oxígeno Disuelto, OD.	% Saturación	0,2
Sólidos Suspendidos Totales, SST.	mg/L	0,2
Demanda Química de Oxígeno, DQO.	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,2
Ph	Unidades de pH	0,2

Nota : recuperado de el instituto de hidrologia, metereologia y estudios ambientales IDEAM, 2011.pg 3.

Cálculo de cada variable.

- **Oxígeno disuelto (OD):** Esta variable tiene el papel biológico define la presencia o ausencia de especies acuáticas. Se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD} :

$$PS_{OD} = \frac{Ox.100}{C_p}$$

Donde:

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

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

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

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,001 \cdot PS_{OD})$$

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

$$I_{OD} = 1 - (0,001 \cdot PS_{OD} - 1)$$

- **Sólidos suspendidos totales (SST).** Presencia de sólidos en suspensión en una fuente hídrica indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente, la presencia de estos se relaciona con erosión, vertimientos de industrias, extracción de materiales y disposición inadecuada de residuos, está relacionada con la turbiedad. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula:

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

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

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

- **Demanda química de oxígeno (DQO).** Denota la presencia de sustancias químicas susceptibles a oxidación en condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica. Se determina mediante las siguientes relaciones:

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

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

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

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

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

- **Conductividad eléctrica (C.E.).** Se relaciona con la suma de los cationes y aniones determinada en fórmula química, reflejada la mineralización. Se calcula mediante la siguiente expresión:

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

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

- **Potencial de hidrogeno (pH).** Mide la acidez, valores extremos que pueden afectar la flora y la fauna acuática (IDEAM, 2011)

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

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

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

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

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

Tabla 6. Calificación de la calidad del agua según los valores del ICA.

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

Nota: recuperado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011, pág. 8.

b. Índices de contaminación del agua (ICOS).

Por medio de la información adquirida donde se especifican los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los diferentes puntos de muestreo en el Río Sororia, se pueden obtener cada uno de los índices de contaminación: por mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y pH (Ramírez, s.f.).

- **Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).** Agrupa la conductividad que expresa el contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que se expresa a través del contenido de los aniones de carbono y bicarbonato. Este índice (ICOMI) se define en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, por el contrario, los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización (Arias, s.f.).

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

Dónde:

$$I_{Conductividad} = \text{Log}_{10} I_{Conductividad} = 3.26 + 1.34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{Conductividad} = 10^{\text{Log} I_{Conductividad}}$$

Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen un índice de conductividad igual a 1.

$$I_{Dureza} = \text{Log}_{10} I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} \text{Dureza} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)$$

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

Durezas mayores a 100 mg/L tienen un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/L tiene un índice = 0

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad}(\text{mg}/\text{L})$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un índice de =1

Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un índice de =0

- **Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).** Se obtiene a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua (Arias, s.f.).

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO5} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{Oxigeno})$$

Dónde:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.07\text{Log}(DBO5)$$

$$\text{Si } DBO5 > \frac{30\text{mg}}{L}, \text{ entonces } I_{DBO5} = 1$$

$$\text{Si } DBO5 < \frac{2\text{mg}}{L}, \text{ entonces } I_{DBO5} = 0$$

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1.44 + 0.56\text{Log}(Coliformes\ Totales)$$

$$\text{si } Coliformes\ Totales > 20000 \frac{NMP}{100\text{mL}}, \text{ entonces } I_{Coliformes\ Totales} = 1$$

$$\text{si } Coliformes\ Totales < \frac{500NMP}{100\text{mL}}, \text{ entonces } I_{Coliformes\ Totales} = 0$$

$$I_{Oxigeno} = 1 - 0.01\text{ Oxigeno}(\%)$$

$$\text{si } \text{oxigeno } (\%) > 100\%, \text{ entonces } I_{Oxigeno} = 0$$

Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100% se sugieren la siguiente ecuación (Arlin Valverde-Solis, s.f.)

$$I_{\text{oxigeno}} = 0.001 \text{ oxigeno } (\%) - 1$$

- **Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).** Este índice trabaja con la concentración de sólidos suspendidos que se definen como partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución. (Arias, s.f.)

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{ Sólidos Suspendidos}(\text{mg/L})$$

Sólidos Suspendidos > 340 mg/L, tiene un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < 10 mg/L tiene un ICOSUS = 0

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

$$ICOpH = \frac{e^{-3.108+3.45pH}}{1 + e^{-3.108+3.45pH}}$$

Si pH es menor a 7 entonces pH' = 14 – pH y se reemplazar pH' en la ecuación anterior.

Tabla 7 Clasificación de la calidad del agua según ICO.

VALOR DEL ICO	CLASIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
0,0 – 0,2	Muy baja Contaminación
0,2 – 0,4	Baja Contaminación
0,4 – 0,6	Media Contaminación
0,6 – 0,8	Alta Contaminación
0,8 – 1,0	Muy Alta Contaminación

Nota: recuperado de la **Corporación** Autónoma Regional del Valle Del Cauca (2017)

5.5.3. Fase III: Análisis de las relaciones estadísticas presentadas entre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y la normatividad ambiental vigente

- **Análisis estadístico:** para la determinación de las correlaciones entre los parámetros de temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, turbiedad, dureza, alcalinidad, DBO₅, DQO, conductividad eléctrica y el análisis de sus componentes principales (ACP), se realizó mediante el software SPSS 19.0, utilizando una significancia de significancia $p \leq 0.05$.
- **Normatividad ambiental vigente:** se realizará un análisis con relación a los valores límites permisibles establecidos en la resolución 631 de 2015, en materia de vertimientos a fuentes de agua superficial, comparados con los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua del río Sororia, determinando que valores se encuentran en los rangos y cuales se encuentran fuera de ellos, para dar una calificación apropiada del estado del cuerpo de agua.

6. RESULTADOS

6.1. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.

Se realizó la toma de muestras estableciendo dos estaciones en el río Sororia, en las temporadas de invierno y verano. La estación 1, fue localizada en la cabecera del río, mientras que la estación 2 se situó en cercanías al municipio la Jagua de Ibirico, midiendo en estas los parámetros de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto. Tomadas las muestras, estas fueron enviadas al laboratorio Bioindalamb situado en la ciudad de Valledupar, en donde se obtuvieron los resultados para los parámetros de coliformes totales, DQO, DBO₅, dureza y alcalinidad; se calculó el valor de los sólidos suspendidos y la turbidez en el laboratorio de la universidad popular del Cesar. En la siguiente tabla, se encuentran los resultados de los parámetros evaluados:

Tabla 8. Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados del río Sororia.

Época	Estación	Temperatura del agua °C	pH	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Turbidez (UNT)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Dureza (mg CaCO ₃ /L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes Totales (UFC/100ml)
Verano 2018-04-08	1	25,0	8,87	150,0	8,32	43,12	38,00	112	98,5	6,0	21,0	50000
	2	25,6	8,39	149,0	7,24	20,80	8,00	134	111,0	21,0	46,0	1200000
	Promedio	25,3	8,63	149,5	7,78	31,96	23,00	123	104,8	13,5	33,5	625000
Invierno 2018-05-20	1	26,0	8,60	146	8,15	2,52	1,52	105	95	7,5	26,0	200000
	2	26,4	8,75	128	6,71	3,50	1,54	90	90	24,0	48,0	4000000
	Promedio	26,2	8,68	137	7,43	3,01	1,53	97,5	92,5	15,8	37,0	2010000

Nota: elaborado por autores, 2019.

6.1.1. Oxígeno disuelto.

Las estaciones 1 y 2 arrojaron valores de 8,32 y 7,24 (mg/L) respectivamente para la temporada de verano, mientras que los valores obtenidos en las estaciones para invierno fueron de 8,15 y 6,71 (mg/L). Se considera que el agua es apta para el desarrollo de vida, puesto que se obtuvieron concentraciones superiores a 4mg/L, el cual es un límite establecido para el desarrollo de especies como peces (sistema de información del medio ambiente, 2007). El oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la temperatura, por lo que al aumentar esta, el oxígeno disuelto disminuye. En las siguientes gráficas, se observa el comportamiento del oxígeno disuelto en mg/l con respecto a la temperatura del agua, en las estaciones 1 y 2 de las temporadas verano e invierno:

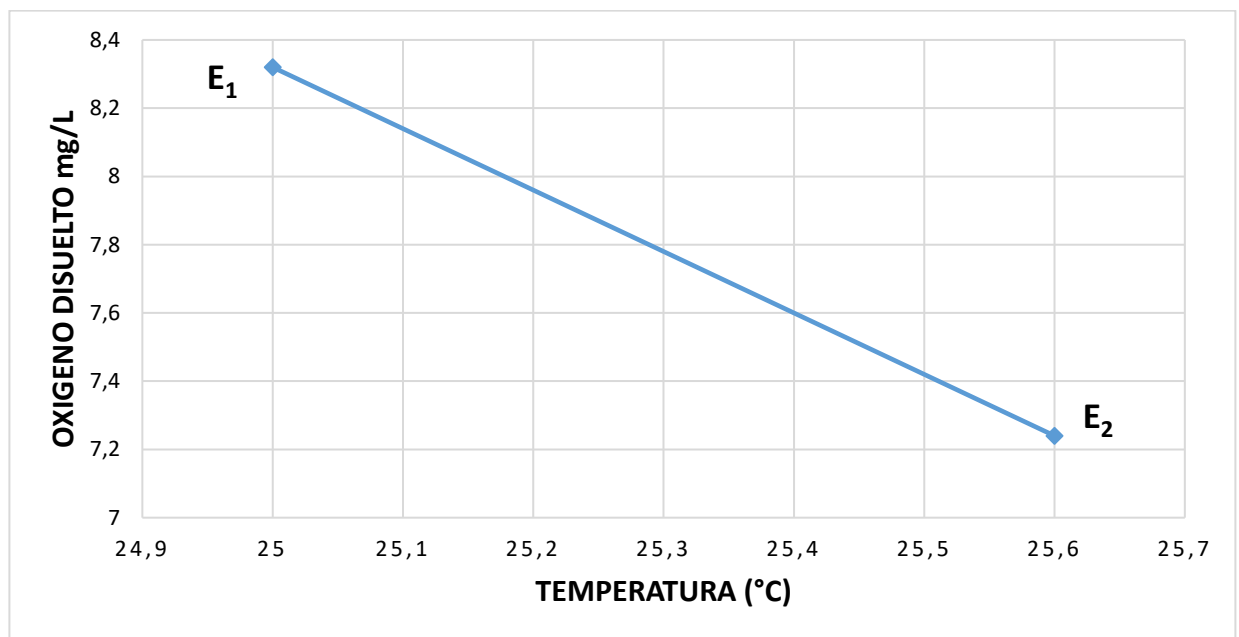


Gráfico 1. Variación del oxígeno disuelto en las estaciones 1 y 2 con relación a la temperatura (verano). Autores, (2019).

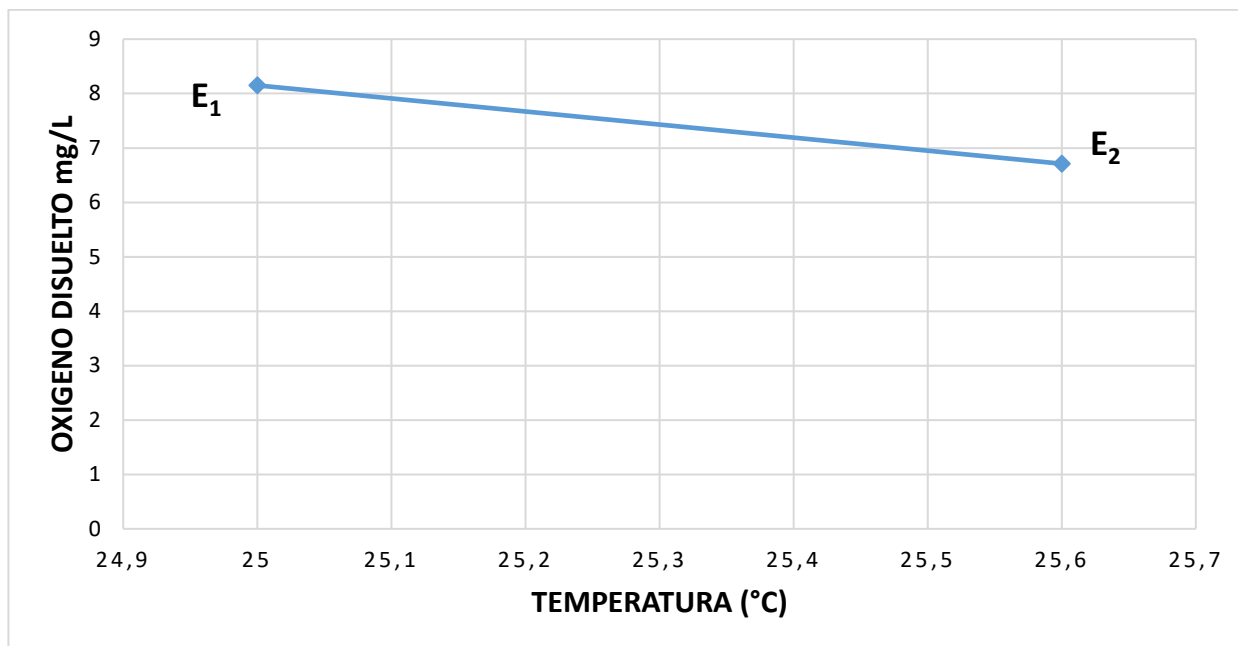


Gráfico 2. Variación del oxígeno disuelto en las estaciones 1 y 2 con relación a la temperatura (invierno). Autores, 2019.

6.1.2. Turbidez.

Se analizaron 5 valores de turbidez para las estaciones 1 y 2 en las épocas invierno y verano, calculando el promedio en cada una de ellas. los resultados obtenidos para las estaciones en verano, fueron de 43,12 (UNT) para la primera estación y de 20,8 (UNT) para la segunda; en la temporada de invierno, se obtuvieron valores de 2,52 y 3,30 (UNT). Los resultados obtenidos, indican que el agua no es apta para el consumo humano, puesto que supera el valor de 2 unidades nefelométricas de turbiedad estipuladas en la resolución 2115 de 2007.

6.1.2.1. verano. Los resultados encontrados en las estaciones de la temporada, presentaron un valor mayor en la zona aguas arriba y hubo una disminución en la zona cercana al municipio; esto puede ser asociado al aumento en la velocidad de flujo para la estación 2.

- **Estación 1:**

Tabla 9. Valores de turbidez obtenidos en la estación 1 en temporada de verano.

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO
Turbiedad 1	46,1 NTU
Turbiedad 2	44,9 NTU
Turbiedad 3	41,2 NTU
Turbiedad 4	41,7 NTU
Turbiedad 5	41,7 NTU
Total	215,6 NTU
Promedio	43,12 NTU

Nota: elaborado por autores, 2019.

En la siguiente gráfica, se observa la curva de turbiedad para la cabecera del rio en la temporada de verano:

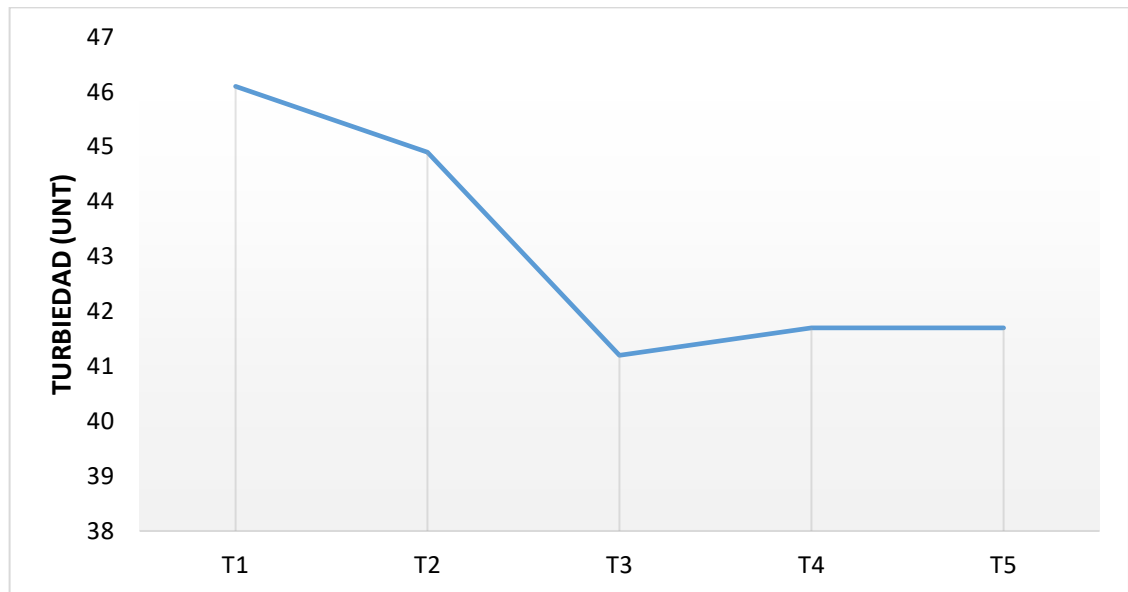


Gráfico 3. Valores de turbiedad en la estación 1 (verano). Autores, 2019.

- **Estación 2:**

Tabla 10. Valores de turbidez obtenidos en la estación 2 en temporada de verano.

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO
Turbiedad 1	22,0 NTU
Turbiedad 2	18,7 NTU
Turbiedad 3	20,9 NTU
Turbiedad 4	21,3 NTU
Turbiedad 5	21,1 NTU
Total	104 NTU
Promedio	20,8 NTU

Nota: elaborado por autores, 2019.

