

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO
CESAR MEDIANTE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICOs)**



AUTORES:

HERMES JUNIOR ACOSTA ACOSTA
GREY PAOLA DÁVILA CASTILLO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO
CESAR MEDIANTE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICOs)**

AUTORES:

HERMES JUNIOR ACOSTA ACOSTA

GREY PAOLA DÁVILA CASTILLO

DIRECTOR

YIM JAMES RODRÍGUEZ

CANDIDATO A DOCTOR EN EDUCACIÓN

CODIRECTOR

JAIME LUIS ARIZA RESTRPO

CANDIDATO A MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

DEDICATORIA

A mis padres; Hermes Alaín Acosta Bertel de quien heredé el nombre que hoy porto con orgullo y quien me motiva día a día a superarme y lograr las metas que me propongo, y Angélica Patricia Acosta Mora que ha sido mi mayor apoyo en los momentos que quiero caer. A ustedes dedico este logro, ustedes que han inculcado en mí los valores necesarios para formarme en cualquier ámbito de la vida, sin duda alguna no habría podido llegar hasta aquí si alguno de los dos estuviera ausente en mi vida, desde lo más profundo de mí y con todo mi amor.

Hermes Junior Acosta Acosta

Este trabajo de grado se lo dedico a mis padres, Antonio María Dávila Salcedo y Diana María Castillo Martínez, quienes siempre me han apoyado, han creído en mí y me han impulsado a lograr mis sueños, ustedes me han ensañado muchos valores que me han formado como persona, como la perseverancia, la humildad, el respeto y la honestidad. Este logro es fruto de su constante esfuerzo y dedicación en mi formación profesional, por lo tanto, este logro hoy también es suyo.

Grey Paola Dávila Castillo



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la vida por ponerme en el lugar indicado para que hoy sea la persona que soy. Agradezco a mis padres por apoyarme y quererme tanto, este logro es más de ustedes que mío.

A mis amigos Sergio Carrillo, Greysi Velasco, Anderson Saumeth, Grey Dávila, Jhonatan Rojas y Andrés Villate, quienes forman parte fundamental de mi vida personal y académica y quienes me han acompañado en el transcurso de esta etapa de mi vida, a ustedes agradezco el no dejarme solo en ningún momento y brindarme el apoyo para superar cada una de las adversidades presentes en la vida. También agradezco a Euller Rodríguez y Jarlis Campuzano, colegas y compañeros que me motivan cada día más a ser un mejor profesional.

Finalmente agradecerle a los Ingenieros Yim Rodríguez y Jaime Ariza, quienes han sido grandes tutores en esta investigación y han tenido gran compromiso por sacarla adelante.

A todos los mencionados anteriormente, gracias por hacer parte de mi formación personal y profesional.

Hermes Junior Acosta Acosta



AGRADECIMIENTOS

Queridos padres Antonio María Dávila Salcedo y Diana María Castillo Martínez, no encuentro las palabras para agradecerles lo suficiente por su inmensa dedicación y apoyo durante todo este proceso. Gracias por su amor incondicional y por haberme enseñado el valor de la perseverancia y el trabajo duro. Este logro hoy no sería posible sin su constante apoyo en cada paso que he dado.

A mis amigos Hermes Acosta, Andrés Villate, Sergio Carrillo y Jhonatan Rojas y a mi pareja, Anderson Saumeth, quienes han sido mi compañía y alegría durante todo el proceso formativo. Gracias por confiar en mí, por haberme brindado su apoyo incondicional siempre que lo necesité, por haberme acompañado durante cada desafío y obstáculo que se presentó en el camino y por ayudarme a superarlo, por eso y más, este logro no es solo mío, sino también de ustedes que me han apoyado y alegrado con su humor. También agradezco a otros compañeros que hicieron que mi paso por la universidad fuera más fácil y significativo, como Euler, Jarlis y Oneider y demás personas que confiaron en mí y me apoyaron.

Finalmente, a mi director Yim Rodríguez y a mi codirector Jaime Ariza. Agradezco profundamente su significativa orientación y su empeño y compromiso en el desarrollo este proyecto. Sus enseñanzas y conocimientos fueron decisivas para la terminación de esta investigación. Les quiero dar las gracias por su paciencia y dedicación y por su disposición para asesorarme, su guía fue clave en mi proceso de formación académica y profesional, y estoy segura de que los conocimientos adquiridos en este proceso me acompañarán a lo largo de mi vida profesional.

Grey Paola Dávila Castillo

RESUMEN

En la cuenca media del río Cesar se evidencian distintos contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos provenientes de actividades realizadas en la región como la agricultura, la ganadería y vertimientos de aguas residuales provenientes del municipio de Valledupar. El proyecto se fundamentó con el propósito determinar la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar empleando Índices de Contaminación. La metodología aplicada relaciona los índices por; pH, sólidos suspendidos, temperatura y por materia orgánica, siguiendo rangos que van desde 0 a 1 según lo establecido por Cañas (2014), siendo 0 indicador de contaminación nula y 1 muy alta. Para su desarrollo, se ubicaron 6 puntos de toma de muestra a lo largo de la cuenca media del río Cesar, los cuales fueron; Guacoche, Salguero, Las Pitillas, Los Calabazos, Hurtado y Tarullal. El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en cuatro muestreos, dos en temporada seca y dos en temporada de lluvia. Los resultados establecen la ausencia de contaminación por ICOpH, ICOSUS o ICOtemp en ambas temporadas, pero, el ICOMO en temporada de lluvia alcanzó en promedio una contaminación baja para Guacoche, Tarullal y Los Calabazos, media para Hurtado y Las Pitillas y alta en Salguero. En temporada seca, Salguero y Las Pitillas obtuvieron una contaminación alta, mientras los demás puntos una contaminación media. En conclusión, la principal problemática ambiental del agua de la cuenca es la contaminación por materia orgánica representada a través del ICOMO, que podría estar asociado al sector productivo de ganadería y los vertimientos de aguas residuales.

PALABRAS CLAVE: ICO, ICOMO, ICOSUS, ICOpH e ICOtemp

ABSTRACT

In the middle basin of the Cesar River there are different physicochemical and microbiological contaminants from activities carried out in the region such as agriculture, livestock and wastewater discharges from the municipality of Valledupar. The project was based on the purpose of determining the water quality of the middle basin of the Cesar River using contamination Indicators. The applied methodology relates the indices by; pH, suspended solids, temperature and by organic material, following ranges that go from 0 to 1 as established by Cañas (2014), being 0 an indicator of zero contamination and 1 very high. For its development, 6 sampling points were located along the middle basin of the Cesar River, which were; Guacoche, Salguero, Las Pitillas, Los Calabazos, Hurtado and Tarullal. The development of the research was carried out in four samplings, two in summer seasons and two in winter seasons. The results establish the absence of contamination by ICOpH, ICOSUS or ICOTemp in both seasons, but the ICOMO in winter reached an average low contamination for Guacoche, Tarullal and Los Calabazos, medium for Hurtado and Las Pitillas and high in Salguero. In summer, Salguero and Las Pitillas obtained high contamination, while the other points had medium contamination. In conclusion, the main environmental problem of water in the basin is contamination by organic matter represented through ICOMO, which could be associated with the productive sector of livestock and wastewater discharges.