Con base en los resultados obtenidos, se realiza la siguiente curva de turbiedad para la estación 2 de la temporada verano:

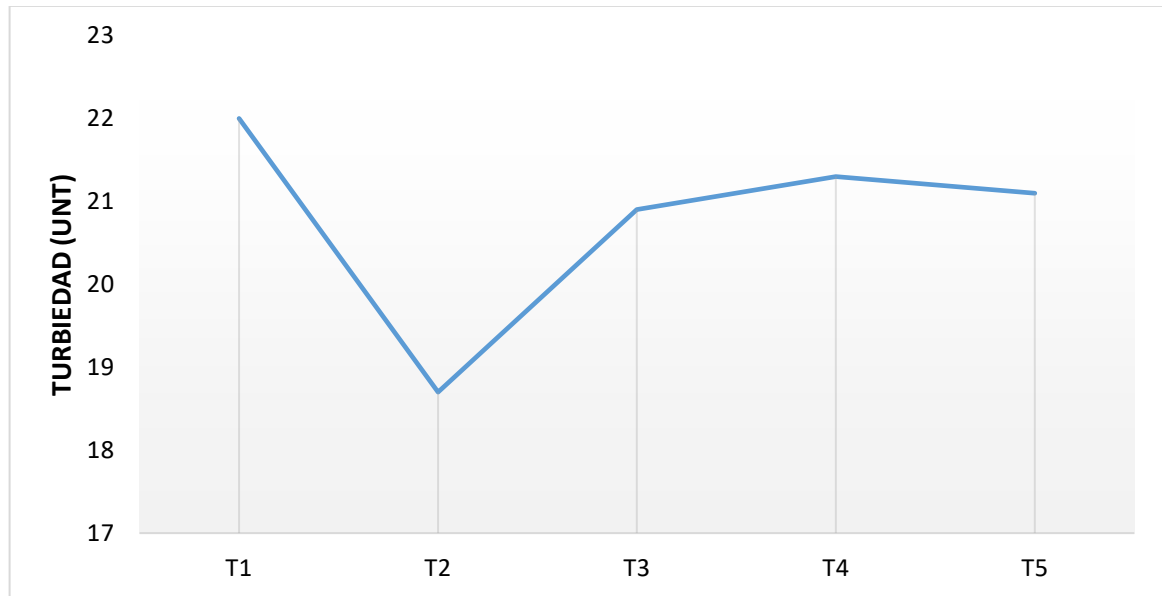


Gráfico 4. Valores de turbiedad en la estación 2 (verano). Autores, 2019.

6.1.2.2. Invierno. Para el tramo de la estación 1 a la estación 2, los valores para la cabecera del río fueron mayores a los del punto cercano al municipio; sin embargo,

el rango de diferencia es muy pequeño, debido a la presencia de lluvias, la cual generó un incremento en el volumen y la velocidad del flujo del río.

- **Estación 1:**

Tabla 11.

Valores de turbidez obtenidos en la estación 2 en temporada de verano.

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO
Turbiedad 1	2,54 NTU
Turbiedad 2	2,34 NTU
Turbiedad 3	2,41 NTU
Turbiedad 4	2,69 NTU
Turbiedad 5	2,60 NTU
Total	12,58 NTU
Promedio	2,52 NTU

Nota: elaborado por autores, 2019.

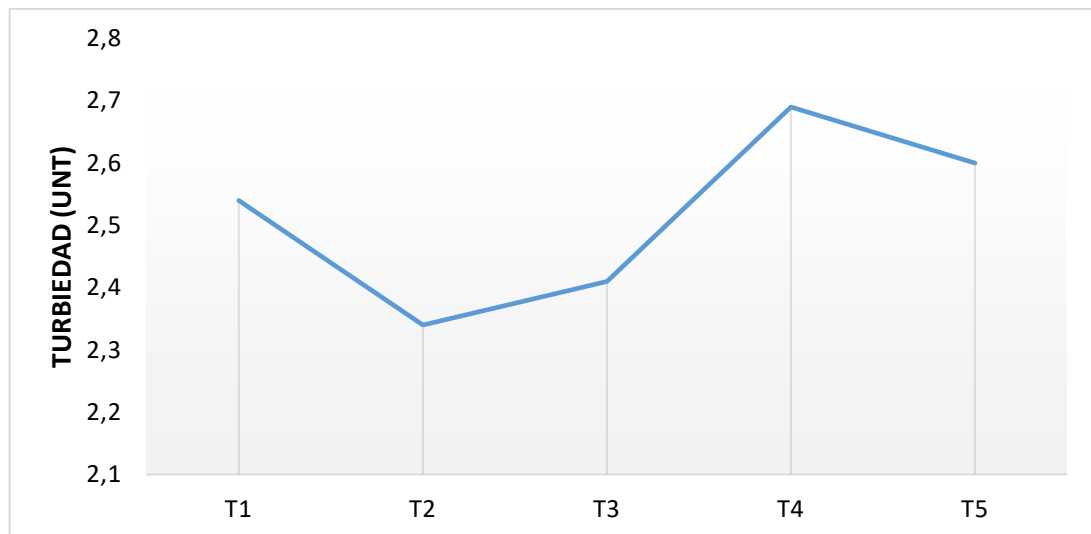


Gráfico 5. Valores de turbiedad en la estación 2 (invierno). Autores, 2019.

- **Estación 2:**

PARAMETRO	VALOR OBTENIDO
Turbiedad 1	3,68 NTU
Turbiedad 2	3,63 NTU
Turbiedad 3	3,25 NTU
Turbiedad 4	3,42 NTU
Turbiedad 5	3,53 NTU
Total	17,51NTU
Promedio	3,50 NTU

Nota: elaborado por autores, 2019.

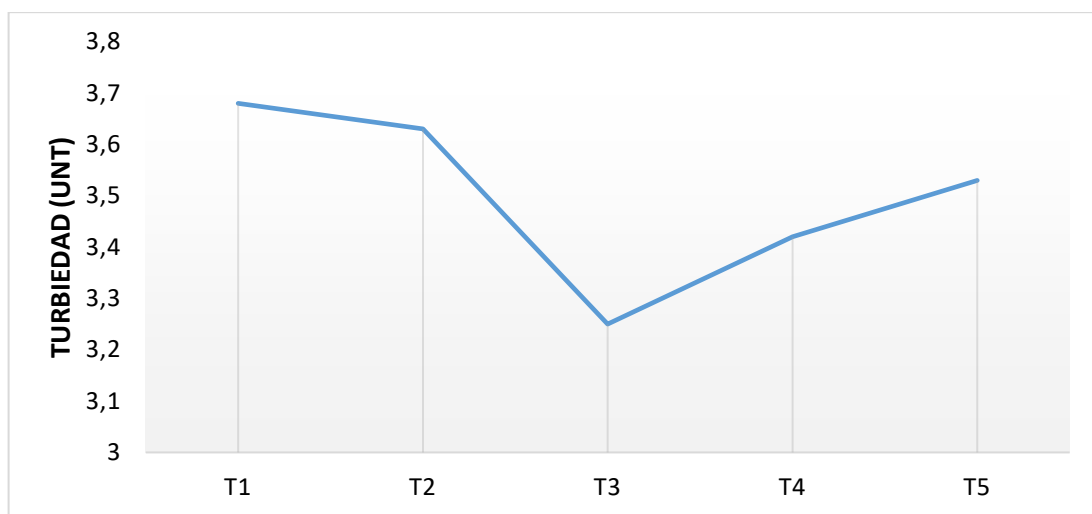


Gráfico 6. Valores de turbiedad en la estación 2 (invierno). Autores, 2019.

6.1.3. Sólidos suspendidos totales.

Los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2 en época de verano fueron de 38 mg/l y 8 mg/l respectivamente y para la época de invierno oscilaron entre los 1,54 mg/l y 1,52 mg/l. los resultados indican que para la temporada de verano, los valores en cuanto a SST no superan los 150 mg/l (sistema de información del medio ambiente,

2007), lo que es un buen indicador debido a que el afluente no presenta una carga considerable de materiales suspendidos a pesar que se encuentra en una zona minera, por otra parte en la época de invierno se observó que los valores de SST son muy bajos, debido a la presencia de altas precipitaciones en las estaciones de muestreo.

6.1.3.1. Verano

- **Estación 1.**

$$P_{\text{recipiente}} = 0,0875 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} = 0,1065 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} - P_{\text{recipiente}} = 0,019 \text{ g}$$

$$38 \frac{\text{mg}}{\text{l sst}}$$

- **Estación 2.**

$$P_{\text{recipiente}} = 0,0875 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} = 0,0915 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} - P_{\text{recipiente}} = 0,004 \text{ g}$$

$$8 \frac{\text{mg}}{\text{l sst}}$$

6.1.3.1. Invierno.

- **Estación 1.**

$$P_{\text{recipiente}} = 0,0875 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} = 0,847 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} - P_{\text{recipiente}} = 0,7595 \text{ g}$$

$$1,519 \frac{\text{mg}}{\text{l sst}}$$

- **Estación 2.**

$$P_{\text{recipiente}} = 0,0875 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} = 0,857 \text{ g}$$

$$P_{\text{sólido}} - P_{\text{recipiente}} = 0,7695 \text{ g}$$

$$1,539 \frac{\text{mg}}{\text{l sst}}$$

Las gráficas muestran el comportamiento de los SST para las estaciones 1 y 2 en las épocas de invierno y verano:

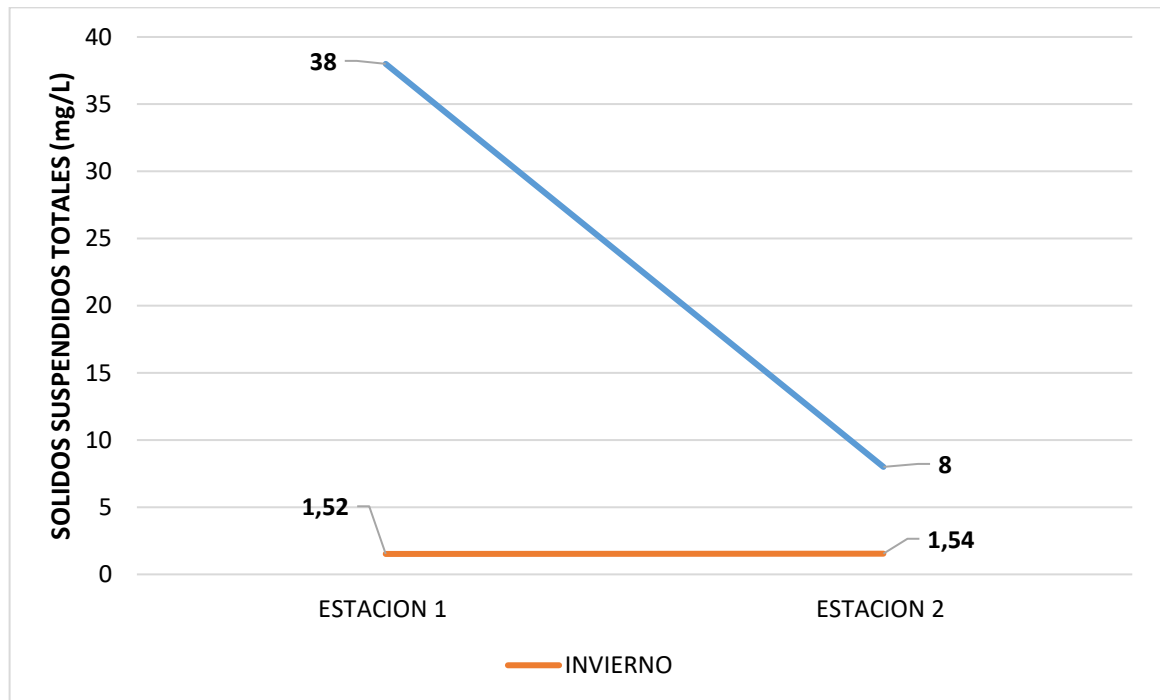


Gráfico 7. Valores de Solidos Suspendidos Totales para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno). autores, 2019.

6.1.4. Potencial de hidrogeno (pH).

Los valores obtenidos para las estaciones 1 y 2 en la temporada de verano 8,87 y 8,39 respectivamente. Para la temporada de invierno los resultados fueron de 8,60 y 8,75 unidades de pH, para las estaciones 1 y 2. Los valores e encuentran dentro de los límites establecidos (comprendido entre 6,5 y 9,0) por la resolución 2115 de 2007, por lo que el agua se encuentra apta para el consumo humano en materia de esta variable. En la siguiente gráfica, se pueden observar las variaciones de pH, en las temporadas de invierno y verano:

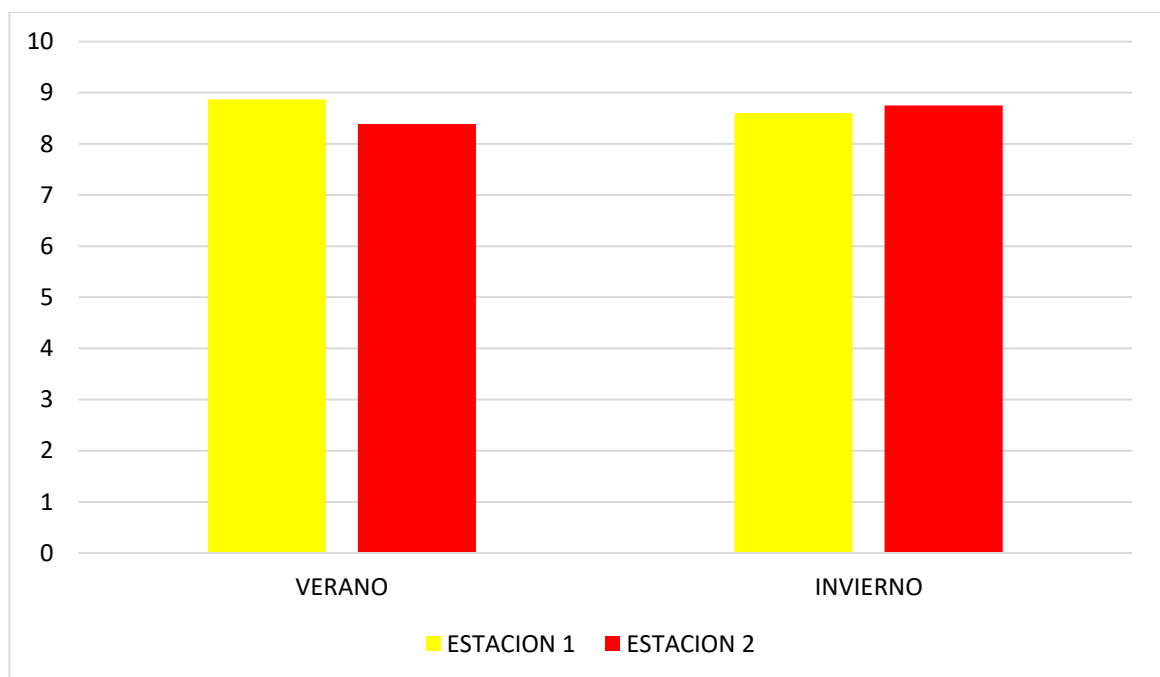


Gráfico 8. Valores de pH para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno). Autores, 2019.

6.1.5. Alcalinidad.

Las estaciones 1 y 2 en la época de verano arrojaron los siguientes resultados 112 mg/l y 134 mg/l con respecto a la cantidad de carbonato de calcio presente en el cuerpo de agua (CaCO_3) y para la época de invierno de 105 mg/l y 90 mg/l. según los estipulado en la resolución 2115 de 2007 los valores máximos permisibles de alcalinidad en un cuerpo que abastece a la población para el consumo de agua no

debe estar por encima de los 200 mg/l; se observó que la alcalinidad está por debajo de estos rangos en las épocas de invierno y verano. El tramo intervenido, recibe una carga de sales como el carbonato de calcio debido a la actividad minera presente en la región, aunque sea un valor bajo, es necesario realizar un seguimiento continuo con el fin de que este no aumente u altere, las propiedades fisicoquímicas del afluente. En las gráficas se observa el comportamiento de la alcalinidad en el cuerpo de agua estudiado:

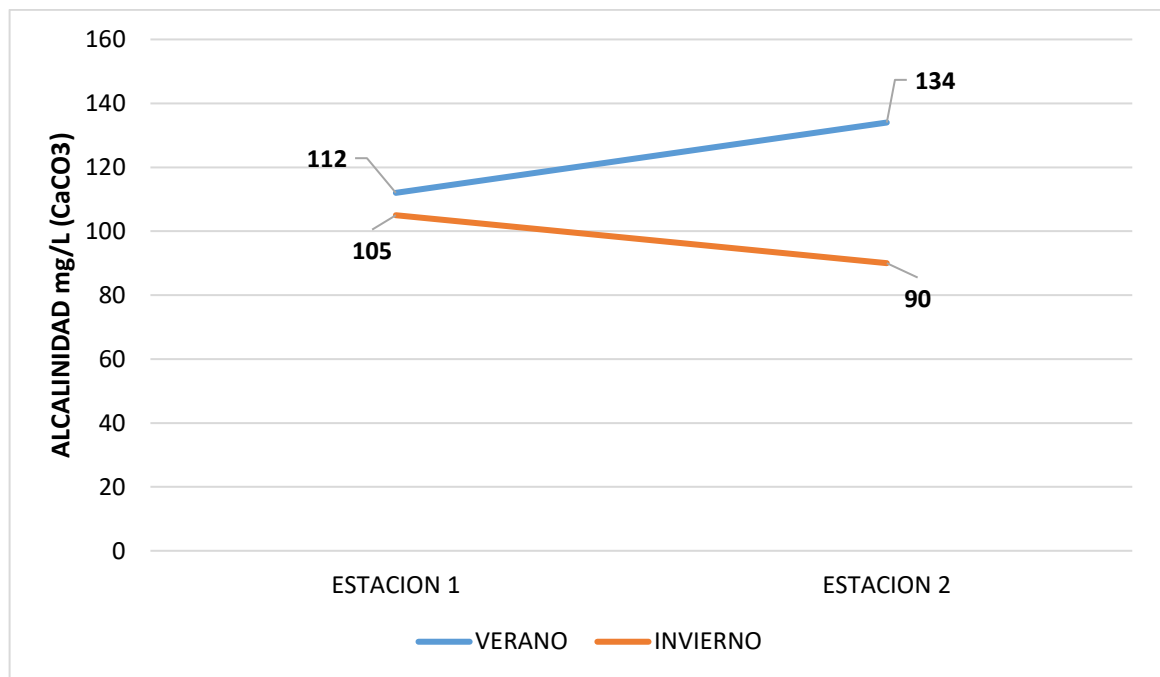


Gráfico 9. Valores de alcalinidad para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano). Autores, 2019.

6.1.6. Dureza.

Las estaciones 1 y 2 en la época de verano arrojaron los siguientes resultados 98,5 mg/l y 111 mg/l y para invierno respectivamente 95mg/l y 90mg/l, esto indica un indicador favorable ya que según la resolución 2115 de 2007, en la cual el valor máximo permisible está en los 300 mg/l; tanto en invierno como en verano, no se observó un aumento en este indicador, lo que nos da a entender que el agua no presenta contaminación por sales y minerales pesados, a pesar de que el afluente

estudiado se encuentra en una zona minera. En la gráfica se muestra el comportamiento de la dureza en las estaciones de las distintas épocas:

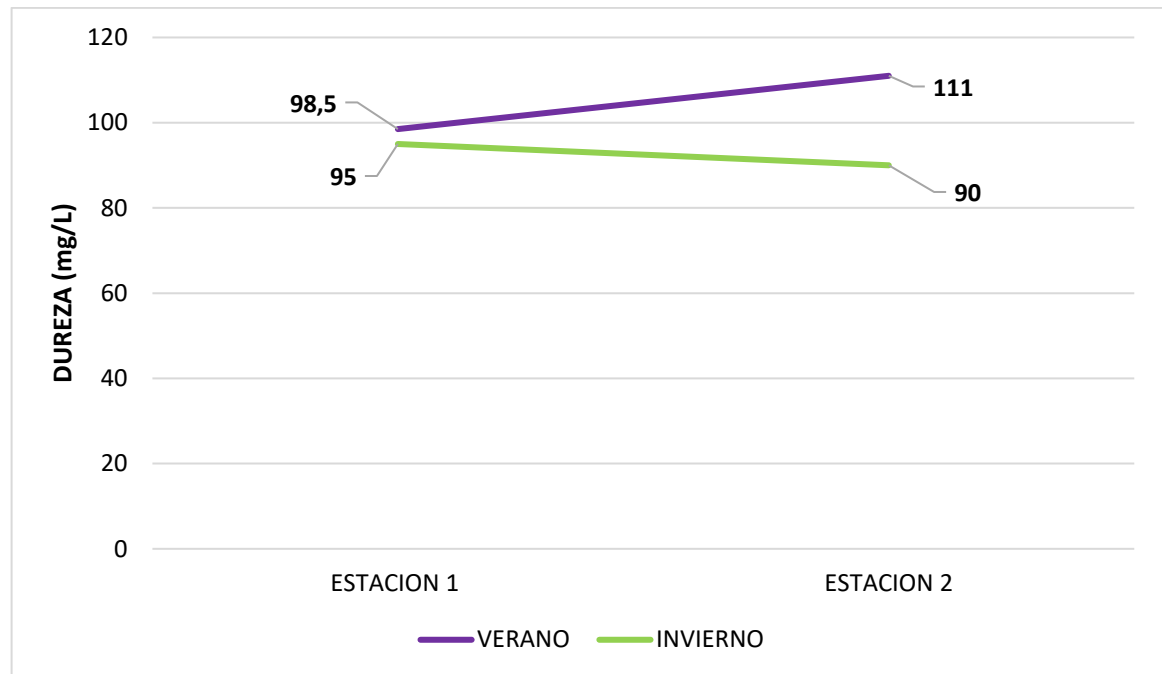


Gráfico 10. Valores de dureza para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano) *Autores, 2019.*

6.1.7. Conductividad eléctrica.

Los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio para las estaciones 1 y 2 en la época de verano fueron de 150 y 149 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y para la temporada invernal de 146 y 128 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La grafica nos muestra que la conductividad eléctrica mantiene rangos bajos, ya que el decreto 1594 de 1984 nos indica que los valores permisibles respecto a la conductividad eléctrica oscilan entre los 500 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que a largo plazo indica un factor negativo para la vida acuática debido a que una baja conductividad eléctrica impide el normal desarrollo de la vida de peces y plantas presentes en el afluente estudiado, el mismo caso se da en las dos épocas ya que los valores de la conductividad se mantienen en esos rangos que no indican una alerta peligrosa. En las gráficas se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica en verano e invierno:

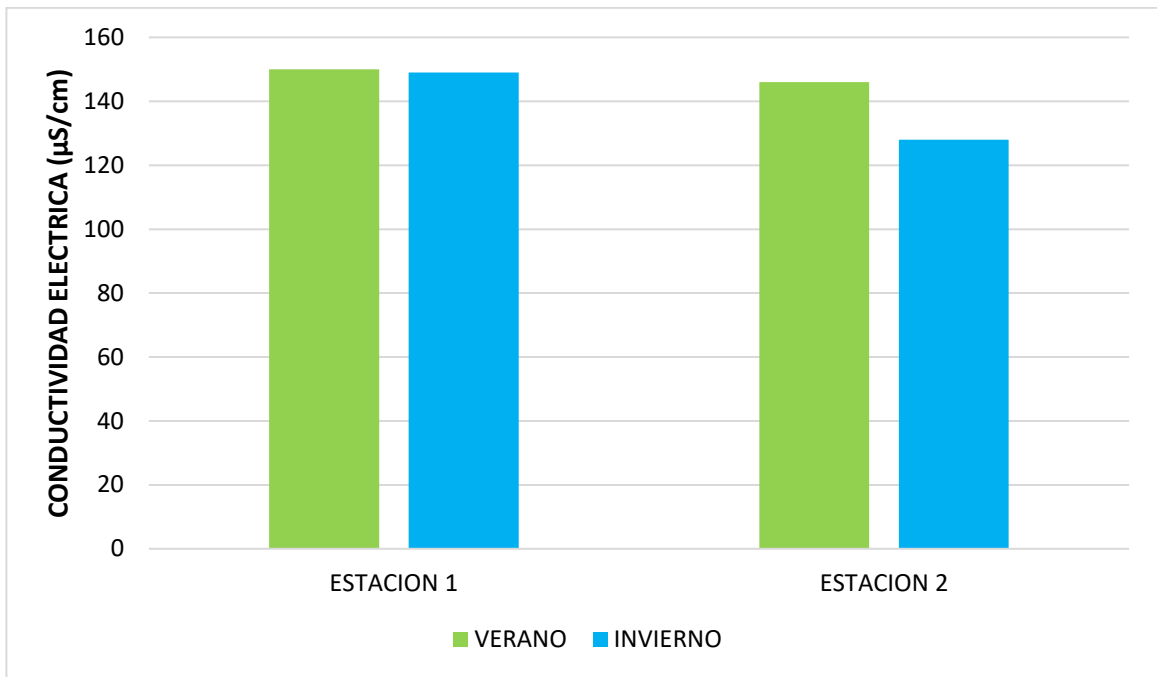


Gráfico 11. Valores de conductividad eléctrica para las estaciones 1 y 2 (invierno y verano). Autores, 2019.

6.1.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Los valores obtenidos para las estaciones 1 y 2 en la temporada de verano fueron de 38 y 8 mg/L respectivamente; se evidencia una disminución de la demanda química de oxígeno desde la cabecera del río hasta la zona cercana al municipio, asociados a la materia orgánica presente en el afluente. Para la época de invierno, se obtuvieron valores similares para esta variable, los cuales fueron de 1,52 y 1,54 mg/L para las estaciones 1 y 2. En la siguiente tabla, se pueden observar las variaciones de la demanda química de oxígeno para las temporadas de invierno y verano:

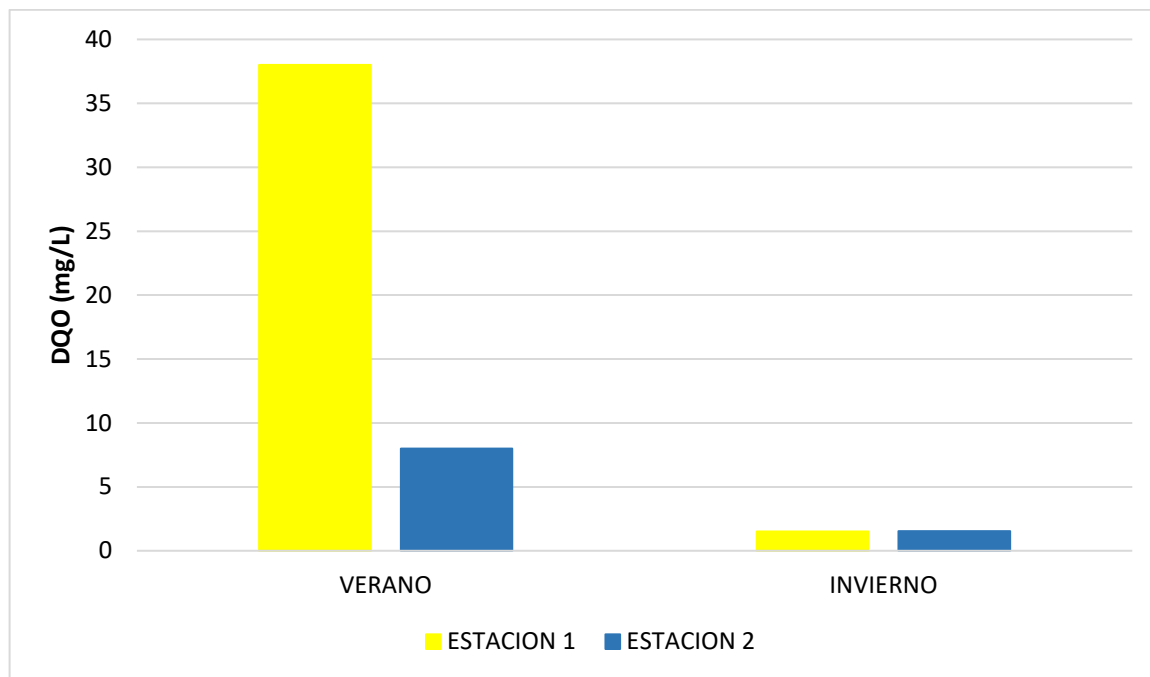


Gráfico 12. Valores de DQO para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno). Autores, 2019.

6.1.9. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅).

Los valores obtenidos para las estaciones 1 y 2 en temporada de verano fueron de 6,0 y 21,0 mg/L respectivamente. Para la temporada de invierno, los resultados fueron de 7,5 y 24,0 mg/L. Como se puede observar, los valores tienden a incrementarse desde la cabecera del río hasta la zona cercana al municipio, con relación al aumento en la temperatura y microorganismos debido a vertimientos y la cantidad de oxígeno disuelto consumido en la zona aguas arriba, además de un aumento de los valores en las estaciones en la temporada de invierno, debido a la presencia de precipitaciones. En Los siguientes gráficos, se puede observar la variación de la DBO₅ para las estaciones 1 y 2 de las temporadas verano e invierno.

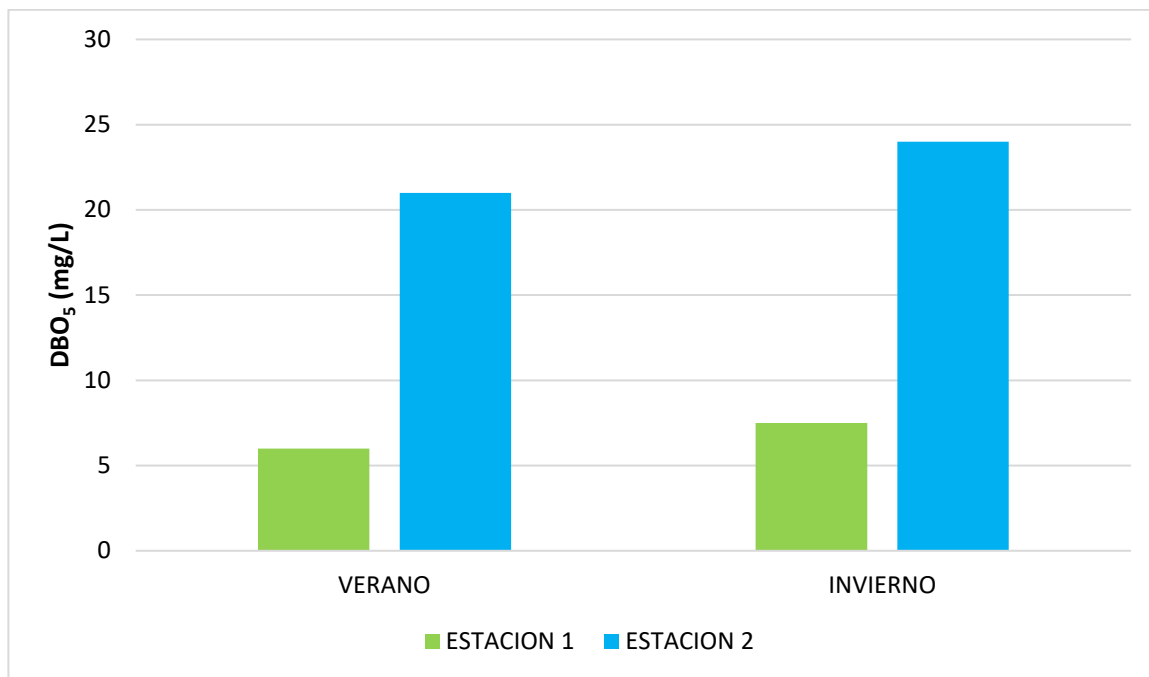


Gráfico 13. Valores de DBO₅ para las estaciones 1 y 2 (verano e invierno). Autores, 2019.

6.1.10. Coliformes totales.

Las estaciones 1 y 2 de la temporada verano, arrojaron valores de 50.000 y 120.000 UFC/100ml; en época de invierno, los valores obtenidos para las estaciones fueron de 200.000 y 40.000.000 UFC/100ml. Los resultados de las dos temporadas, indican que el agua no es apta para uso humano y doméstico, según el decreto 1594 de 1984 puesto que supera valores de 20.000 microorganismos/100ml. Como se puede observar, la concentración de coliformes totales se incrementa en gran medida en la zona aguas arriba del río Sororia (estación 2), cercana al municipio de la Jagua de Ibirico (área de actividad minera), por lo que el aumento se puede relacionar con vertimientos de agua residual provenientes de esta zona. En temporada de invierno, los valores son notablemente más elevados que en verano, siendo un factor influyente la presencia de precipitaciones en la zona. En las siguientes graficas se puede observar el comportamiento de las estaciones 1 y 2 en las temporadas de verano e invierno:

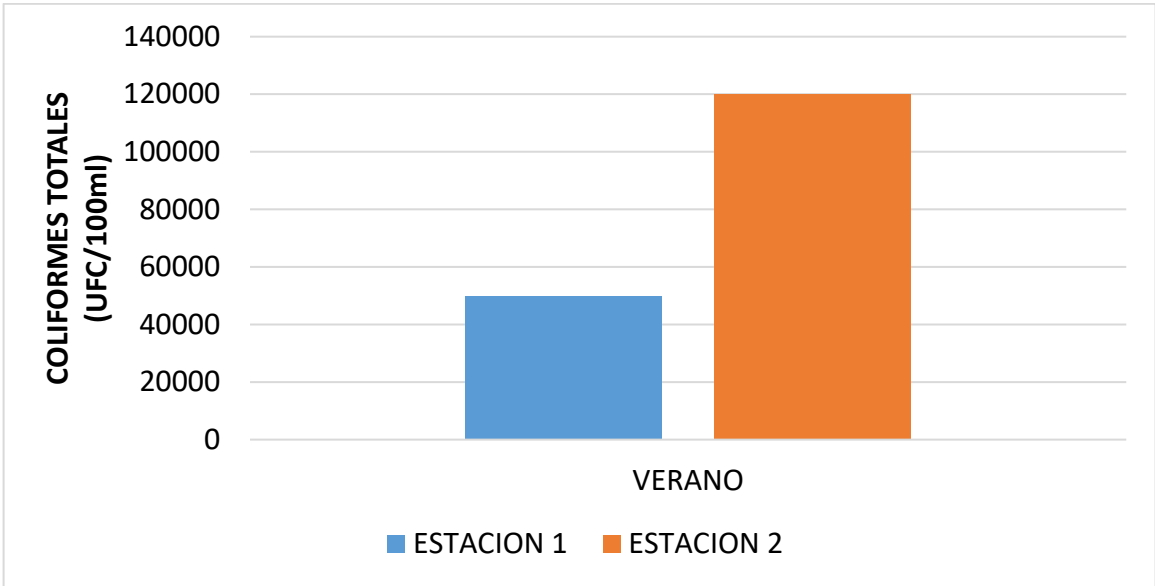


Gráfico 14. Coliformes totales obtenidos en las estaciones 1 y 2 (verano). Autores, 2019.