KEYWORDS: ICO, ICOMO, ICOSUS, ICOpH, ICOTemp



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	5
3. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. MARCO REFERENCIAL.....	8
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
4.1.1. Internacionales:	8
4.1.2. Nacionales:.....	8
4.1.3. Regionales y locales:.....	9
4.2. MARCO TEÓRICO.....	11
Agua:.....	11
➤ Aguas superficiales.....	11
➤ Aguas subterráneas	12
➤ Aguas meteóricas.....	12
Cuenca hidrográfica	12
Calidad del agua.....	12
Presión ambiental:.....	13
Afectación potencial:	13
Sustancias peligrosas:	13
Contaminación del agua.....	13
Índices de medición de la contaminación del agua.....	14

➤	índice de contaminación por mineralización (ICOMI):	14
➤	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):.....	14
➤	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):.....	14
➤	Índice de contaminación por pH (ICOPH):	14
➤	Índice de contaminación por temperatura (ICOTEM):	14
4.3. MARCO CONCEPTUAL		15
	Coliformes totales:	15
	Cuenca:	15
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):	15
	Erosión:	15
	Materia orgánica:	15
	Oxígeno disuelto:	15
	Parámetros fisicoquímicos del agua:	15
	Parámetros microbiológicos del agua:	15
	pH:	16
	Procesos antropogénicos:.....	16
	Sólidos suspendidos:.....	16
	Temperatura:	16
	Vertimientos de aguas residuales:.....	16
4.4. MARCO CONTEXTUAL		17
4.5. MARCO LEGAL.....		19
5. MARCO METODOLÓGICO.....		21
5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN.....		21
5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN		21
5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN		21
5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO		21

5.5. MUESTRA POBLACIONAL	22
5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	22
5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO	22
5.7.1. Etapa 1: Determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos	22
➤ Identificación de los puntos de muestreo:	23
➤ Toma de muestras:	23
5.7.2. Etapa 2: Determinación de la calidad del agua por medio de la implementación de índices de contaminación ambiental.	24
➤ Análisis de los índices de contaminación del agua:	24
➤ Comparación de la calidad del agua mediante los índices de contaminación en temporada de lluvia y temporada seca:	28
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
6.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN LA SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR.....	29
6.1.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	29
6.1.2. TOMA DE MUESTRAS	31
• PRIMERA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA DE LLUVIA)	31
• SEGUNDA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA DE LLUVIA).....	31
• VALORES MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMOS EN TEMPORADA DE LLUVIA.....	32
• TERCERA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA SECA).....	40
• CUARTA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA SECA).....	40
• VALORES MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMOS EN TEMPORADA SECA.....	41
6.2. ANALIZAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR MEDIANTE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN	46
6.2.1. ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN	46

•	RESULTADOS EN TEMPORADA DE LLUVIAS.....	46
•	RESULTADOS EN TEMPORADA SECA.....	55
6.2.1.	COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN EN RELACIÓN A LAS TEMPORADAS DE LA TOMA DE MUESTRAS	63
7.	CONCLUSIONES	65
8.	RECOMENDACIONES.....	68
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	ANEXOS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Río Cesar</i>	17
Figura 2 <i>Ubicación de Valledupar en el territorio nacional</i>	18
Figura 3 <i>Georreferenciación de los puntos de toma de muestra</i>	30
Figura 4 <i>Esquematización de los resultados obtenidos del ICOpH e ICOTEMP en el promedio de la temporada de lluvias</i>	51
Figura 5 <i>Esquematización de los resultados obtenidos del ICOSUS en el promedio de la temporada de lluvias</i>	51
Figura 6 <i>Esquematización de los resultados obtenidos del ICOMO en el promedio de la temporada de lluvias</i>	52
Figura 7 <i>Esquematización de los resultados obtenidos del ICOpH, ICOSUS e ICOTEMP en el promedio de la temporada seca</i>	60
Figura 8 <i>Esquematización de los resultados obtenidos del ICOMO en el promedio de la temporada seca</i>	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Normatividad Nacional de Interés</i>	19
Tabla 2 <i>Métodos empleados para la determinación de los parámetros evaluados</i>	25
Tabla 3 <i>Método empleado para la determinación de los SST</i>	26
Tabla 4 <i>Equipos empleados para la determinación del pH y la temperatura</i>	27
Tabla 5 <i>Rangos de contaminación del ICO</i>	28
Tabla 6 <i>Ubicación de los puntos de muestra</i>	29
Tabla 7 <i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la primera toma de muestras</i> ...	31
Tabla 8 <i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la segunda toma de muestras</i> ..	31
Tabla 9 <i>Valores máximos, medios y mínimos de cada punto de muestra en la temporada de lluvia</i>	32
Tabla 10 <i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la tercera toma de muestras</i> ..	40
Tabla 11 <i>Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la cuarta toma de muestras</i> ...	40
Tabla 12 <i>Valores máximos, medios y mínimos de cada punto de muestra en la temporada seca</i>	41
Tabla 13 <i>Índice de Contaminación por pH (ICOpH) en la temporada de lluvias</i>	46
Tabla 14 <i>Índice de contaminación por sólidos suspendidos (SST) en temporada de lluvias</i> .	47
Tabla 15 <i>Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP) en temporada de lluvias</i>	48
Tabla 16 <i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la primera toma de muestras de temporada de lluvias</i>	48
Tabla 17 <i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la segunda toma de muestras de temporada de lluvias</i>	49
Tabla 18 <i>Promedios del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en temporada de lluvias</i>	50
Tabla 19 <i>Índice de Contaminación por pH (ICOpH) en la temporada seca</i>	55
Tabla 20 <i>Índice de contaminación por sólidos suspendidos (SST) en temporada seca</i>	56
Tabla 21 <i>Índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) en temporada seca</i>	57
Tabla 22 <i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la primera toma de muestras de la temporada seca</i>	57
Tabla 23 <i>Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la segunda toma de muestras de la temporada seca</i>	58

Tabla 24 *Promedios del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en temporada seca*59

INTRODUCCIÓN

El agua representa una característica importante para la preservación de la vida del planeta, por lo que, durante los asentamientos de las primeras civilizaciones, estas se ubicaban a la margen de alguna fuente de abastecimiento, permitiéndose así obtener recursos y alimentos para su supervivencia (Pozas, 2015). A lo largo de los años esta regla de supervivencia se ha mantenido, es por esto que hoy en día, para el desarrollo de una urbe se hace casi indispensable la ubicación de esta cerca de un cuerpo de agua (Durán y Torres, 2006), por consiguiente, este proyecto tiene como eje principal la evaluación de la calidad del agua, debido a la importancia que esta supone para la supervivencia de los seres vivos y en relación de que el acceso a agua dulce y potable es una de las principales preocupaciones que azotan a la sociedad actual y que preocuparán a las generaciones futuras (Agudelo, 2005) .