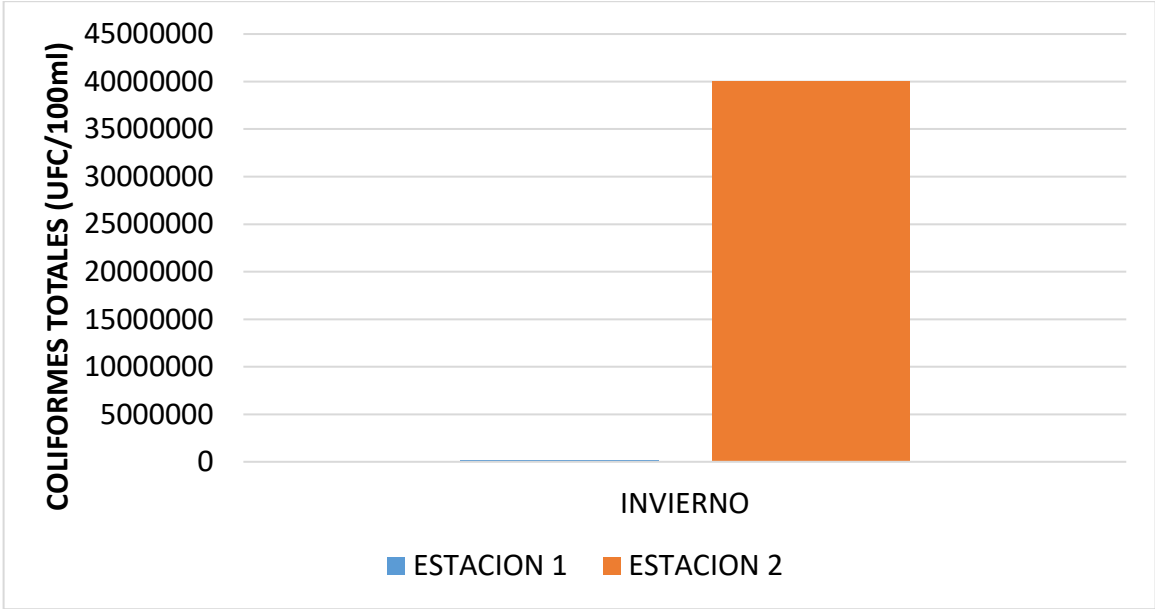


Gráfico 15. Coliformes totales obtenidos en las estaciones 1 y 2 (invierno). Autores, 2019.

6.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) Y LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICOS).

6.2.1. Índice de calidad de agua (ICA).

Para el cálculo del índice de calidad de agua para el río Sororia se utilizarán los parámetros fisicoquímicos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 12. Parámetros para el cálculo del ICA.

Época	Estación	Temperatura del agua °C	Ph	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Suspendidos (mg/L)	DQO (mg/L)
Verano 2018- 04-08	1 aguas arriba	25	8,87	150	8,32	43,12	38
	2 aguas abajo	25,6	8,39	149	7,24	20,8	8
Invierno 2018- 05-20	1 aguas arriba	26	8,6	146	8,15	2,52	1,52
	2 aguas abajo	26,4	8,75	128	6,71	3,5	1,54

Nota: elaborado por autores, 2019.

Para la determinación del ICA empleará un sistema de cinco (5) variables, con ponderaciones asignadas para cada una cómo se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 13. Variables fisicoquímicas relacionadas con el ICA.

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	% saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Nota: recuperado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Para el cálculo del índice Ica con un sistema de 5 variables, el primer paso es evaluar los subíndices descritos en la metodología para río Sororia en los 4 puntos de estaciones de muestreo y en las dos épocas (verano e invierno).

6.2.1.1. Variable OD (oxígeno disuelto).

$$PSOD = \frac{O_x \cdot 100}{C_p}$$

Para la determinación de la variable de oxígeno disuelto, se determinó en primera instancia la concentración de equilibrio de oxígeno en mg/L para las estaciones 1 y 2 en las temporadas de invierno y verano mediante la siguiente fórmula:

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

- **Estación 1 (verano).**

Realizando la conversión de la temperatura tenemos que: $T = 298 \text{ }^\circ\text{K}$

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/298) - (66423080/298^2) + (12438000000/298^3) - (862194900000/298^4)$$

$$\ln C = 2.1146$$

Debido a que se debe despejar el logaritmo de la formula utilizando Euler en el lado opuesto de la ecuación

$$C = e^{2.1146} = 8,286$$

Entonces:

$$PSOD = \frac{8,32 * 100}{8,286}$$

$$PSOD = 100,4\%$$

- **Estación 2 (verano).**

$$T = 298,6 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\ln C^* = -139.3441 + (157570.1/298,6) - (66423080/298,6^2) + (12438000000/298,6^3) - (862194900000/298,6^4)$$

$$\ln C = 2.1035$$

$$c = e^{2.1035} = 8,194$$

$$PSOD = \frac{8,194 * 100}{7,24}$$

$$PSOD = 88,35\%$$

- **Estación 1 (invierno).**

$$T = 299^\circ\text{K}$$

$$PSOD = 100,02\%$$

- Estación 2 (invierno).

$$T = 299,4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$PSOD = 83,14\%$$

Tabla 14. Porcentajes de saturación de oxígeno disuelto para las temporadas de invierno y verano.

Temporada	Estaciones de muestreo	PSOD
Verano	Estación 1	100,4%
	Estación 2	88,35%
Invierno	Estación 1	100,02%
	Estación 2	83,14%

Nota: elaborado por autores, 2019.

Según los datos obtenidos encontramos que para las estaciones 1 de invierno y verano se produce una super saturación de especies acuáticas tal como lo indica la tabla

Tabla 15. Relación de la calidad del agua con el porcentaje de saturación de oxígeno.

Nivel de OD	Porcentaje de saturación de OD	Consecuencias
Super saturacion	$\geq 101\%$	Sistemas en producción fotosintética
Excelente	90% - 100%	Porcentajes adecuados
Adecuado	80% - 89%	Para el desarrollo de especies acuáticas y otros organismos

Aceptable	60 % - 79%	Muerte masiva de organismos aerobios.
Pobre	< 60%	

Nota: recuperado de **Sensores** e instrumentación Guemisa SL.

Los resultados muestran que para los 4 estaciones de muestreo se encuentran en porcentajes excelentes y adecuados, que permiten un correcto desarrollo de la vida y un equilibrio del gas presente en el cuerpo de agua.

Una vez calculado dicho porcentaje se determina el valor de la variable de oxígeno disuelto (OD) dado por:

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

Cuando los porcentajes de oxígeno disuelto hallados es mayor al 100% se evalúa la variable con la formula

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

Tabla 16. Índice de oxígeno disuelto para las temporadas de invierno y verano.

Temporada	Estaciones de muestreo	Índice de oxígeno disuelto	Resultados
verano	1	$IOD = 1 - (1 - 0,01 \cdot 100,4)$	1,0
	2	$IOD = 1 - (0,01 \cdot 88,35 - 1)$	1,11
invierno	1	$IOD = 1 - (1 - 0,01 \cdot 100,02)$	1
	2	$IOD = 1 - (0,01 \cdot 83,14 - 1)$	1,16

Nota: elaborado por autores, 2019

6.2.1.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

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

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio sobre los sólidos suspendidos totales, se reemplazan los valores en la ecuación como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 17. Índice de sólidos suspendidos totales (SST) para las temporadas de invierno y verano.

Sólidos suspendidos totales	Resultado	Valor asignado
$ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 38,00)$ verano	0.90	1
$ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 8,00)$ verano	0.95	1
$ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 1,52)$ invierno	0.97	1
$ISST = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot 1,54)$ invierno	0.97	1

Nota: elaborado por autores, 2019.

6.2.1.3. Demanda química de oxígeno

Con base en los resultados obtenidos, se determinan los índices de esta variable de acuerdo a las siguientes relaciones:

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 $IDQO = 0,125$

Tabla 18. Índice de la demanda química de oxígeno.

Temporada	Estaciones de muestro	DQO (mg/l)	Asignación
Verano	1	21	0,71
	2	46	0,26
Invierno	1	26	0,51
	2	48	0,26

Nota: elaborado por autores, 2019.

6.2.1.4. Conductividad eléctrica C.E

se determinó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

Si $I.C.E. < 0$ (negativo) Entonces $I.C.E. = 0$

Tabla 19. Índice de conductividad eléctrica (CE) para las temporadas de invierno y verano.

Temporada	Estaciones	Conductividad Eléctrica (CE)	Resultado (μ/Cm)
Verano	1	150	0,54
	2	149	0,55
Invierno	1	146	0,56
	2	128	0,63

nota: elaborado por autores, 2019.

6.2.1.5. Variable pH

Como el pH de la muestra del cuerpo de agua está entre 8 y 9 utilizaremos la proposición 4 con el fin de hallar los valores del subíndice:

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

Tabla 20. Índice de pH.

Temporada	Estación	pH	Ecuación	Resultado
Verano	1	8,87	$1 \cdot e [(8,87-8) -0,5187742)]$	0,95
	2	8,39	$1 \cdot e [(8,39-8) -0,5187742)]$	0,35
Invierno	1	8,6	$1 \cdot e [(8,6-8) -0,5187742)]$	0,22
	2	8,75	$1 \cdot e [(8,75-8) -0,5187742)]$	0,62

nota: elaborado por autores, 2019.

Una vez obtenidos los valores de los subíndices, procedemos a calcular el índice de calidad (ICA), la fórmula de cálculo de este índice se determina mediante la siguiente formula:

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

Los valores obtenidos en el cálculo (ICA) están descritos en la siguiente tabla, donde se relacionaron los índices hallados anteriormente, se calculó el valor del índice de calidad del agua y se le dieron las calificaciones a cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 21. Índices de calidad del agua (ICA) del río Sororia.

Temporada	Estaciones	PS _{OD}	I _{OD}	I _{SST}	I _{DQO}	I _{CE}	I _{pH}	ICA	Calificación de la calidad del agua.
Verano	1	100,4	1	1	0,71	0,54	0,95	0,73	Aceptable
	2	88,35	1,1	1	0,26	0,55	0,35	0,57	Regular
Invierno	1	100,02	1	1	0,51	0,56	0,22	0,58	Regular
	2	83,14	1,16	1	0,26	0,63	0,62	0,64	Regular

Nota: elaborado por autores, 2019.

Esta grafica nos muestra los índices evaluados para poder determinar los índices de calidad de agua (ICA) encontrando rangos aceptables que denotaron que el cuerpo de agua presentaría calificaciones aceptables en la época de verano en las estaciones de muestreo ubicadas en el río Sororia.

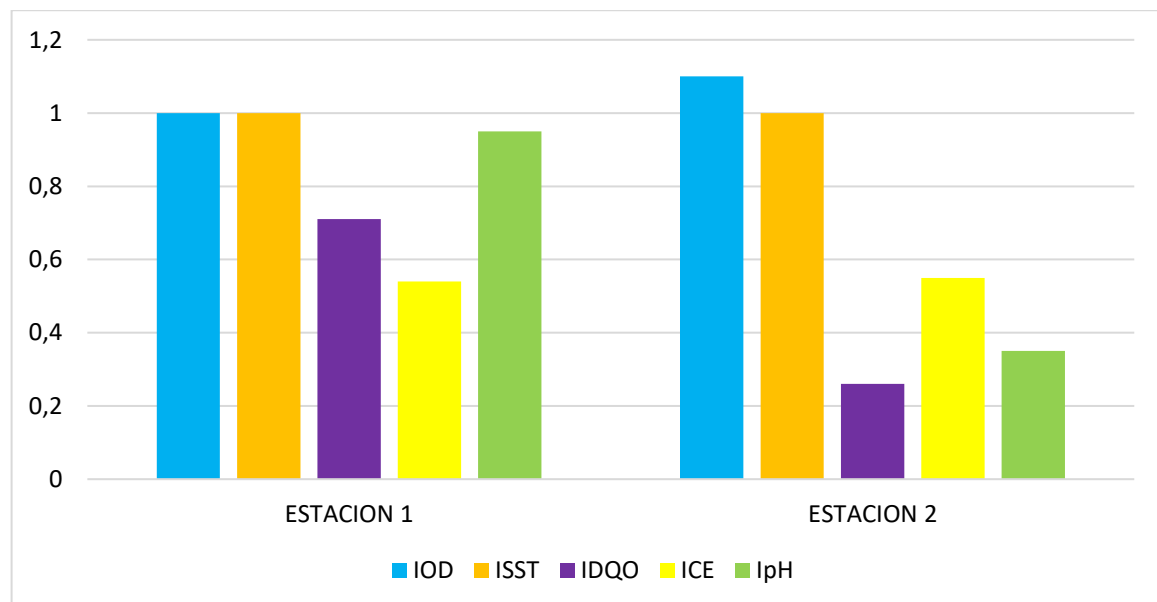


Gráfico 16. Índices de calidad de agua en temporada de verano. Autores, 2019.

Para la época de invierno los datos obtenidos de cada una de las variables mostraron como las alteraciones naturales o antrópicas llevan a cabo un papel fundamental en la alteración de los cuerpos de agua, aumentando o disminuyendo los índices en materia de variables como DQO, Ph, y OD.

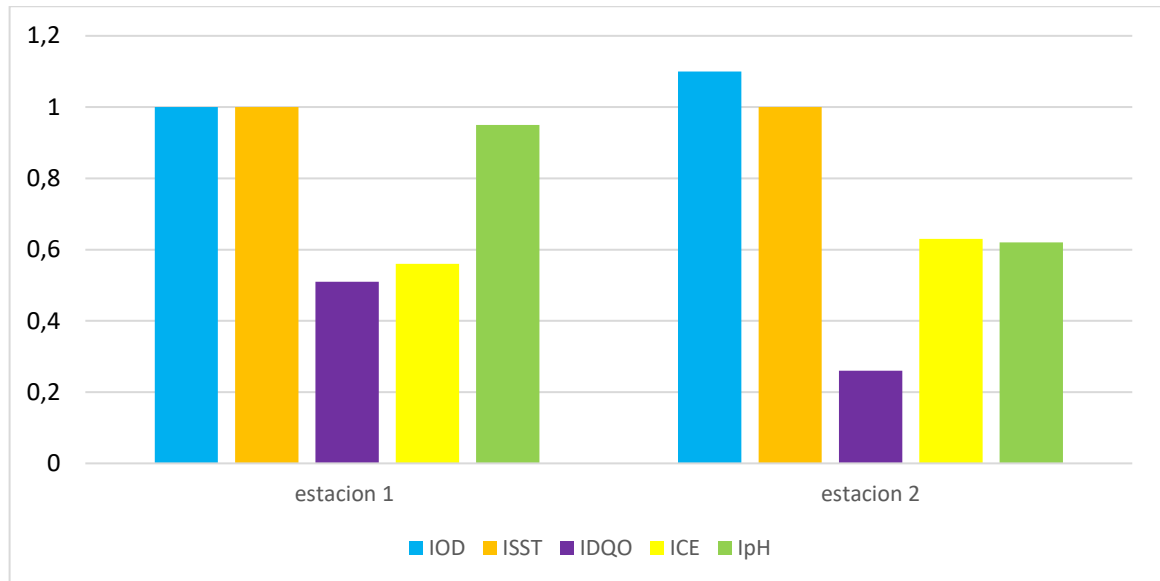


Gráfico 17. Índices de calidad de agua en temporada de invierno. Autores, 2019.

En la primera estación de muestreo la cual se encontraba ubicada agua arriba, con respecto a la temporada de verano, se evidencio que el ICA mostro una tendencia de estar entre los rangos aceptables (0,71- 0,90) y no evidencio una señal de alerta, para la estación 2 ubicadas aguas abajo se evidencio el cambio de los parámetros fisicoquímicos del agua, lo que enmarco el cambio del índice (ICA) ya con rangos más bajos entre (0,50 y 0,70). Para la estación 2. Con respecto a la temporada de invierno en ambas estaciones se denoto una tendencia entre 0,50 y 0,65 en cuanto a la medición de la calidad de agua lo que nos muestra como las alteraciones naturales o antrópicas afectan a un cuerpo de agua, debido a las actividades cercanas al cuerpo de agua, y a los fenómenos naturales que pueden modificar los parámetros fisicoquímicos del afluente estudiado.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de los parámetros necesarios para el cálculo del índice de la calidad del agua, se evidencio que el cuerpo de agua presento una calidad regular, aguas arriba donde la intervención minera es mínima e implica un menor riesgo en el afluente, teniendo en cuenta que este afluente abastece a la población de la Jagua de Ibirico, es necesario buscar medidas para mitiga este impacto aguas abajo que presentaron índices de alerta amarilla para las épocas de invierno y verano.

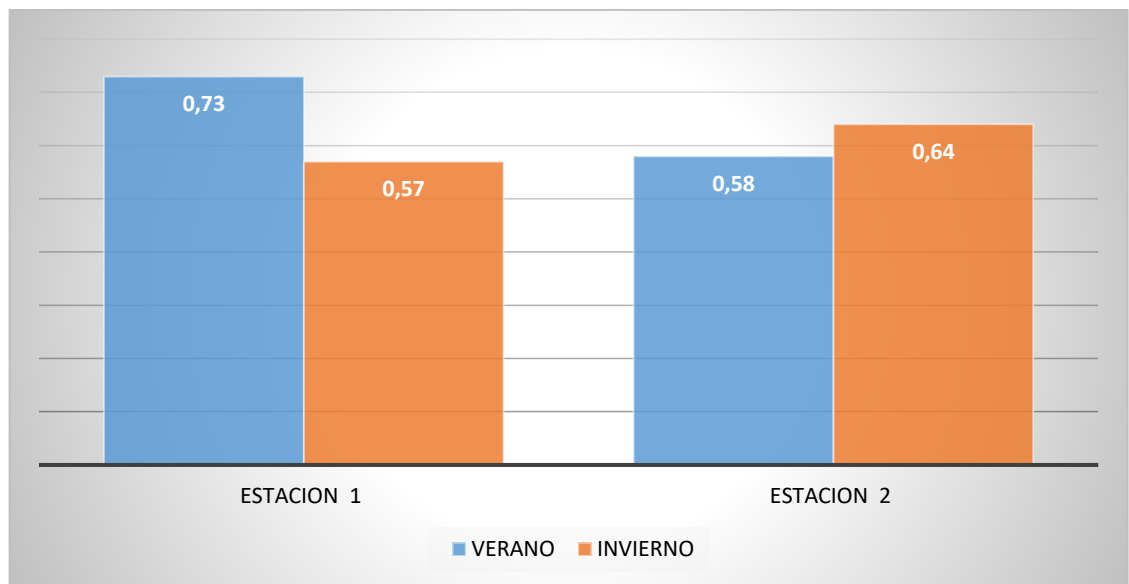


Gráfico 18. Índice de calidad de agua (ICA) en las estaciones de monitoreo. Autores, 2019.