Por lo tanto, al representar el agua un elemento de suma importancia, se planteó realizar un proyecto de grado en el que se pusieran en práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica, en virtud de que una de las temáticas de aplicación de la ingeniería ambiental y sanitaria es el agua, ya sea cruda, potable o residual. En consecuencia, este proyecto tiene como propósito la evaluación de la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar, mediante índices de contaminación (ICO), pues al ser esta la principal fuente hidrográfica de la región, despertó el interés de conocer las condiciones ambientales en la que se encuentra, principalmente por el vertimiento de aguas residuales de la PTAR de la ciudad de Valledupar, la que puede o no representar una amenaza para la fuente y para los organismos vivos que habitan en ella. Por lo expuesto, se plantearon dos objetivos específicos que dieran cumplimiento a la investigación, los cuales fueron llevar a cabo una caracterización física, química y microbiológica y el segundo consistía en realizar el análisis del agua de la cuenca implementando los ICO.

Con el propósito de darle cumplimiento a los objetivos específicos planteados anteriormente para el desarrollo del proyecto, se emplearon índices de contaminación como el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendido (ICOSUS), Índice de Contaminación por pH (ICOpH) e Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTemp), siendo este último, aplicado en puntos donde existe vertimiento de aguas residuales. La metodología a utilizar en el proyecto consiste en

primera instancia de una ubicación geográfica de los puntos de muestra, una toma de muestras, seguida de una caracterización física, química y microbiológica del agua de la cuenca (In situ y Ex situ).

En definitiva, el documento final, se encuentra organizado mediante ocho capítulos, donde el primero corresponde a el planteamiento del problema, seguido de la justificación y los objetivos del proyecto, el capítulo cuatro aborda el marco referencial, donde a su vez se encuentra los antecedentes, las normativas de interés, el marco contextual y toda la parte teórica del proyecto, mientras el capítulo cinco abarca el marco metodológico, seguido por los resultados y análisis de los mismos, finalizando con las conclusiones y recomendaciones, que corresponden al capítulo siete y ocho respectivamente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el principio de la humanidad uno de los pilares fundamentales para el sostenimiento de la vida ha sido el agua. Su importancia ha sido tal, que hoy en día el acceso al agua es un derecho fundamental (ONU, 2010). El agua es una sustancia indispensable para la vida en el planeta tierra, dado que posee características que la convierten en única, gracias a estas propiedades el agua es considerada como un solvente universal, esto se debe a la capacidad que tiene para disolver sustancias, por lo que rara vez esta se encuentra en estado puro (Fernández, 2012).

Esta capacidad que posee el agua para disolver sustancias también puede ser perjudicial en algunos sentidos, debido a que fácilmente se puede mezclar con contaminantes (Olmos, Sepúlveda & Villalobos, 2002, p.24). Entre estos, uno de los contaminantes más representativos en cuerpos de aguas son los vertimientos de aguas residuales provenientes de las ciudades, debido a que en algunos casos la fuente hídrica no cuenta con la capacidad de descomponer o neutralizar esta carga orgánica, lo que puede generar problemas de salud pública e impactos socioeconómicos debido a que en los puntos de vertimientos de aguas residuales se pueden evidenciar afectaciones en la fauna y flora (Rodríguez, 2017).

El vertimiento de aguas residuales genera una disminución del nivel de oxígeno disuelto debido a los procesos realizados en el agua para la asimilación de estos cuerpos de agua externos, esto puede llegar a provocar una mortandad de peces, en vista de que los valores mínimos para la mayor parte de las especies se encuentran entre 5 y 6 mg/L (Peña, 2007), un golpe duro para los habitantes de estas regiones, quienes muchas veces ven reflejado su sustento en actividades como la pesca.

En el sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta se localiza el río Cesar, uno de los más importantes para las ciudades ribereñas, debido a su fauna y flora y a que muchas actividades económicas de la zona dependen de esta fuente hídrica, sin embargo, al realizar actividades como la ganadería, agricultura, entre otras, en el río sin precaución se puede generar una contaminación (Guzmán, 2013). Unas de las principales fuentes contaminantes que recibe el río Cesar a lo largo de su recorrido son los vertimientos de aguas residuales, los cuales implican una fuerte carga de materia orgánica, una carga que el río no tiene capacidad de asimilar y que puede resultar perjudicial para todas aquellas poblaciones que tienen un

asentamiento aguas abajo a orillas del río, esto se debe a que estas aguas suelen ser utilizadas como fuente principal de abastecimiento para algunas actividades (Fontalvo, 2015).

Un estudio llevado a cabo por Cortéz y Oñate (2020) sobre el estado del agua del río Cesar a causa de los vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar, demostró que estos vertimientos generan un mayor consumo de oxígeno, por consiguiente, se ocasiona una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto disponible en el río, lo que indica que, con respecto a este parámetro, las condiciones del agua son críticas.

En la cuenca media del río Cesar se pueden encontrar muchos afluentes, siendo uno de ellos el río Guatapurí (Guzmán, 2013), este, por su riqueza en biodiversidad es uno de los más importantes del departamento del Cesar, este nace en la sierra nevada de Santa Marta (Semana, 2021). Sin embargo, esa riqueza se ha visto gravemente afectada por acciones antrópicas, entre ellas podemos encontrar la pérdida de la capa del suelo y la vegetación como consecuencias de la construcción de caminos vecinales, la pérdida de vegetación a su vez favorece a procesos erosivos y al ingreso de residuos sólidos como los plásticos a la cuenca del río Guatapurí (CORPOCESAR, 2019). Al ser este un afluente del río Cesar, todos estos contaminantes que no logren ser asimilados por el cuerpo de agua, serán vertidos y tendrán repercusiones en el río Cesar.

El objeto de estudio de esta investigación fue la corriente media de la cuenca del río Cesar, la principal problemática que se evidenció fue la pérdida de la calidad del cuerpo lótico como resultado de la contaminación por materia orgánica, representado por el ICOMO, principalmente por la presencia de coliformes totales y elevados índices de DBO₅ en algunos puntos, siendo más evidente en temporada seca. Además de los problemas mencionados, la cuenca, también posee contaminación por los residuos sólidos que son arrastrados mediante escorrentía y que terminan en el río.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar determinada mediante los índices de contaminación (ICOs)?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La necesidad de proveer agua para todas las poblaciones es una de las problemáticas ambientales del siglo XXI (Jouravlev, 2004), es por esto que los gobiernos de muchos países en el mundo han buscado estrategias para preservar la calidad de los recursos hídricos y de esta forma poder cumplir con el suministro de agua potable a sus comunidades. Al haber mayor presencia de contaminación en una fuente hídrica mayores son los esfuerzos que se deben hacer para que esta pueda ser consumida sin poner en riesgo la salud de las personas.

Algunas comunidades rurales que han tenido un asentamiento al margen del río Guatapurí tienen un acceso limitado a los servicios públicos (CORPOCESAR, 2018), por lo tanto, se ven obligados a subsanar esta falta utilizando el cauce del río como fuente de abastecimiento, de tal forma que encontrar niveles de contaminación en el río presenta un serio problema y una limitación del uso para estas comunidades. Es por esto que se hace necesario implementar metodologías que nos ayuden a determinar el grado de contaminación que tiene la cuenca media del río Cesar.

Entre estas metodologías se pueden encontrar los índices de contaminación (ICO), estos tienen en cuenta una serie de variables físicas, químicas y microbiológicas, estas variables evalúan la calidad del agua y no de contaminantes determinados; los ICO nos permiten realizar una evaluación sobre la fuente hídrica que a partir de un valor numérico (desde 0 a 1) se expresará una valoración que indique el nivel de contaminación de la fuente (Ramírez, Restrepo y Viña, 1997). Los ICO representan gran importancia en la preservación de la calidad de los ambientes acuáticos, dado a que se debe garantizar que estos medios no sean gravemente afectados, por lo tanto, los ICO forman parte del conocimiento necesario para la valoración de las posibilidades de uso de recursos hídricos, además de comparar las condiciones en sitios que han sido afectados por actividades antrópicas; en cuanto a las autoridades ambientales los índices de contaminación ambiental tienen la función de comunicar o valorar la calidad del cuerpo hídrico con fines de control y regulación (Fernández, Ramos y Solano, 2005).

Mediante los índices de contaminación (ICO) se determinará la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar y teniendo en cuenta el grado de contaminación de la misma se podrán establecer estrategias para solucionar los problemas de contaminación en el recurso y la falta de abastecimiento a comunidades rurales que emplean el agua de este río como su fuente

de abastecimiento. Además de proporcionar recursos a las autoridades ambientales de la región sobre la calidad en la que se encuentra la cuenca media del río Cesar, información que les serviría como soporte para tomar decisiones en pro de la preservación del recurso hídrico.

El proyecto realizado en la cuenca media del río Cesar tuvo una duración estimada de 12 meses, en este tiempo se evaluaron índices de contaminación por materia orgánica, índice de contaminación por sólidos suspendidos, índice de contaminación por pH y por temperatura y se buscó que este proyecto pueda servir como base para nuevas investigaciones realizadas en la cuenca del río Cesar u otras cuencas de la región.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar mediante los Índices de Contaminación Ambiental (ICOs)

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos; demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, sólidos suspendidos, temperatura y pH de las aguas de la cuenca media del río Cesar.
- Analizar la calidad del agua de la cuenca media del río Cesar mediante los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) e índice de contaminación por pH (ICOpH).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización de este proyecto de grado se recolectó una serie de antecedentes relacionados con el índice de contaminación ambiental (ICO). Estos antecedentes se organizaron según su fecha, del más actual al más antiguo y se presentan a continuación:

4.1.1. *Internacionales:*

Alonso, Benítez Martínez, Benítez Rasquín, Bobadilla, Fernández, Franco, Galeano, Ímas, López Aria, López Vera y Mazó (2016). En su artículo titulado “Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico” y publicado en la Revista Ambiente & Agua, con la finalidad de establecer la evaluación la calidad del arroyo Caañabe, caracterizando parámetros fisicoquímicos, ecotoxicológicos y microbiológicos. Para el desarrollo del proyecto se estudiaron tres sitios de muestreo y se tomaron dos muestras en cada uno, además se realizaron ensayos de toxicidad con ciertos microorganismos. Entre los resultados obtenidos se encontró que el Índice de calidad del agua (ICA) presentó valores que se encontraban entre 52 y 62 y que le daban una clasificación regular al agua, por otra parte, con el ICOMO se encontró que la fuente hídrica presentó contaminación orgánica media en los puntos 2 y 3 de muestreo para el primer muestreo. Este antecedente se empleó para realizar una comparación entre los resultados obtenidos en ambas investigaciones.

4.1.2. *Nacionales:*

Díaz (2020). En su monografía titulada “Alternativas para el manejo y aprovechamiento de aguas termominerales post-uso del municipio de Paipa (Boyacá)” como requisito para optar por el título de Especialista en Manejo y Gestión del Agua. En el cual se presentan diversas alternativas para el aprovechamiento de aguas provenientes de distintos hoteles y balnearios del municipio de Paipa. Para el desarrollo de esta investigación se monitorean cuatro puntos a lo largo de los sistemas dársenas, empleando índices de contaminación del agua como ICOSUS, ICOMO, ICOMI e ICOTRO, a partir de estos se determinó qué alternativa era más eficiente para el manejo y aprovechamiento de estas aguas. Entre los resultados más relevantes se encuentran el empleo de alternativas como sistemas de tratamiento aerotérmicos, en los cuales se incluya el uso de energías alternativas como la radiación solar. Esta investigación se

utilizó dentro de este proyecto como apoyo y guía en la implementación de metodologías para la determinación de los Índices de Contaminación del agua como ICOMO e ICOSUS.

Guillermo y Gélvez (2016). En su artículo de investigación titulado “Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo” y publicada en la revista electrónica MUTIS, tuvo la finalidad de caracterizar las aguas de la quebrada Fucha utilizando los y de esta manera promover la preservación de la misma. A partir de muestreos representativos del agua, se determinaron los siguientes ICO: Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el índice de contaminación trófico (ICOTRO). Estos se midieron según una escala representativa que va desde, ninguno (azul) hasta muy alto (rojo). Como resultado de esta investigación se encontró que los usos de los suelos no tenían una relación con el valor obtenido en los ICO. Esta investigación sirvió de apoyo teórico y como punto de comparación respecto a los resultados que se obtuvieron dentro de este proyecto.

Cañas, (2014). En el artículo titulado "Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua” tuvo la finalidad de exponer métodos para cuantificar la contaminación que se encuentra en determinado cuerpo de agua, mediante el uso de fórmulas que posibilitan relacionar parámetros físicos, químicos y biológicos; para el desarrollo del estudio se tomó datos de la corporación autónoma regional de Cundinamarca sobre el río Teusacá. Los parámetros estudiados fueron índices de contaminación por materia orgánica, índice de contaminación por sólidos suspendidos, índice de contaminación por pH, entre otros. Para cada uno de los parámetros estudiados se obtuvieron los siguientes resultados: 0.8260, 0.0026; los valores van de 0 a 1, donde los valores cercanos a 1 representan contaminación mayor. En el estudio se evaluaron parámetros que se determinaron en el presente proyecto como lo son los sólidos suspendidos y el pH, de ahí se deriva su importancia como antecedente, debido a que este sirvió como apoyo metodológico.