CALCULO DEL ICA PROMEDIO

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, el ICA promedio es calculado mediante la sumatoria de los ICA en las estaciones de muestreo de las temporadas de invierno y verano:

$$n_{jt} = \sum_{k=1}^m 0,73 + 0,57 + 0,58 + 0,64$$

Esto a su vez se divide entre el número de muestreos equivalente en este caso, se encuentran 4 contemplados:

$$n_{jt} = \frac{2,52}{4} = 0,63$$

El índice mínimo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM está enmarcado en el rango de 0,50 donde se limita la aceptación de un cuerpo de agua aceptable.

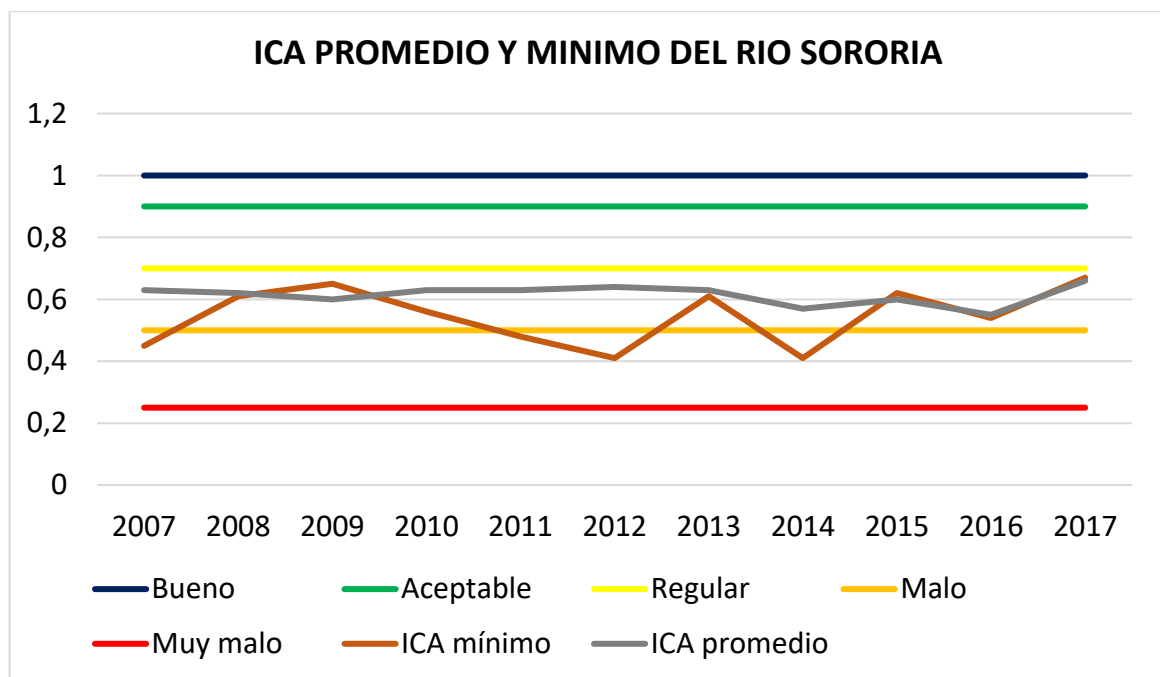


Gráfico 19. ICA promedio y mínimo del río Sororia. Autores, 2019.

la gráfica anterior, muestra los datos obtenidos para el índice de calidad de agua con relación a la ubicación del río Sororia, teniendo en cuenta que se encuentra la zona media del departamento del cesar y puede ser comparado con el punto puente canoas, que se encuentra cercano al cuerpo de agua y donde la calidad del afluente presenta las mismas características del cuerpo de agua que fue objeto de estudio. En la gráfica, se puede observar que el índice promedio de la calidad de agua se encuentra en el rango aceptable propuesto por el IDEAM, lo que denota una alteración del cuerpo de agua y muestra una tendencia a mantenerse en el mismo

rango, debido a que este índice no ha cambiado en comparación al año 2007 cuando se establecieron los puntos de monitoreo, lo que implica que no se han tomado medidas sobre los impactos negativos en el afluente estudiado.

6.2.2. Índices de contaminación del agua (ICOS).

6.2.2.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) para las temporadas de verano e invierno.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los resultados de laboratorio, se tuvieron en cuenta las variables conductividad, alcalinidad y dureza para el cálculo de la contaminación por mineralización.

Tabla 22. Valores de conductividad, alcalinidad y dureza en temporada de verano.

Estaciones	Conductividad (µS/cm)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Dureza (mg CaCO ₃ /L)
Estación 1 (aguas arriba)	150,0	112	98,5
Estación 2 (aguas abajo)	149,0	134	111,0

Nota: elaborado por autores, 2019.

Tabla 23. Valores de conductividad, alcalinidad y dureza en temporada de invierno.

Estaciones	Conductividad (µS/cm)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	Dureza (mg CaCO ₃ /L)
Estación 1 (aguas arriba)	146	105	95
Estación 2 (aguas abajo)	128	90	90

Nota: elaborado por autores, 2019.

Calculamos los índices de conductividad, alcalinidad y dureza para el cálculo del índice ICOMI:

6.2.2.1.1. Conductividad.

Verano:

Para conductividades menores a 270($\mu\text{S}/\text{cm}$) se utilizó la siguiente formula:

✓ **Estación 1.**

$$I_{\text{Conductividad}} = \text{Log}_{10} I_{\text{Conductividad}} = -3,26 + 1,34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{\text{Log} I_{\text{Conductividad}}}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \text{Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \text{Log}_{10}(150)}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-0,344}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = \mathbf{0,452}$$

✓ **Estación 2.**

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \text{Log}_{10}(149)}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-0,347}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = \mathbf{0,448}$$

Inverno:

Se implementó la misma fórmula utilizada en la temporada de verano, puesto que los valores obtenidos fueron menores de 270 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

✓ **Estación 1.**

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \text{Log}_{10}(146)}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = \mathbf{0,436}$$

✓ **Estación 2.**

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{-3,26+1,34 \text{Log}_{10}(128)}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = \mathbf{0,366}$$

6.2.2.1.2. Dureza.

Temporada de verano.

✓ Estación 1.

Para el cálculo de este índice, debido a que la dureza obtenida en esta estación fue de 98,5 mg/L (menor a 100 mg/L y mayor a 30 mg/L) se utilizó la siguiente fórmula:

$$I_{Dureza} = \text{Log}_{10} I_{Dureza} = -9.09 + 4.40 \text{Log}_{10} Dureza \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

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

$$I_{Dureza} = 10^{-9.09+4.40 \text{Log}_{10}(98,5)}$$

$$I_{Dureza} = 10^{-0,318}$$

$$I_{Dureza} = \mathbf{0,479}$$

✓ Estación 2.

Para valores de dureza mayores a 100 mg/L el índice es igual a 1; por tanto, para la estación 2, donde la dureza es igual a 111 mg/L se obtiene que:

$$I_{Dureza} = \mathbf{1}$$

Temporada de invierno.

✓ Estación 1.

$$I_{Dureza} = 10^{-9.09+4.40 \text{Log}_{10}(95)}$$

$$I_{Dureza} = \mathbf{0,409}$$

✓ Estación 2.

$$I_{Dureza} = 10^{-9.09+4.40 \text{Log}_{10}(90)}$$

$$I_{Dureza} = \mathbf{0,322}$$

6.2.2.1.3. Alcalinidad.

Temporada de verano.

Puesto que la muestra arrojó valores menores a 250 mg/L y mayores de 50 mg/L se aplicó la siguiente fórmula:

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{ Alcalinidad(mg/L)}$$

✓ **Estación 1.**

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005(112)$$

$$I_{Alcalinidad} = \mathbf{0,31}$$

✓ **Estación 2.**

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005(134)$$

$$I_{Alcalinidad} = \mathbf{0,42}$$

Temporada de invierno.

Para el cálculo de los índices, se aplicó la fórmula para valores menores a 250 mg/L y mayores de 50 mg/L utilizada anteriormente en la temporada verano.

Estación 1.

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005(105)$$

$$I_{Alcalinidad} = \mathbf{0,275}$$

Estación 2.

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005(90)$$

$$I_{Alcalinidad} = \mathbf{0,2}$$

Obtenidos los resultados de todos los indicadores requeridos, se calculan a continuación los índices ICOMI para las estaciones de las temporadas invierno y verano:

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

✓ Temporada de verano:

$$ICOMI_{ESTACION\ 1} = \frac{1}{3}(0,452 + 0,479 + 0,31)$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 1} = \mathbf{0,413}$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 2} = \frac{1}{3}(0,448 + 1 + 0,42)$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 2} = \mathbf{0,622}$$

✓ Temporada de invierno:

$$ICOMI_{ESTACION\ 1} = \frac{1}{3}(0,436 + 0,409 + 0,275)$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 1} = \mathbf{0,373}$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 2} = \frac{1}{3}(0,366 + 0,322 + 0,2)$$

$$ICOMI_{ESTACION\ 2} = \mathbf{0,296}$$

En la siguiente tabla, se encuentran las calificaciones de la calidad de agua obtenidas para el índice de contaminación por mineralización (ICOMI):

Tabla 24. Calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por mineralización.

Temporada	Estación	ICOMI	Calificación de la calidad del agua
Verano	Estación 1	0,413	Medio
	Estación 2	0,622	Alto
Invierno	Estación 1	0,373	Bajo
	Estación 2	0,296	Bajo

Nota: elaborado por autores, 2019.

Los valores de mayor significancia, fueron arrojados para la temporada de verano, obteniendo rangos de medio y alto respectivamente. Teniendo en cuenta los parámetros evaluados por el ICOMI (conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad), se entiende que compuestos como el carbonato de calcio (CaCO_3) se encuentran en cantidades alarmantes, que afectan la calidad del agua del río Sororia estableciendo contaminación por mineralización asociado a la actividad minera del territorio. Por otra parte, para la temporada de verano se encuentra una calificación ambiental de bajo para este índice, por lo que no representa una amenaza para la calidad del río Sororia en esta temporada.

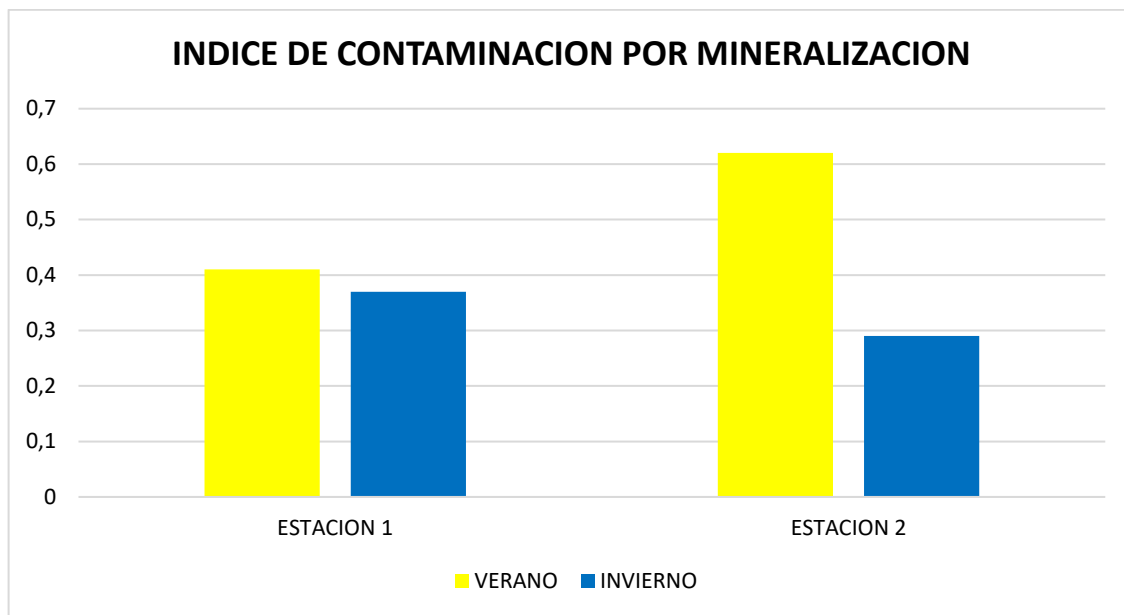


Gráfico 20. Rangos del ICOMI en las temporadas de invierno y verano. Autores, 2019.

6.2.2.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) para las temporadas de verano e invierno.

Se calcularon abarcando los parámetros de DBO₅, coliformes totales y porcentaje de oxígeno disuelto; los resultados obtenidos en las estaciones se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 25. Valores de oxígeno disuelto, DBO y coliformes totales en temporada de verano.

Estaciones	Oxígeno Disuelto (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Coliformes Totales (UFC/100ml)	Temperatura del agua °C
Estación 1	8,32	6,0	50000	25,0
Estación 2	7,24	21,0	1200000	25,6

Nota: elaborado por autores, 2019.

Tabla 26. Valores de oxígeno disuelto, DBO y coliformes totales en temporada de invierno.

Estaciones	Oxígeno Disuelto (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Coliformes Totales (UFC/100ml)	Temperatura del agua °C
Estación 1	8,15	7,5	200000	26,0
Estación 2	6,71	24,0	40000000	26,4

Nota: elaborado por Autores, 2019.

6.2.2.2.1. Demanda biológica de oxígeno.

Temporada de verano.

Como se puede observar en la tabla, los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2 fueron de 6,0 mg/L y 21 mg/L respectivamente; puesto que los valores son menores a 30 mg/L se utiliza la siguiente formula:

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO_5$$

✓ **Estación 1**

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10}(6)$$

$$I_{DBO5} = 0,49$$

✓ **Estación 2**

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10}(21)$$

$$I_{DBO5} = 0,87$$

Temporada de invierno.

Al igual que en la temporada de verano, los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2, se encuentran en un rango menor a 30 mg/L, siendo estos de 7,5 mg/L y 24 mg/L respectivamente, por lo que se implementa la misma fórmula.

✓ **Estación 1**

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10}(7,5)$$

$$I_{DBO5} = 0,56$$

✓ **Estación 2**

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10}(24)$$

$$I_{DBO5} = 0,91$$

6.2.2.2.2. Coliformes totales.

Temporada de verano.

Para las estaciones 1 y 2, los valores obtenidos fueron de 50.000 UFC/100ml y 1.200.000 UFC/100ml respectivamente; debido a esto, el índice de coliformes toma un valor asignado de 1, puesto que los resultados superan el rango de 20.000 UFC/100 ml.

✓ **Estación 1.**

$$I_{COT} = 1$$

✓ **Estación 2.**

$$I_{COT} = 1$$

Temporada de invierno.

Al igual que en la temporada de verano, los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2 fueron de 200.000 UFC/100ml y 40.000.000 UFC/100ml respectivamente; debido a esto, el índice de coliformes toma un valor asignado de 1, puesto que los resultados superan el rango de 20.000 UFC/100 ml.

✓ **Estación 1.**

$$I_{COT} = 1$$

✓ **Estación 2.**

$$I_{COT} = 1$$

6.2.2.2.3. Porcentaje de oxígeno disuelto.

Los análisis de laboratorio realizados arrojaron valores en unidades de mg/L, por lo que se realiza el cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto para el cálculo de los índices mediante la siguiente formula:

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * T + 6.918079 * OD + 0.2075711 * T * OD - 0.0129793 * OD * OD$$

temporada de verano.

✓ **Estación 1.**

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * 25 + 6.918079 * 8,32 + 0.2075711 * 25 * 8,32 - 0.0129793 * 8,32 * 8,32$$

$$\% SAT = 98,91$$

Debido a que el porcentaje es menor a 100%, se utiliza la siguiente formula:

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0,01 * \%saturacion\ de\ oxigeno$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0,01 * 98,91$$

$$I_{\%Oxigeno} = 0,01$$

✓ **Estación 2.**

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * 25,6 + 6.918079 * 7,24 + 0.2075711 * 25,6 * 7,24 - 0.0129793 * 7,24 * 7,24$$

$$\%SAT = 86,95$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0,01 * 86,95$$

$$I_{\%Oxigeno} = 0,13$$

Temporada de invierno.

✓ **Estación 1.**

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * 26 + 6.918079 * 8,15 + 0.2075711 * 26 * 8,15 - 0.0129793 * 8,15 * 8,15$$

$$\%SAT = 98,57$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0,01 * 98,57$$

$$I_{\%Oxigeno} = 0,01$$

✓ **Estación 2.**

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * 26,4 + 6.918079 * 6,71 + 0.2075711 * 26,4 * 6,71 - 0.0129793 * 6,71 * 6,71$$

$$\%SAT = 81,67$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0,01 * 81,67$$

$$I_{\%Oxigeno} = 0,18$$

Reemplazamos los resultados de los indicadores obtenidos en la formula general para el cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{COT} + I_{\%OXIGENO})$$

Temporada de verano.

$$ICOMO_{ESTACION 1} = \frac{1}{3} (0,49 + 1 + 0,01)$$

$$ICOMO_{ESTACION 1} = 0,5$$

$$ICOMO_{ESTACION\ 2} = \frac{1}{3}(0,87 + 1 + 0,13)$$

$$ICOMO_{ESTACION\ 2} = 0,66$$

Temporada de invierno.

$$ICOMO_{ESTACION\ 1} = \frac{1}{3}(0,56 + 1 + 0,01)$$

$$ICOMO_{ESTACION\ 1} = 0,52$$

$$ICOMO_{ESTACION\ 2} = \frac{1}{3}(0,91 + 1 + 0,18)$$

$$ICOMO_{ESTACION\ 2} = 0,69$$

En la siguiente tabla, se pueden observar las calificaciones asignadas de acuerdo al rango de valoración del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):

Tabla 27. Calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por materia orgánica.