4.1.3. Regionales y locales:

Padilla y Romero, (2019). En su trabajo de grado titulado "Determinación del índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICOS) para el río Sororia en el municipio de la Jagua de Ibirico-Cesar", para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario en la universidad Popular del Cesar, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la

calidad del agua del río Sororia, el cual es una de las fuentes de abastecimiento de agua más importante del municipio de la Jagua de Ibirico y cuenta con riesgos de contaminación por la exploración carbonífera de la región. Para determinar la calidad del agua se empleó la ayuda de los índices de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICOS), los cuales ayudan a obtener resultados en una expresión con menor dificultad y mejor interpretación. Estos fueron determinados en dos estaciones; estación 1 aguas arriba y estación 2 aguas abajo. De igual forma se tomaron muestras tanto en temporada de invierno como de verano. Como resultado en la temporada de invierno se obtuvo que en ambas estaciones la calidad del agua era regular para ambas estaciones, mientras que en verano en la estación 1 se obtuvo una calidad aceptable y en la estación 2 una calidad regular, esto según los rangos del IDEAM. La investigación antes mencionada ayuda a tener una idea de la calidad del agua en la región, por ende, es posible hacer una comparación respecto a los resultados obtenidos en este proyecto.

Molina y Pinto, (2019). En su investigación titulada "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" para optar por el título de Ingeniero ambiental y sanitaria en la universidad popular del Cesar. Debido a las afectaciones que se generan debido a la minería, agricultura y ganadería en los ríos del Cesar, se hizo necesario evaluar la calidad del río calenturitas, con la finalidad de hacer un análisis de la misma. El estudio se realizó con la localización de tres estaciones de muestreo, en estas estaciones se evaluaron características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas. A partir de la evaluación de esos parámetros se realizó la determinación de los índices de contaminación (ICO). En los resultados obtenidos se obtuvo que el Índice de calidad del agua por materia orgánica (ICOMO) en invierno fue media y en verano alto, para el Índice de contaminación por sólidos suspendidos en invierno fue muy alto y en verano no se encontró ninguno. Esta investigación es un antecedente relevante en el proyecto debido a que los parámetros evaluados en este estudio tienen una concordancia con los parámetros a estudiados en este proyecto, por lo tanto, se puede establecer una comparación entre los resultados obtenidos.

4.2. MARCO TEÓRICO

Agua:

El agua es uno de los componentes fundamentales para la existencia de la vida misma, esto se debe a que todas las actividades que realizamos involucran un uso o consumo de esta, según Laufer, (2012), el agua es "...apropiadamente llamado 'fluido vital', que fue crucial para el surgimiento de la vida en la superficie de nuestro planeta y continúa siendo esencial para su mantenimiento" p409. Este recurso es de gran importancia, a tal punto que el 28 de julio de 2010, en una Asamblea General de las Naciones Unidas fue considerado como parte de uno de los derechos humanos (ONU, 2010), ratificando lo esencial que es el agua en la vida de los seres humanos y que la falta de acceso a esta se puede considerar como una vulneración al derecho a la vida digna.

El planeta Tierra se encuentra conformado por grandes masas de aguas, siendo estas las que ocupan un 70% de la masa del planeta, estas pueden localizarse en cuerpos de aguas como océanos, mares, ríos, lagos, manantiales, entre otros (Auge, 2007). Hay distintas las formas en las que podemos clasificar las masas de aguas presentes en el planeta, entre ellas tenemos la clasificación según su procedencia, en las que encontramos: aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas meteóricas (IDEAM, 2020).

➤ **Aguas superficiales**

El agua superficial como su nombre lo indica es aquella que se localiza en la superficie del planeta tierra y viaja por caminos ya establecidos, los cuales pueden cambiar por condiciones geológicas con el paso del tiempo; dichos caminos se combinan y forman redes de arroyos y ríos en las cuencas hidrográficas, por lo que el agua fluye por gravedad desde esas redes hasta llegar al mar (Rothschuh, 2022).

Las aguas superficiales han sido un pilar clave a lo largo de la humanidad para el desarrollo y sostenimiento de las poblaciones, es por esto que la antigüedad cuando se iba a consolidar una población, esta procuraba hacerlo lo más cercano a un cuerpo de agua superficial, entre estos se encuentran los ríos, lagos, lagunas, entre otros; esto se debe a que estos cuerpos de aguas satisfacen algunas necesidades básicas como alimentación, transporte, aseo y de igual forma ayudaban a mantener la economía de estas poblaciones, permitiendo el transporte de productos y personas (Mora, 2014). Como se pudo analizar, las aguas superficiales representan una gran importancia para el sostenimiento de las poblaciones, es por

esto que en los últimos años han surgido nuevas estrategias para el monitoreo y sostenimiento de dichas fuentes de agua.

➤ **Aguas subterráneas**

Las aguas subterráneas son consideradas como un reservorio de agua, el cual se deposita en el interior de la corteza terrestre luego de la precipitación de las aguas producto del ciclo hidrológico, al proceso mediante el cual el agua subterránea es depositada se le conoce como infiltración; en las últimas décadas estas fuentes de aguas se han tomado como una fuente de abastecimiento, extrayéndola mediante perforaciones y galerías de drenaje (Ordóñez, 2011). La utilización de estas aguas como fuente de agua potable aumentó la disponibilidad de este recurso a nivel mundial, principalmente en aquellos países en desarrollo (Hernández, Martínez y Llamas, 2000).

➤ **Aguas meteóricas**

Anco, Costa y Gomes, (2014) definen como aguas meteóricas a aquellas que provienen del vapor de agua atmosférico que puede caer en forma de lluvia, nieve o granizo; estas en muchos lugar son usadas para reducir el consumo de agua potable en lugares donde hay déficit, por lo que se usan en actividades de aseo, entre otras; la composición de estas aguas varía según las regiones, debido a los componentes que posea la masa de aire de dicha región, llegando incluso a producirse las llamadas lluvias ácidas.

Cuenca hidrográfica

Según Álvarez, C., Cevallos, C., Mancheno, A., Ortiz, L., Prehn, C. y Vasconez, M., (2019) "Las cuencas hidrográficas son áreas definidas topográficamente que están drenadas por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado". Las cuencas hidrográficas son de gran importancia debido a las funciones que ellas desempeñan en el planeta, entre sus funciones podemos encontrar: constitución de sumideros de CO₂, regulan la recarga hídrica, conservan la diversidad, suministra recursos naturales, entre otras.

Calidad del agua

Se le conoce a la calidad del agua como aquellas características y propiedades que la conforman, tanto físicas y biológicas como microbiológicas (Sierra, 2011, p. 47). Existen normatividades que regulan la calidad del agua dependiendo de su procedencia y el uso al que

esté destinada, siendo más estrictos en unas que otras, pues el agua destinada para el consumo humano debe tener una calidad superior que aquellas aguas destinadas a actividades como: lavado de máquinas industriales, recreación, entre otras (IDEAM, 2020). Para la evaluación de la calidad del agua se habla de algunos conceptos indicadores, entre estos podemos encontrar:

Presión ambiental:

El IDEAM (2010) en su estudio nacional del agua lo define como "la contribución potencial de cada agente social o actividad humana a las alteraciones del medioambiente por consumo de recursos naturales, generación de residuos y transformación del medio físico" p231.

Afectación potencial:

Esta hace referencia a la posibilidad que existe de ocasionar un grado de alteración a causa de una presión ambiental (IDEAM, 2010).

Sustancias peligrosas:

Son todas aquellas sustancias que afectan al medio ambiente, entre ellas podemos encontrar al mercurio procedente del oro y de la plata en la minería, además de los usos intensivos de agroquímicos (IDEAM, 2010).

Contaminación del agua

La contaminación del agua puede ser definida como aquellas modificaciones a la calidad del agua, lo que la hace impropia o peligrosa y esta está provocada principalmente por los humanos; pueden existir contaminantes naturales, estos pueden ingresar al agua a través del ciclo hidrológico en la atmósfera o en la corteza terrestre, entre estos podemos encontrar sustancias minerales y orgánicas, gases provenientes de la atmósfera, etc; por otra parte los contaminantes artificiales tienen origen antrópico y generalmente son desechos vertidos a los cuerpos hídricos y estos pueden incluir sustancias de sumideros sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales, etc; los vertimientos de aguas residuales constituyen una de las principales fuentes de contaminación hídrica, además de los residuos sólidos provenientes de las industrias; como indicadores de contaminación podemos encontrar parámetros físicos como lo son las características organolépticas, turbidez, temperatura, también parámetros de carácter químico como lo es la salinidad, pH, oxígeno disuelto, DBO,

DQO y también están los indicadores de carácter microbiológico que pueden ser bacterias, virus, hongos, entre otros (Guadarrama, Kido, Roldán y Salas, 2016).

Índices de medición de la contaminación del agua

Los índices que sirven para caracterizar la contaminación del agua, según los autores Guillermo y Gélvez, (2016); Cardeñosa, Ramírez y Restrepo, (1999), son:

➤ **índice de contaminación por mineralización (ICOMI):**

la cantidad o porcentajes de minerales se pueden determinar por procesos de conductividad, alcalinidad y dureza.

➤ **Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):**

se puede determinar mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales, porcentaje de saturación de oxígeno.

➤ **Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):**

se determina mediante el grado de concentración de sólidos suspendidos presentes en el agua

➤ **Índice de contaminación por pH (ICOPH):**

determinados mediante la salinidad o acidez presente en el cuerpo de agua

➤ **Índice de contaminación por temperatura (ICOTEM):**

este índice de calidad se fundamenta en los vertimientos a los cuerpos de aguas, basados en la diferencia de temperatura que hay entre la fuente que recibe y el vertimiento.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Coliformes totales: Grupo de bacterias que según la Resolución 2115 de 2007 pueden ser un "indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano" pág. 1.

Cuenca: Es un área limitada generalmente por zonas altas, en esta área se crea un sistema de drenaje natural que traslada las aguas a un cuerpo receptor, también conocido como río principal (Francisco, 2000).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Según el IDEAM (2007), la demanda bioquímica de oxígeno representa la cantidad de oxígeno que emplean los microorganismos en el proceso de estabilización de la materia orgánica biodegradable en un periodo de 5 días a 20°C y dicho proceso se da en condiciones aeróbicas.

Erosión: Según Paz y Vidal (2002) "La erosión consiste en una pérdida gradual de los materiales que constituyen el suelo, al ser arrastradas las partículas tras ser disgregadas y arrancadas de los agregados y terrones, a medida que van quedando en la superficie." Pág. 1.

Materia orgánica: la materia orgánica es definida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, 2013] como "residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo" (p.12).

Oxígeno disuelto: es el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y es vital para la existencia de muchos organismos acuáticos, esto se debe a que es el componente principal en la respiración celular, este puede emplearse como indicador de calidad del agua (Peña, 2007).

Parámetros fisicoquímicos del agua: Los parámetros fisicoquímicos son aquellas características químicas y físicas que se encuentran en el agua, entre ellas podemos encontrar la conductividad eléctrica, dureza, salinidad, pH, entre otros (García, 2013).

Parámetros microbiológicos del agua: Gestión de características de orden microbiológicos presentes en el agua que indican la calidad de este, para esta caracterización se tienen en cuenta microorganismos como E. coli y coliformes totales (Londoño, 2014).

pH: Según Rojas y Vázquez (2016), “El pH representa una escala numérica usada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es el logaritmo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno” pág. 11.

Procesos antropogénicos: Los procesos antropogénicos se pueden definir como aquellas actividades que realizan los seres humanos en los ecosistemas y que producen consecuencias ambientales notorias (Alvarado, 2010).

Sólidos suspendidos: Los sólidos suspendidos son aquellos que se encuentra en el agua y que son transportados por el arrastre y el soporte del movimiento del agua (IDEAM, 2007).

Temperatura: La termodinámica establece que la temperatura es una propiedad que se encuentra relacionada a la energía interna de las moléculas de una sustancia (Gámez, 2020).

Vertimientos de aguas residuales: Corresponde a la disposición de aguas residuales a un cuerpo receptor, el cual puede ser un río, lago, mar, entre otros (Agudelo, Barrios, Cardona, y Gaviria, 2016).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

En el norte de Colombia se encuentra el departamento del Cesar, este tiene una amplia cantidad de fuentes hídricas, la hidrografía se encuentra conformada principalmente por el río Magdalena y Cesar más sus afluentes (Díaz, 2018), el río Cesar recorre 280 kilómetros que van desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Magdalena (Guzmán, 2013). La investigación se desarrolló en la cuenca media del río Cesar, en la cual se localiza la cuenca baja del río Guatapurí que se encuentra ubicado en el municipio de Valledupar y que tiene su desembocadura en el río Cesar.

Figura 1
Río Cesar



Tomado de Ministerio de Transporte –Plan vial
Departamento del Cesar (2019).