Temporada	Estación	ICOMO	Calificación de la calidad del agua
Verano	Estación 1	0,5	Medio
	Estación 2	0,66	Alto
Invierno	Estación 1	0,52	Medio
	Estación 2	0,69	Alto

Nota : elaborado por autores, 2019.

Con base a los parametros evaluados en en ICOMO, se obtuvieron calificaciones ambientales de alto y medio asociados a la contaminacion por materia organica. Los valores obtenidos para coliformes totales y DBO₅, fueron elevados para las temporadas de invierno y verano, asociado a los vertimientos generados por la actividad agricola de la zona (cultivos de palma, café, platano, entre otros).

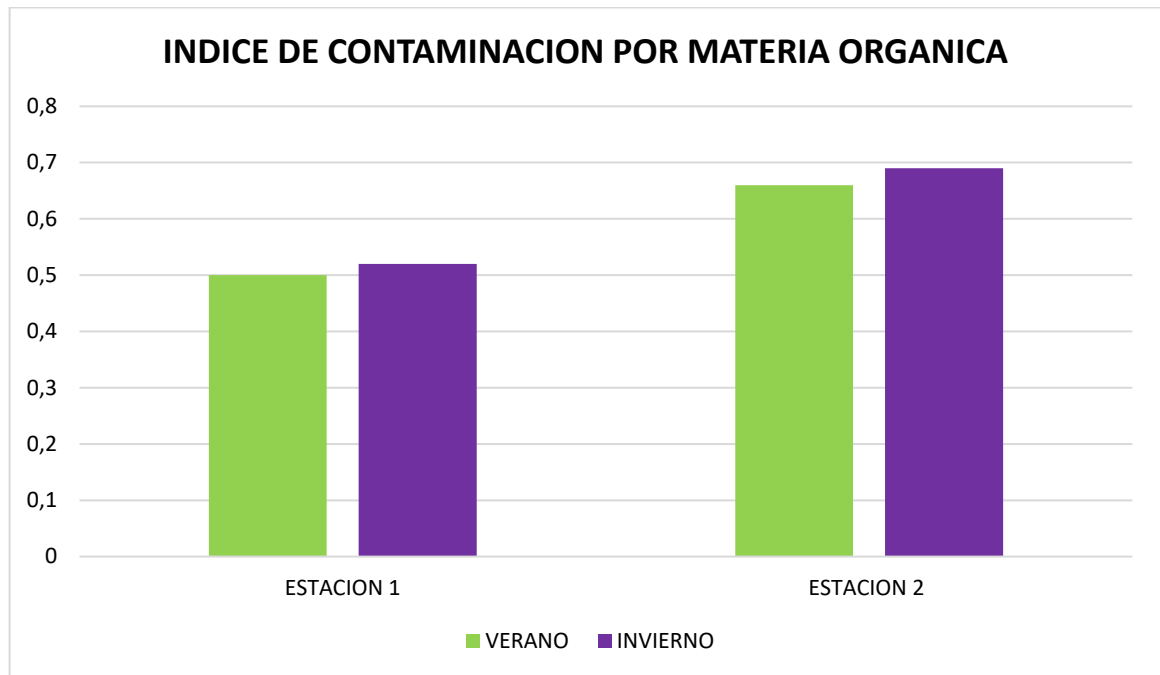


Gráfico 21. Rangos del ICOMO en temporadas de verano e invierno. Autores, 2019.

6.2.2.3. Índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS) para las temporadas de verano e invierno.

En la siguiente tabla, se observan los valores obtenidos de solidos suspendidos en mg/L para las estaciones en las temporadas de invierno y verano:

Tabla 28. Valores de solidos suspendidos para temporada de verano.

Estaciones	Sólidos Suspendidos (mg/L)
Estación 1	38,00
Estación 2	8,00

Nota : elaborado por Autores, 2019.

Tabla 29. Valores de solidos suspendidos para temporada de invierno.

Estaciones	Sólidos Suspendidos (mg/L)
Estación 1	1,52
Estación 2	1,54

Fuente: elaborado por Autores, 2019.

Temporada de verano.

Para este ítem, los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2 fueron de 38 mg/L Y 8 mg/L respectivamente; debido a que el valor en la estación 1 es menor a 340 mg/L se aplica la siguiente fórmula:

✓ **Estación 1.**

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003 * \text{SST}$$

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003 * 38$$

$$\text{ICOSUS} = 0,09$$

✓ **Estación 2.**

Puesto que el valor obtenido en la estación 2 fue de 8 mg/L, se asigna el valor de 0 al índice de contaminación por sólidos suspendidos por ser un valor menor a 10mg/L.

$$\text{ICOSUS} = 0$$

Temporada de invierno.

Los valores obtenidos en las estaciones 1 y 2 fueron de 1,52mg/L y 1,54 mg/L respectivamente, por lo que se asigna un valor de cero en ambos índices.

✓ **Estación 1.**

$$\text{ICOSUS} = 0$$

✓ **Estación 2.**

$$\text{ICOSUS} = 0$$

En la siguiente tabla, se pueden observar las calificaciones asignadas de acuerdo al rango de valoración del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):

Tabla 30. Calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por sólidos suspendidos.

Temporada	Estación	ICOSUS	Calificación de la calidad del agua
Verano	Estación 1	0,09	Ninguno
	Estación 2	0	Ninguno
Invierno	Estación 1	0	Ninguno
	Estación 2	0	Ninguno

Fuente: autores, 2019.

Para las temporadas de invierno y verano, no se encontro un indice de contaminacion por solidos suspendidos significativo en la calidad del agua del rio Sororia, lo que indica que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos permitidos para fuentes de agua superficial.

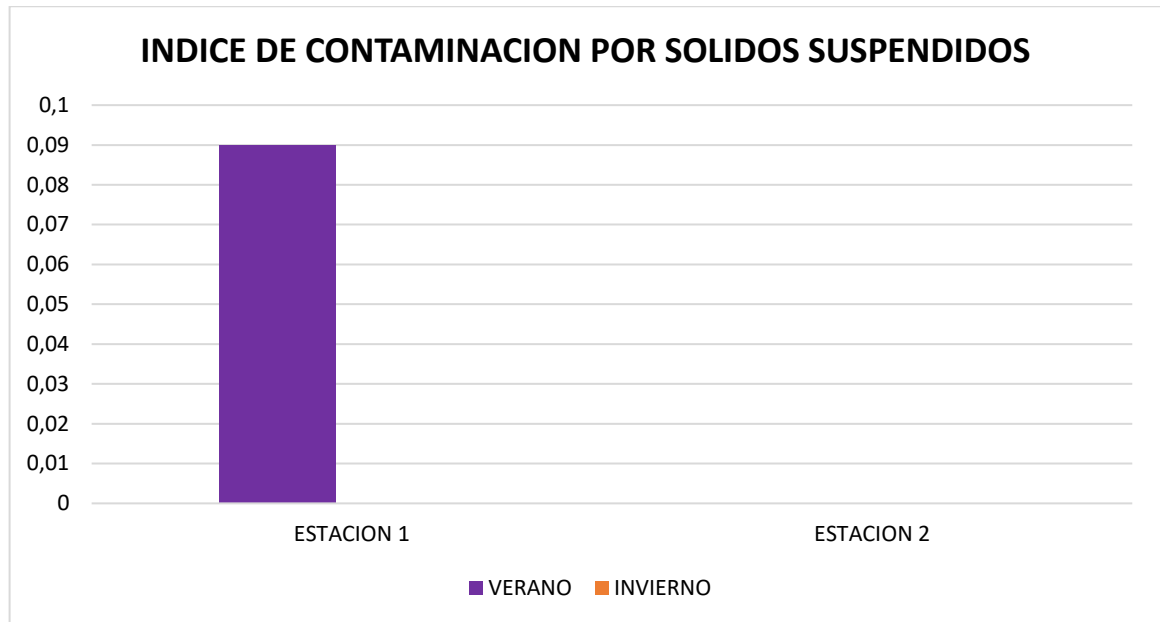


Gráfico 22. Rangos del ICOSUS en las temporadas verano e invierno. Autores, 2019.

6.2.2.4. Índice de contaminación por pH (ICOpH) para las temporadas de verano e invierno.

En las siguientes tablas se pueden observar los valores obtenidos de pH de las estaciones 1 y 2, en las temporadas verano e invierno:

Tabla 31. Valores de pH para temporada de verano.

Estaciones	pH
Estación 1	8,87
Estación 2	8,39

Nota : elaborado por autores, 2019.

Tabla 32.Valores de pH para temporada de invierno.

Estaciones	pH
Estación 1	8,60
Estación 2	8,75

Nota : elaborado por autores, 2019.

Para el calculo del indice de contaminacion por pH, se utiliza la siguiente formula:

$$ICO_{pH} = \frac{e^{-3.108+3.45pH}}{1 + e^{-31.08+3.45pH}}$$

Temporada de verano.

✓ **Estacion 1.**

$$ICO_{pH} = \frac{e^{-31,08+3.45(8,87)}}{1 + e^{-31,08+3.45(8,87)}}$$

$$ICO_{pH} = 0,38$$

✓ **Estacion 2.**

$$ICO_{pH} = \frac{e^{-31,08+3.45(8,39)}}{1 + e^{-31,08+3.45(8,39)}}$$

$$ICO_{pH} = 0,10$$

Temporada de verano.

✓ **Estacion 1.**

$$ICO_{pH} = \frac{e^{-31,08+3.45(8,60)}}{1 + e^{-31,08+3.45(8,60)}}$$

$$ICOpH = 0,19$$

✓ **Estacion 2.**

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3.45(8,75)}}{1 + e^{-31,08+3.45(8,75)}}$$

$$ICOpH = 0,29$$

En la siguiente tabla, se pueden observar las calificaciones asignadas de acuerdo al rango de valoración del índice de contaminación por Ph (ICOpH):

Tabla 33. Calificación de la calidad de agua para el índice de contaminación por pH.

Temporada	Estación	ICOSUS	Calificación de la calidad del agua
Verano	Estación 1	0,38	Bajo
	Estación 2	0,10	Ninguno
Invierno	Estación 1	0,19	Ninguno
	Estación 2	0,29	Bajo

Nota : elaborado por autores, 2019.

Los valores obtenidos de pH, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para el ICOpH, por lo que la calificación para la calidad del agua del río sororia en las temporadas de invierno y verano fueron de ninguna y baja afectación.

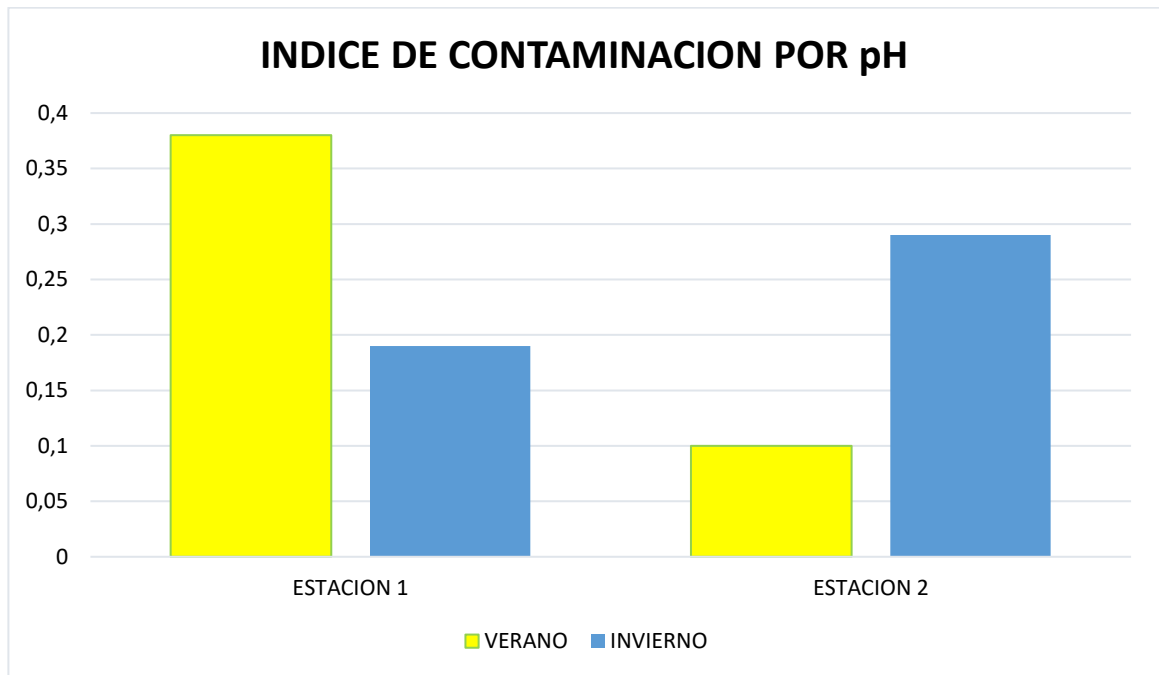


Gráfico 23. Rangos de ICoPH para las temporadas verano e invierno. Autores, 2019.

6.3. ANALISIS DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BIOLÓGICOS.

6.3.1. Correlaciones entre parametros.

En la siguiente tabla, se pueden observar las correlaciones entre los parametros fisicoquimicos y microbiologicos analizados, implementando la matriz de correlacion de pearson:

Tabla 34. Correlaciones entre los parámetros analizados en las estaciones de muestreo, para las temporadas de invierno y verano.

	T	pH	CE	OD	TRB	SST	ALC	DUR	DBO	DQO	CT
T	1										
pH	-,198	1									
CE	-,820	-,261	1								
OD	-,679	,286	,758	1							
TRB	-,954*	0,349	0,619	0,493	1						
SST	-0,907	0,576	0,526	0,595	,961*	1					
ALC	-0,59	-0,665	0,782	0,187	0,464	0,227	1				
DUR	-0,516	-0,706	0,693	0,056	0,416	0,161	,991**	1			
DBO	0,596	-0,396	-0,647	-,988*	-0,427	-0,568	-0,032	0,101	1		
DQO	0,611	-0,491	-0,598	-,973*	-0,471	-0,626	0,027	0,158	,994**	1	
CT	0,729	0,292	-,985*	-0,799	-0,493	-0,421	-0,721	-0,623	0,698	0,638	1

Nota: T: temperatura; pH: potencial de hidrogeno; CE: conductividad electrica; OD: oxigeno disuelto; TRB: turbiedad; SST: solidos suspendidos totales; ALC: alcalinidad; DUR: dureza; DBO: demanda bioquimica de oxigeno; DQO: demanda quimica de oxigeno; CT: coliformes totales.

*: la correlacion es significativa al nivel 0,05 (bilateral)

** : la correlacion es altamente significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Nota: elaborado por Autores, 2019.

Se obtuvo una relacion altamente significativa entre los parametros de alcalinidad y dureza (0,991), estos se encuentran vinculados a la presencia de sales como el carbonato de calcio (CaCO_3) en el agua; al igual que los parametros de DBO Y DQO (0,994), obteniendo la mayor correlacion, asociados a aspectos de degradacion de la materia orgnica.

Por otra parte, las variables de solidos suspendidos totales y turbiedad (0,961), recibieron una relacion significantiva, estos parametros son directamente proporcionales, aumentando los valores de turbiedad en el agua, con la presencia de solidos suspendidos en ella. Los parametros de DBO y DQO, se ven

relacionados con oxígeno disuelto, con significancias de negativas de -0,988 y -0,973; los parámetros de DBO Y DQO, se encargan de medir el oxígeno disuelto utilizado para la degradación de la materia orgánica en el agua, por lo que presentan relaciones inversamente proporcionales. La conductividad eléctrica y los coliformes totales, presentan una significancia negativa de -0.985.

6.3.2. Analisis de componentes principales (ACP).

Con base en las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el río Sororia, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). En la siguiente tabla, se puede observar la matriz de componentes rotados:

Tabla 35. Matriz de componentes rotados.

	Componente		
	1	2	3
T	,445	-,379	-,812
pH	-,209	-,830	,517
CE	-,643	,687	,337
OD	-,958	,070	,279
TRB	-,223	,226	,948
SST	-,350	-,023	,936
ALC	-,053	,968	,247
DUR	,079	,971	,226
DBO	,967	,082	-,243
DQO	,936	,160	-,315
CT	,730	-,656	-,193

Fuente: autores, 2019.

Tabla 36. Varianza total explicada.

Componente	Auto valores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6,335	57,590	57,590	6,335	57,590	57,590	4,097	37,243	37,243
2	3,234	29,399	86,989	3,234	29,399	86,989	3,703	33,664	70,907
3	1,431	13,011	100,000	1,431	13,011	100,000	3,200	29,093	100,000
4	,000	,000	100,000						
5	,000	,000	100,000						
6	,000	,000	100,000						
7	,000	,000	100,000						
8	,000	,000	100,000						
9	,000	,000	100,000						
10	,000	,000	100,000						
11	,000	,000	100,000						

Nota : elaborada por autores, 2019.