El proyecto se desarrolló en la Ciudad de Valledupar, la cual es la capital del departamento del Cesar, lo que la convierte en el principal centro administrativo del departamento; esta ciudad se encuentra localizada en la parte norte de Colombia, conocida como la región Caribe (*ver figura 2*), siendo Valledupar la quinta ciudad más grande de la región; debe su nombre a que está ubicada en un Valle que se forma por la sierra nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá Cuenta con una extensión territorial que comprende 4493 Km² y posee una temperatura promedio de 28,4°C; la actividad más representativa en la economía de la ciudad es la agricultura y la ganadería, aunque también posee ingresos por la explotación minera a cielo abierto de carbón (Hermelin, 2007, p. 333-338).

La temperatura media anual del municipio es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22°C y 34°C respectivamente, siendo el mes más caluroso abril y el más fresco octubre; la ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 220 m al norte y 150 m a sur, siendo la altitud media de 168 m; en cuanto a la precipitación, esta tiene una precipitación media entre abril y noviembre de 1000 mm anuales, donde las mayores cantidades de precipitación ocurren en mayo y octubre (Mejía, 2021).

La ciudad de Valledupar presenta un brillo solar con valores altos, con 2000 a 3000 horas de insolación anuales, siendo diciembre, enero, febrero y junio los meses con mayor incidencia; por otra parte, la vegetación de Valledupar corresponde a un bosque seco premontano (Hermelin, 2007, p. 334).

Figura 2
Ubicación de Valledupar en el territorio nacional



Tomado de Gobernación del Cesar. (s.f). *Departamento del Cesar*

En el desarrollo del proyecto además del área urbana de Valledupar tuvo participación en el área rural como el corregimiento de Guacoche y la vereda Los Calabazos, en esta última la principal actividad económica de la población es la pesca, sin embargo, se realiza en los alrededores mucha actividad ganadera (Sánchez, 2021). Además, se tuvo también como referencia para la ubicación de puntos de muestreo en el desarrollo del proyecto al corregimiento las Pitillas, ubicado en el municipio de San Diego.

4.5. MARCO LEGAL

Dentro del marco legal del proyecto se tiene en cuenta toda ley o normatividad nacional de interés en el desarrollo del proyecto, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1
Normatividad Nacional de Interés

NORMAS NACIONALES			
NORMATIVA		DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Constitución política	1991	Conocida como la constitución ambiental debido a que en esta se presenta una mayor consideración sobre la conservación y el manejo de los recursos naturales.	La constitución política juega un papel importante en este proyecto, debido a que esta es considerada como una de las más ambientales, podemos encontrar artículos aplicables como el art. 79, en él se establece que todos debemos gozar de un ambiente sano.
Ley 99	1993	Esta ley establece un reordenamiento del sector público que se encarga de la gestión y de la conservación del medio ambiente, además de los recursos naturales renovables.	En el título 1 artículo 1 se establece que "en la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso" y en el título 2 artículo 2 se da la creación del ministerio del Medio ambiente y sus objetivos.
Decreto 2811	1974	Por medio del cual se dicta el código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente	En el artículo 1 se habla acerca de la preservación y manejo de los recursos naturales, siendo el agua uno de estos

Decreto 1575	2007	Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.	En el capítulo II se habla de las características y criterios de la calidad del agua para consumo humano y teniendo en cuenta que muchas poblaciones se abastecen del agua del río Cesar, es importantes conocer las características que este cuerpo hídrico posee
Decreto único 1076	2015	“Reglamenta las normas relacionadas con los recursos de aguas en todos sus estados, y la preservación, manejo y uso de las aguas”.	Como aplicación de esta ley en el proyecto, se establecen los parámetros que facilitan la conservación de los recursos naturales, más específicamente en el art. 2.2.1.1.18.1. se establece la protección y aprovechamiento de las aguas
Resolución 0631	2015	“Esta resolución establece las normas de vertimiento que deben cumplir las entidades que generen aguas residuales”.	Esta resolución en el capítulo 1, art. 1 establece las normas para mantener un control en el tratamiento de las aguas a estudiar en este proyecto, teniendo en cuenta los distintos parámetros físicos, químicos y ambientales

Nota: En la tabla se encuentra todas las normativas de interés para el desarrollo del proyecto, utilizando la pirámide de Kelsen como referencia para la estructura de la tabla. Fuente: los autores

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. LÍNEA, SUBLÍNEA Y ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto de grado se encuentra en la línea de investigación de *sostenibilidad y gestión ambiental*, así mismo, dentro de esta línea de investigación este proyecto se encuentra en la sublínea de *gestión integral del recurso hídrico*.

5.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque empleado para el desarrollo del proyecto es cuantitativo, debido a que este hace referencia a un proceso sistemático que sigue algunos pasos como lo son que a partir de la teoría se plantea una hipótesis, se realizan las observaciones y recolecciones de datos, se produce el análisis de los datos y finalmente se obtienen unos resultados; este es el enfoque de investigación más empleado en la investigación científica (Monje, 2011). Dentro de este proyecto es posible aplicar este enfoque, debido a que en el desarrollo del mismo fue necesario recolectar una serie de datos numéricos con el propósito de poder hacer inferencias y sacar conclusiones de la problemática estudiada.

5.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación tiene un alcance descriptivo y correlacional. Por un lado, se busca especificar las características y propiedades de la población de estudio, en este caso la cuenca media del río Cesar (Hernández, Fernández y Batista, 2014), esto se logrará mediante el uso de criterios sistemáticos, los cuales proporcionan información que se puede comparar con otras fuentes (Castro, Guevara y Verdesoto, 2020), principios propios de un alcance descriptivo. Mientras que también se buscará ver la relación que existe entre dos o más variables, característica propia de un alcance correlacional (Batista, Fernández y Hernández, 2017).

5.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO

En el desarrollo de esta investigación la población de estudio será las aguas de la cuenca media del río Cesar.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Como muestras para el desarrollo de este proyecto se tomarán puntos representativos de la cuenca media del río Cesar, entre los cuales se tienen: Balneario Hurtado, Tarullal, Guacocoche, Puente salguero, Los Calabazos y Las Pitillas.

La muestra a tomar en el desarrollo de este proyecto será un tipo de muestra puntual o simple, mediante un muestreo manual. Siendo una muestra puntual, aquella que se toma en un momento dado y con la cual se puede caracterizar la calidad del agua en dicho momento, con la finalidad de dar vigilancia o proveer valores de ciertos parámetros de control (IDEAM, 2020).

5.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación empleado en el desarrollo del proyecto es de tipo no experimental, dado a que este se realiza sin manipular las variables, sino que se observa el fenómeno en su contexto natural, con el propósito de realizar el análisis del mismo (Agudelo, Aignerren & Ruiz, 2008). En este proyecto se evaluó la calidad del agua de la cuenca media del río cesar sin manipular todos aquellos factores que impliquen un cambio en la calidad del agua, sino que se estudió las características físicas, químicas y biológicas de la cuenca sin alterarlas.