A continuacion, se puede observar el grafico ACP, con relacion a los factores de importancia I Y II, que representan un 86,99% de la varianza total:

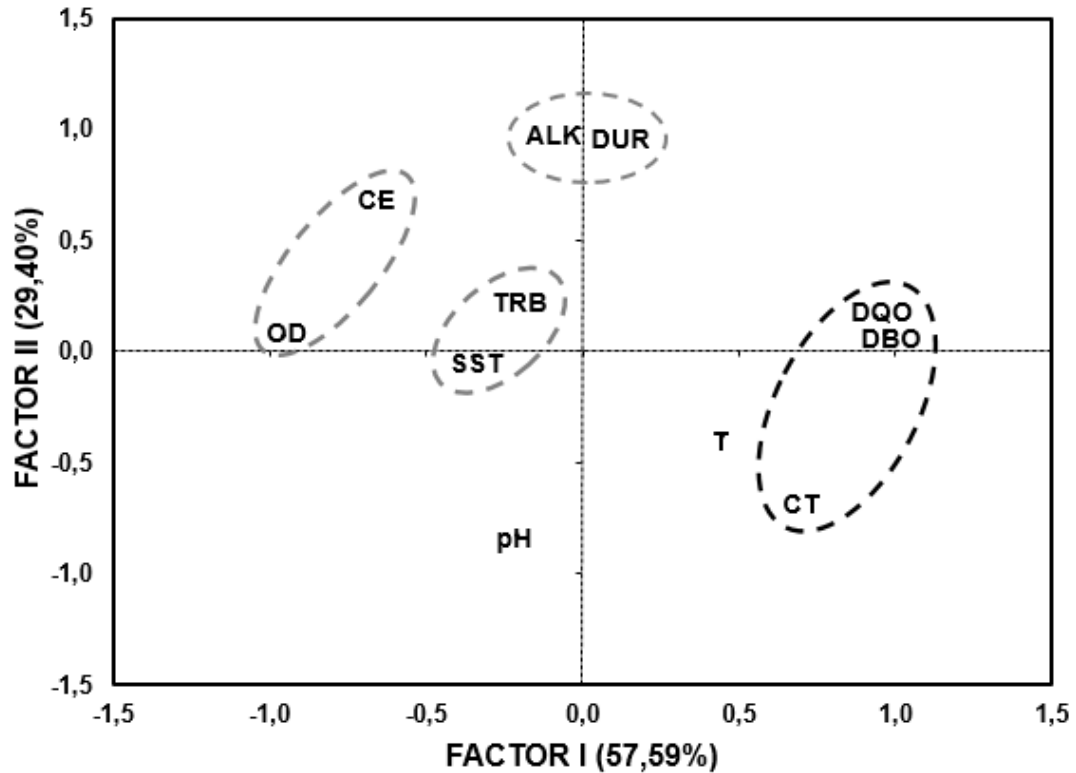


Gráfico 24. Análisis de componentes principales. Autores, 2019.

Con base en las correlaciones ya analizadas, se observa que para el plano factorial I Y II, se asocian los parámetros de coliformes totales, DBO Y DQO, debido a que enfatizan en la contaminación por materia orgánica en el cuerpo de agua. La alcalinidad y la dureza, se relacionan con el aporte de mineralización en el agua, asociados a la actividad minera presente en el tramo analizado. Los parámetros de solidos suspendidos totales y la turbidez, al igual que el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica, también presentan una relación según el gráfico de componentes principales.

6.3.3. Analisis con relacion a la normatividad ambiental vigente.

Se realizo un analisis comparativo, teniendo en cuenta los valores maximos permisibles de los parametros fisicos, quimicos y microbiologicos para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial por actividades de mineria, establecidos en la resolucion 631 de 2015, con relacion a los resultados obtenidos del rio sororia en las temporadas de invierno y verano.

Tabla 37. Valores máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a monitorear en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales por actividades de minería.

PARAMETRO	UNIDADES	EXTRACCION DE CARBON DE PIEDRA Y LIGNITO	VALORES RIO SORORIA (VERANO)	VALORES RIO SORORIA (INVIERNOQ)
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	8,63	8,68
Demanda Química de Oxigeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00	33,50	48,00
Demanda Biológica de Oxigeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00	13,50	24,00
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	23,00	1,54
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	123,00	97,5
Dureza	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte	104,80	92,5
Coliformes totales	NMP/100mL	Análisis y reporte	625000,00	20100000,00

Nota: recuperado de la resolución 631, art 10, 2015.

6.3.3.1. *Potencial de hidrogeno.*

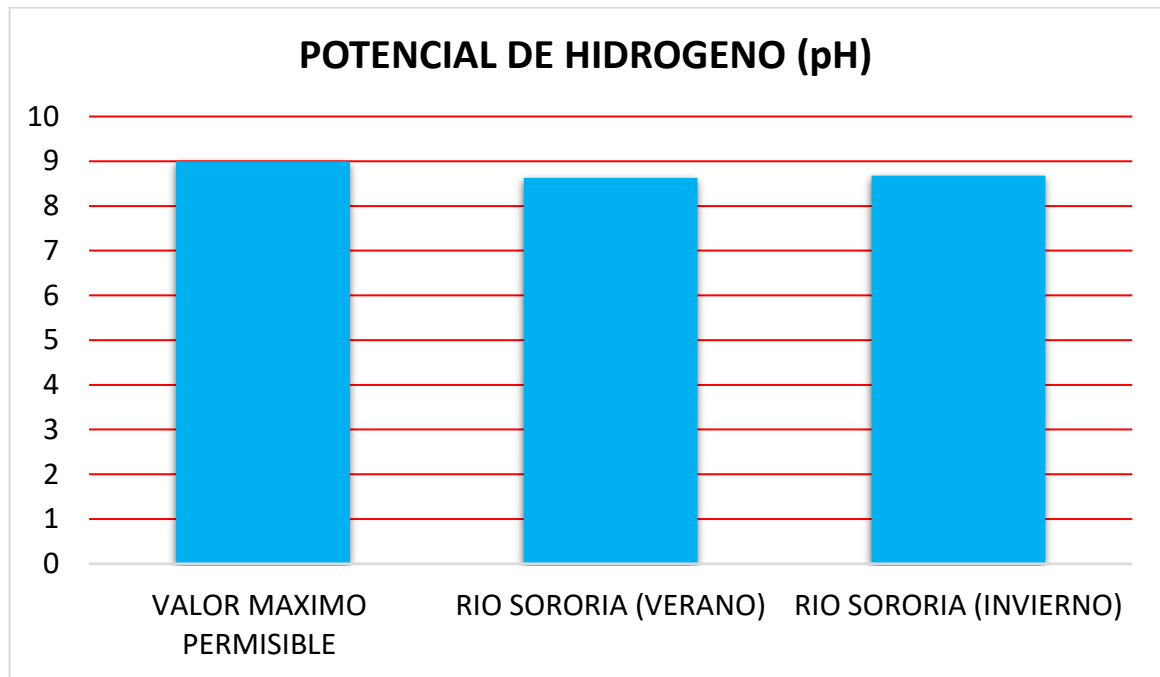


Gráfico 25. Análisis del potencial de hidrogeno en el rio Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible. Autores, 2019

La grafica nos muestra la comparación del pH en las estaciones de muestreo con los límites máximos permisibles expuestos en la resolución 631 de 2015, en las épocas de invierno y verano. Se observaron valores promedio de 8,63 unidades de pH para la época de verano, los cuales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, pero a escasos puntos de superarlo, lo que implica que debe hacerse un control y monitoreo de las actividades mineras que están afectando al cuerpo de agua y mantener dentro de los rangos permisibles al afluyente estudiado. Para la época de invierno, se encontraron resultados promedio de 8,68 unidades de pH, lo que implica un mayor control en el afluyente y evitar que estos valores aumenten o disminuyan, teniendo en cuenta que este afluyente es el utilizado para el consumo humano en la población de la Jagua de Ibirico.

6.3.3.2. Demanda química de oxígeno (DQO).

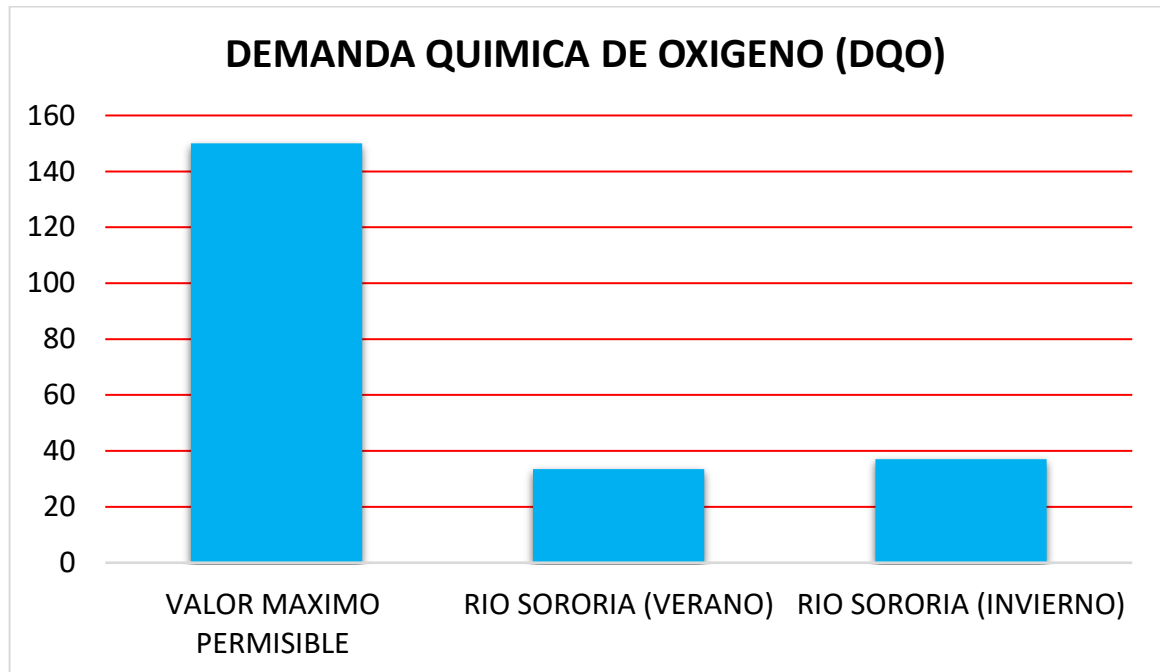


Gráfico 26. Análisis de DQO en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible. Autores, 2019

La grafica nos muestra la comparación entre la normativa estipulada en la resolución 0631 de 2015 y los valores encontrados en las estaciones de monitoreo en el río Sororia para las épocas de invierno y verano. Se encontró que para el parámetro de DQO (Demanda Química de Oxígeno), se encuentran valores dentro de los rangos establecidos en el artículo 10 de la presente resolución con promedios de 33,5 mg/l y 37 mg/l, lo que indica que con base a la normatividad ambiental vigente, no hay ninguna señal de alerta para este parámetro y no existe ninguna afectación en el cuerpo de agua, aun así no deja de ser un parámetro que debe seguir monitoreado debido a que la actividad minera presente en la región puede causar futuras alteraciones en la calidad del recurso hídrico.

6.3.3.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

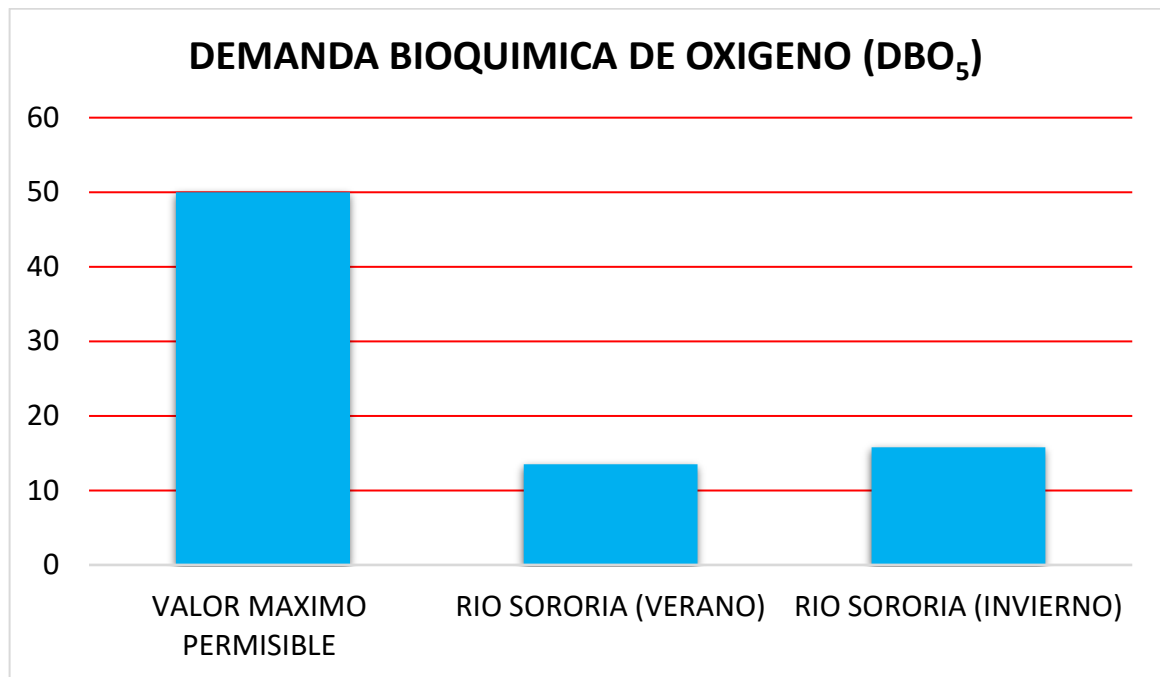


Gráfico 27. Análisis de DBO₅ en el río Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible. Autores, 2019

En gráfica, se observa que para el parámetro de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno), los resultados obtenidos para las estaciones de invierno y verano, se encuentran dentro de los rangos establecidos en el artículo 10 de la resolución 631 de 2015. Los valores promedio obtenidos, fueron de 13,50 mg/l para verano y de 15,8 mg/l. Aunque se encuentre dentro de los valores máximos permisibles, se observa un aumento considerable en este parámetro para la zona cercana a la mina de carbón.

6.3.3.4. *Solidos suspendidos totales (SST).*

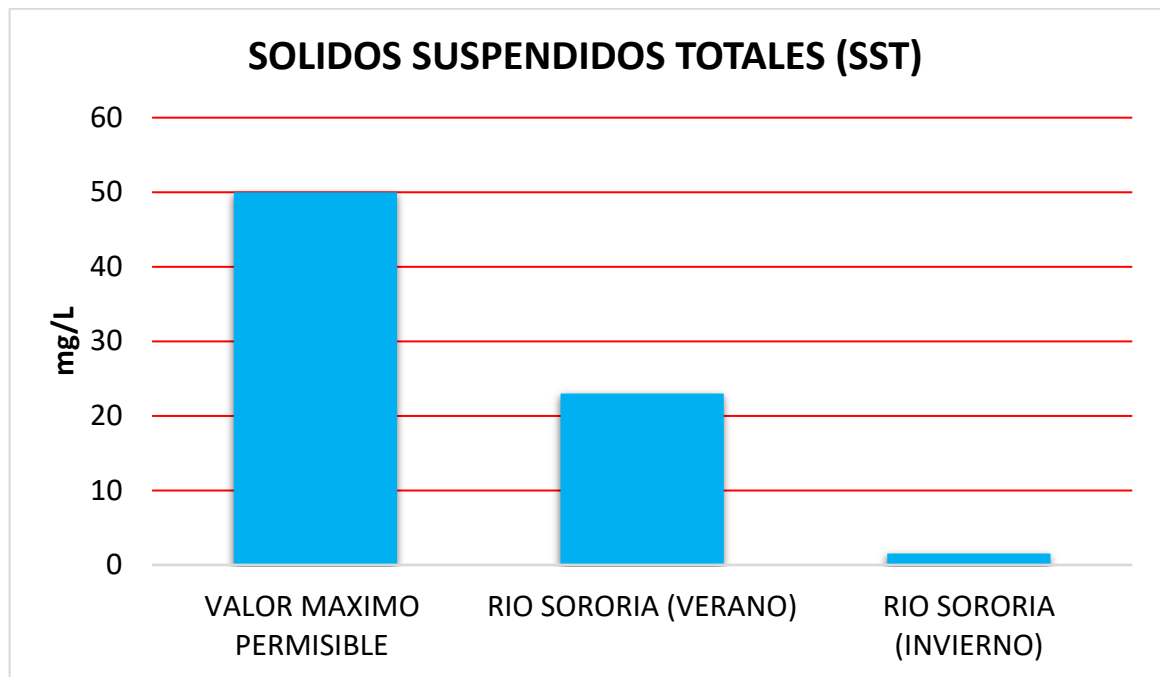


Gráfico 28. Análisis de solidos suspendidos totales en el rio Sororia (verano) con respecto al límite máximo permisible. Autores, 2019

La grafica nos muestra la comparación entre la normativa estipulada en la resolución 0631 de 2015 y los valores encontrados en las estaciones de monitoreo en el rio Sororia para las épocas de invierno y verano. Se encontró que para el parámetro de solidos suspendidos totales (SST) los valores arrojados por el análisis se encuentran dentro de los rangos establecidos en el artículo 10 de la presente resolución. se observaron rangos promedio entre los 23 mg/l para verano y de 1,53 mg/l en invierno. La estación 1 de la temporada verano, arrojó valores de 38 mg/L, el cual se encuentra muy cercano al límite máximo permisible, por lo que resulta necesario establecer monitoreos preventivos y estrategias para la reducción de este parámetro en dicha zona.

7. CONCLUSIONES

- ✓ El índice de calidad de agua ICA y los índices de contaminación del agua (ICOS), son análisis de gran importancia para dar a conocer las condiciones del afluente evaluado, como lo es el caso del río Sororia, propendiendo por desarrollar monitoreos preventivos y diversos estudios que mejoren la calidad del recurso hídrico.
- ✓ Los índices evaluados para el cálculo del ICA (oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DQO, conductividad eléctrica y pH), recibieron para la temporada de invierno, en sus estaciones 1 y 2 una calificación de la calidad del agua de significancia regular, según los rangos establecidos por el IDEAM. En la temporada de verano, la calidad del recurso fue aceptable para la estación 1 y regular para la estación 2, asociando las alteraciones principalmente a los parámetros de DQO, conductividad eléctrica y pH, contando con valores normales, en materia de sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto.
- ✓ Los parámetros relacionados con el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) del río Sororia, como lo son la demanda biológica de oxígeno (DBO), coliformes totales (CT) y oxígeno disuelto (OD), arrojaron en las temporadas de invierno y verano calificaciones de medio y alto, para las estaciones 1 y 2 establecidas, representando un grado de afectación alarmante en el tramo intervenido.
- ✓ La alcalinidad, conductividad y dureza, asociados al cálculo del índice de contaminación por mineralización (ICOMI), presentaron valores alarmantes para las estaciones 1 y 2 en la temporada de verano, recibiendo calificaciones en la calidad del río Sororia de medio y alto respectivamente, asociado a la presencia de compuestos como sales en el afluente. Por otra

parte, las estaciones en la temporada de invierno, recibieron calificaciones de significancia baja.

- ✓ Los índices de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y pH (ICOpH), recibieron calificaciones ambientales no significativas en la afectación del cuerpo de agua, puesto que los parámetros respectivos se encuentran dentro del rango de valores permisibles para garantizar la calidad del afluente.
- ✓ Los parámetros con relaciones más significativas fueron los de ALCALINIDAD – DUREZA (asociadas a la presencia de compuestos como el carbonato de calcio) y los de DBO – DQO con naturaleza negativa (asociados a la demanda de oxígeno para la degradación de la materia orgánica), seguidos con relaciones moderadas en los parámetros de OXIGENO DISUELTO – DBO los cuales poseen una significancia negativa, al igual que el OXIGENO DISUELTO – DBO y COLIFORMES TOTALES – CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. La relación entre la TURBIEDAD – SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, es de naturaleza positiva.
- ✓ Se estableció una comparación entre los parámetros fisicoquímicos del afluente estudiado con respecto a la normatividad legal vigente en materia de las zonas mineras, establecida en la resolución 631 de 2015, donde se evidencio que parámetros como el pH, DBO, DQO Y SST, se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma, no obstante, deben realizarse un monitoreo para prevenir que las acciones antrópicas alteren de forma significativa e irreversible el cuerpo de agua.

8. RECOMENDACIONES.

- ✓ Analizar parámetros no establecidos en este documento en diferentes tramos del río Sororia, asociados a la extracción de carbón mediante la resolución 631 de 2015, como grasas y aceites, fenoles, sustancias activas al azul de metileno, sólidos sedimentables, hidrocarburos, compuestos de fósforo, compuestos de nitrógeno, iones, metales y metaloides.

- ✓ Realizar programas de monitoreo para los vertimientos generados por la actividad minera y agrícola de la zona. Del mismo modo, realizar intervenciones con medidas que terminan mejorar la calidad y agua del afluente.

- ✓ Asegurar que las autoridades ambientales, gubernamentales y empresas prestadoras del servicio de acueducto, velen por el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, para prevenir futuras afectaciones al cuerpo de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ✓ Barreto P. (2009). Procedimiento de muestreo de agua superficial. Universidad nacional. Disponible en:
https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/PROCEDIMIENTO_DE_MUESTREO_DE_AGUA_SUPERFICIAL.pdf
- ✓ Barrios, M. (11 de febrero de 2014) 214.571 hectáreas de carbón contaminan el centro del Cesar. El heraldo. Disponible en:
<https://www.elheraldo.co/cesar/214571-hectareas-de-carbon-contaminan-el-centro-del-cesar-14249>
- ✓ Caho C; Lopez E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaimaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. Bogotá. Disponible en:
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1541/1452>
- ✓ Cañas, J. (2011). Determinación y evaluación de Índices de Contaminación (Icos) en Cuerpos de Agua. Disponible en:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10901/articulo%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✓ Castro M; Almeida J; Ferrer J; Díaz D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global.
- ✓ Castro D y Pinilla G. (2014) Índice de diatomeas periféricas para evaluar la calidad ecológica de los humedales urbanos andinos colombianos de Bogotá.

Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-33-2-p-297.pdf>

- ✓ Pinto L; Molina J. (2019). Evaluación de la Calidad del Agua del Rio Calenturitas, en el Departamento de Cesar, Implementando el Índice de Calidad del Agua (ICA) y los Índices de Contaminación (ICOS) para Colombia. Disponible en:
[Hemeroteca de la Universidad Popular del Cesar](#)

- ✓ Congreso de Colombia (1973). ley 23 de 1973. Disponible en:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/2a-ley_0023_1973.pdf

- ✓ Congreso de Colombia (1993). ley 99 de 1993. Disponible en:
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html

- ✓ Constitución política de Colombia (1991). Artículos 78, 79 y 80. Disponible en:
<http://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>

- ✓ Departamento técnico administrativo del medio ambiente (1997). Resolución 1074 de 1997. Disponible en:
http://tramitesccu.cra.gov.co/normatividad/admon1202/files/RESOLUCION_MAVDT_1074_de_1997.pdf

- ✓ González J. (2017) Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá, Bogotá Colombia. Disponible en:
<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13563/3/1023892238.pdf>

- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM (1984). Decreto 1594 de 1984. Disponible en:

http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f

- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM (2003). Resolución 104 de 2003. criterios y parámetros para la Clasificación y Priorización de cuencas hidrográficas. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_104_de_2003.pdf

- ✓ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (2011). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

- ✓ Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015). Resolución 0631 de 2015. Disponible en: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>

- ✓ Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2007). Resolución 2115 de 2007. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

- ✓ Ministerio de desarrollo económico (2000). Documentación técnico normativa del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000). Santa fe de Bogotá. Disponible en: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAqua/010710_ras_titulo_a_.pdf

- ✓ Ministerio del medio ambiente (1997). Decreto 901 de 1997. Disponible en: https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto0901_19970401.htm
- ✓ Nieto J. (2015). Manipulación y ensamblaje de tuberías. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=c2wHCwAAQBAJ&pg=PA282&dq=manipulacion+y+ensamblaje+de+tuberias&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjJxqWF9MfkAhXk1FkKHU7aDi0Q6AEIKTAA#v=onepage&q=manipulacion%20y%20ensamblaje%20de%20tuberias&f=false>
- ✓ Observatorio Nacional de Cartagena de Indias (2014). Análisis del cálculo de indicadores de calidad de agua Cartagena, bolívar. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-de-canos-y-lagos/analisis-del-calculo-de-indicadores-de-calidad-de-agua/>
- ✓ Pardo A. (2011). Cesar: la minería tiene un gran costo social y ambiental. La razón pública. Disponible en: <https://www.razonpublica.com/index.php/politica-y-gobierno-temas-27/2471-cesar-la-mineria-tiene-un-gran-costo-social-y-ambiental.html>
- ✓ Pinilla G. (2010) Un índice de condiciones limnológicas para los humedales urbanos de la ciudad de Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552017000200035
- ✓ Presidente de la república de Colombia (1974). Decreto 2811 de 1974. Disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html

- ✓ Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD) (2015). Perfil productivo del municipio La Jagua de Ibirico. Colombia. Disponible en: https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_la_jagua
- ✓ QuimiNet (2004). Glosario de términos relacionados con el agua. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/glosario-de-terminos-relacionados-con-el-agua-impermeable-ley-de-henry-2573245.htm>
- ✓ Ramírez A. Restrepo R. y Viña G (1997) Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. formulaciones. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- ✓ Rubio H; Ortiz R; Quintana R; Saucedo R; Ochoa J; Rey N. (2015) Índice de calidad (ICA) de la presa la boquilla en chihuahua, México. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005
- ✓ Sensores e instrumentación Guemisa SL. Oxígeno disuelto. Disponible en: http://www.guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno_disuelto.pdf
- ✓ SILAP (2019). Sistema local de áreas protegidas (SILAP) de la Jagua de Ibirico. Disponible en: <http://paisajesrurales.com/2019/04/01/sistema-local-areas-protegidas-silap-la-jagua-ibirico/>
- ✓ Sistema de información del medio ambiente (2007). Ficha técnica. Sólidos suspendidos totales. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf





- ✓ Sistema de información del medio ambiente (2007). Ficha técnica. Oxígeno disuelto. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Odisuelto.pdf>

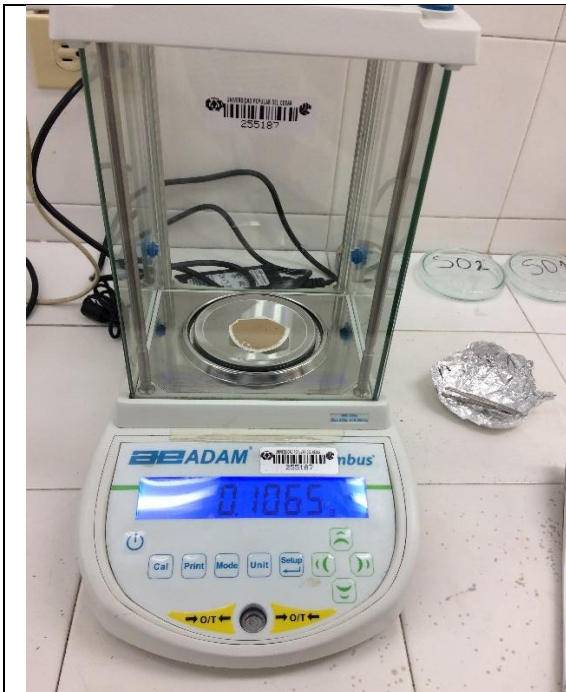
- ✓ Torres, P. (2008). índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica. Disponible en; <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

- ✓ Vélez M. (2014) Sostenibilidad ambiental: Nuestra última frontera. Editorial Universidad de Cartagena. Disponible en: <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/4814/1/Sostenibilidad%20ambiental.pdf>.

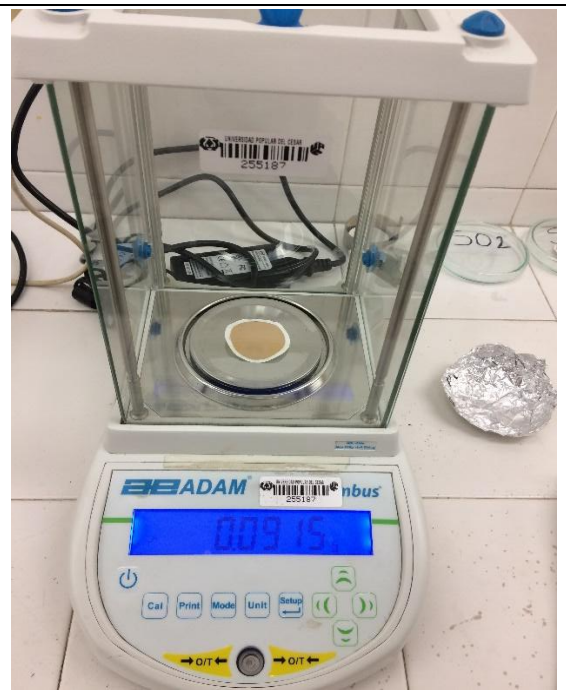
ANEXOS

Tabla 38. Registro fotográfico.

ANALISIS DE LABORATORIO	
	
Filtros	Toma de turbiedad (Turbidímetro)
	
Desecador	Balanza analítica



Balanza analítica



Balanza analítica



Horno

TRABAJO DE CAMPO



Visita de campo rio Sororia



Medición de pH, estación 2 (verano)



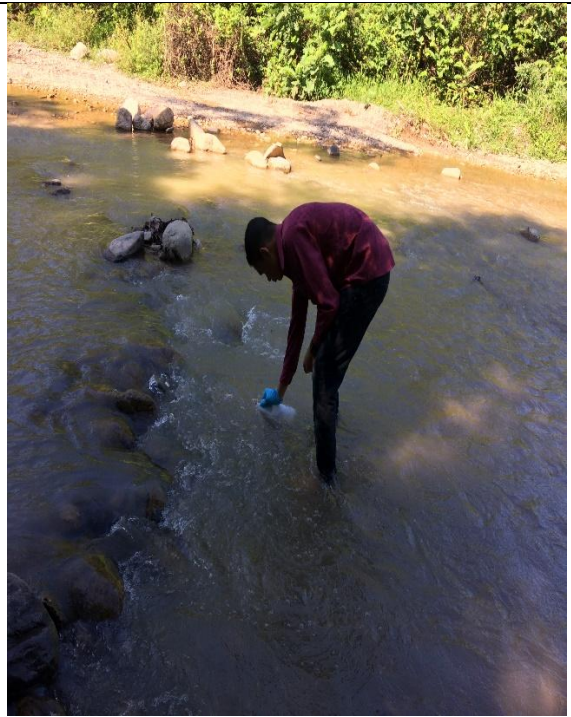
Toma de muestras, estación 2 (verano)



Estación 2 (verano)



Medicion de pH,estación 1 (verano)



Toma de muestras, estación 1 (verano)



Estación 1 (verano)




Estación 1 (verano)

	
<p>Toma de muestras, estación 2 (invierno)</p>	<p>Estación 2 (invierno)</p>
	
<p>Toma de muestras, estación 1 (invierno)</p>	<p>Estación 2 (invierno)</p>

Fuente: autores, 2019.

RESULTADOS DE LABORATORIO PARA DQO, DBO₅, DUREZA, ALCALINIDAD Y COLIFORMES TOTALES DE LAS MUESTRAS DE AGUA EN EL RÍO SORORIA EN ÉPOCA DE INVIERNO Y VERANO.

	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS		VIGENCIA	
			14 - 01 - 17	
			VERSION: 1	PAG: 1

REPORTE DE ENSAYO
 No 1419-1

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	ODS No. 1419-1 Códigos: 0418 - 1419-1
CLIENTE: Grupo de Investigación Estudios Sanitarios y Ambientales - E.S.A.	NIT/C.C. N 1
CONTACTO/CARGO: Luis Montoya	DIRECCIÓN: Becerril
DEPARTAMENTO: Cesar	MUNICIPIO: El paso
TELEFONO:	

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

CÓDIGO	NATURALEZA DE LA MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	MUESTRA TOMADA POR		Laboratorio	
				FECHA DE MUESTREO	HORA	FECHA DE INGRESO MUESTRA	HORA
0418 - 1419-1	AGUA	RIO SORORIA - VERANO	P1: CABECERA DEL RIO P2: LA JAGUA DE IBRICO	2018-04-08	08:00 am	2018-04-08	04:25 pm
				FECHA INICIO DE ENSAYOS		2018-04-08	
				FECHA FINALIZ. DE ENSAYO		2018-04-28	
				FECHA DE REPORTE		2018-04-28	

N.A. No aplica N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FISICO-QUÍMICOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADOS	
				0418 - 1419-1 P1	0418 - 1419-1 P2
DBO ₅	SM 5210 B y SM 4600-O G/Inhibición a 5 días y Electrodo de Membrana	mg/L	-	6,0	21
DQO	SM 5220 D/Reflujo Cerrado Colormétrico	Mg O ₂ /L	-	31	46
Alcalinidad Total	SM 2320 B Volumétrica	mg CaCO ₃ /L	-	112	134
Dureza Total	SM 2340 Cl Volumétrica con EDTA	mg CaCO ₃ /L	-	98,5	113
Coliformes totales	NPMF Filtración por membrana	UFC/100ml	-	5x10 ¹	12x10 ²

Nota: Los resultados sólo están relacionados con las muestras analizadas. Es válido únicamente con firmas y en original. Este informe de resultados no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio. LABORATORIOS BIOINDALAMAB se compromete a mantener la confidencialidad de los resultados de los ensayos.

PEDRO JOSÉ FRAGOSO
 BACTERIOLOGO MSC, P1
 TP: 507-02
PEDRO JOSE FRAGOSO C.
 Bacteriólogo MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Dirección calle 8ª N 22-80 Valledupar. TEL.5700657, CEL. 3166954067. www.bioindalamb.com
 E - mail. pedroiosefragoso@gmail.com, bioindallab@gmail.com



FORMATO REPORTE DE RESULTADOS

VIGENCIA
14 - 01 - 17
VERSION: 1 | PAG: 1

REPORTE DE ENSAYO
No. 1432-1

ODS No. 1432-1
Codigo: 0518-1432-1

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE:	Grupo de Investigación Estudios Sanitarios y Ambientales - E.S.A.	NIT/C.C.	N.I.
CONTACTO/CARGO:	Luis Montoya	DIRECCIÓN:	Beccarri
DEPARTAMENTO:	Cesar	MUNICIPIO:	El Paso
		TELÉFONO:	

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

CODIGO	NATURALEZA DE LA MUESTRA	IDENTIFICACION	LUGAR DE MUESTREO	MUESTRA TOMADA POR			
				Fecha	HORA		
0518-1432-1	AGUA	RIO BORORJA - INVIERNO	P1: CABECERA DEL RIO P2: LA JAGUA DE IBIRICO	FECHA DE MUESTREO	2018-03-20	HORA	08:00 am
				FECHA DE INGRESO MUESTRA	2018-05-20	HORA	04:25 pm
				FECHA INICIO DE ENSAYOS	2018-05-20		
				FECHA FINALIZ. DE ENSAYO	2018-06-16		
				FECHA DE REPORTE	2018-06-16		

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FISICO-QUÍMICOS

MICROBIOLÓGICOS

RESULTADOS

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	0518-1432-1	0518-1432-1
DBO ₅	SM 5210 B y SM 4500-D Clincubación a 5 días y Electrodo de Membrana	mg/L	-	7.5	24
DQO	SM 5270 D Reflejo Ocuado Colorimétrico	Mg O ₂ /L	-	26	18
Alcalinidad Total	SM 2290 B Alkalinidad	mg CaCO ₃ /L	-	195	90
Dureza Total	SM 2240 C Volumétrico con EDTA	mg CaCO ₃ /L	-	95	90
Coliformes Intest.	MPMP Filtración por membrana	UFC/100ml	-	2.10 ⁴	4.6x10 ⁴

Nota: Los resultados sólo serán relacionados con las muestras analizadas. Es válido únicamente con firmas y en original. Este informe de resultados no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio. LABORATORIOS BIOINDALAMB se compromete a mantener la confidencialidad de los resultados de los ensayos.

PEDRO JOSÉ FRAGOSO

BACTERIÓLOGO MSc. F

TP: 507-02

PEDRO JOSE FRAGOSO C.

Bacteriólogo MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Dirección calle 8ª N 22-80 Valledupar. TEL.5700657, CEL. 3166954067. www.bioindalamb.com

E-mail. pedrojosefragoso@gmail.com, bioindalab@gmail.com