A su vez, el diseño de la investigación será longitudinal, puesto que este es empleado cuando se desean analizar cambios a través del tiempo en periodos específicos, con la finalidad de evaluar “cómo evoluciona o cambia una o más variables o las relaciones entre estas” (Agudelo, Aignerren & Ruiz, 2008, p. 41), la presente investigación se resalta dentro del diseño longitudinal, porque en esta se evaluaron las características del agua de la cuenca media del río Cesar en cuatro ocasiones, dos en temporada seca y dos en temporada de lluvia, para hacer una relación sobre la contaminación presente en la cuenca en cada temporada.

5.7. ESTRATEGIA Y DESARROLLO METODOLÓGICO

Para el desarrollo metodológico de este proyecto de investigación se llevaron a cabo dos etapas con las que se obtuvo el cumplimiento de los objetivos específicos establecidos.

5.7.1. Etapa 1: Determinación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Para el desarrollo de esta etapa se realizaron dos actividades, las cuales fueron:

- **Identificación de los puntos de muestreo:** este proyecto tuvo seis puntos de muestreos, los cuales equivalen a dos puntos en la intercuenca baja del río Guatapurí; donde uno se ubicó en el Balneario Hurtado y el otro se ubicó cerca de la antigua planta de tratamiento de aguas residuales “El Tarullal”, los otros cuatro puntos de muestreos estuvieron ubicados en el río Cesar; uno se tomó teniendo en cuenta el corregimiento de Guacoche, también se tomó uno en el puente Salguero, después de los vertimientos de la PTAR de Valledupar, además, se tomó un muestreo teniendo en cuenta el corregimiento Los Calabazos y uno teniendo como referencia el corregimiento las pitillas. Los muestreos se realizaron con un periodo que varió entre uno (1) y dos (2) meses hasta completar los cuatro (4) muestreos en cada punto. Cada uno de los puntos de muestreo fueron georeferenciados en el desarrollo del proyecto.
- **Toma de muestras:** para el desarrollo de esta actividad se llevó a cabo una toma de muestras manual de tipo puntual, dado que se quiso evaluar la calidad del agua teniendo en cuenta las concentraciones promedio. La finalidad de la toma de muestra fue caracterización de la misma. Para llevar a cabo esta etapa se utilizó como base el manual de toma de muestras del IDEAM (2020). Para esta etapa del proyecto se realizaron las siguientes actividades:
 1. *Toma de muestras:* se tomaron muestras puntuales in situ según lo establecido por el IDEAM.
 2. *Preservación de las muestras tomadas:* Debido a que las muestras deben conservar las características iniciales de cuando se tomó la muestra hasta que se haga el respectivo análisis, se hizo necesario hacer una adecuada preservación de las muestras tomadas (IDEAM, 2020). *Ver anexo 12*
 3. *Transporte:* para el análisis de las muestras se debieron preservar las mismas y luego transportarlas hasta el laboratorio, en el menor tiempo posible, teniendo en cuenta que estas fuesen refrigeradas; las muestras debieron ser entregadas con sus actas de laboratorio, además los recipientes donde se recolectaron las muestras estaban protegidos y sellados para que no se deterioraran ni sufrieran pérdidas, con la finalidad de asegurar la conservación de las muestras hasta que estas llegaran al laboratorio de la universidad popular del Cesar (IDEAM, 2020).

4. *Caracterización de las muestras:* en esta última actividad se realizó la caracterización de las muestras para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en las aguas de la cuenca media del río Cesar (IDEAM, 2020).

5.7.2. *Etapas 2: Determinación de la calidad del agua por medio de la implementación de índices de contaminación ambiental.*

En esta fase del proyecto se realizaron dos actividades, las cuales fueron:

- **Análisis de los índices de contaminación del agua:** los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras se emplearon para la evaluación de los parámetros deseados, los cuales son:
 - *Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO):* para la evaluación del índice de contaminación por materia orgánica se tuvo en cuenta el artículo de Cañas, 2014 que tiene por título “Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICO) en cuerpos de agua”. El ICOMO se evalúa teniendo en cuenta la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y el porcentaje de saturación de oxígeno. Se evalúa en un rango que va desde 0 a 1 en el que los valores más cercanos a 1 representan una mayor contaminación en el cuerpo hídrico.

El índice de la demanda bioquímica de oxígeno se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{DBO} = -0.005 + 0.7 \log_{10} DBO \text{ (mg/L)}$$

Si:

$$BDO > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$DBO < 2 \text{ mg/L} = 0$$

El índice de coliformes totales se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$I_{\text{coliformes totales}} = -1.44 + 0.56 \log_{10} \text{Col. Total (NMP/100 ml)}$$

Si:

Coliformes totales > 20000 (NMP/100 ml) =1

Coliformes totales < 500 (NMP/100 ml) =0

El índice de saturación de oxígeno se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$I_{\%oxígeno} = 1 - 0.01 \text{ Oxígeno}\%$$

Donde el % Oxígeno mayor a 100% tiene índice de oxígeno de 0

En la *tabla 2* se presentan los parámetros utilizados en el cálculo del ICOMO

Tabla 2

Métodos empleados para la determinación de los parámetros evaluados

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
DBO	Medición por autocontrol. Determinación del Biogás	Los microorganismos que se encuentran presentes en la muestra se consumirán el oxígeno produciendo CO ₂ , el cual será absorbido por el NaOH, esto genera una presión que el Oxitop registrará como la medida del DBO (Arnáiz, Isac y Lebrato, 2000).
COLIFORMES	Número Más Probable (NMP)	Las bacterias presentes en la muestra encubada a 35°C durante 24-48 horas fermentarán lactosa, resultando una producción de ácido y gas, lo que, junto a la presencia de turbidez confirmarán la presencia de coliformes, posteriormente según tablas ya establecidas se puede determinar el valor según los resultados positivos (Soler, 2006)

PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO	Medición a través de multiparámetro (In situ)	Este parámetro es medido en campo con ayuda de un multiparámetro que cuenta con un electrodo que al introducirlo en el agua mide el porcentaje de saturación de oxígeno presente en este (<i>ver anexo 4</i>)
--	---	---

Nota: en la tabla se presentan las diferentes metodologías empleadas para calcular cada parámetro evaluado en el ICOMO. Fuente: los autores, 2023.

Una vez calculados los parámetros necesarios para el índice de contaminación por materia orgánica se utiliza la siguiente ecuación:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{oxígeno})$$

- *Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS):* Para el cálculo del índice de contaminación por sólidos suspendidos se tiene en cuenta la metodología de Cañas, 2014 en su artículo titulado "determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOs) en cuerpos de agua". Se calcula el ICOSUS empleando la siguiente ecuación:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{ sólidos suspendidos } mg/L$$

Si:

Los sólidos suspendidos > 340 mg/L el ICOSUS=1

Los sólidos suspendidos < 10 mg/L el ICOSUS=0

Tabla 3

Método empleado para la determinación de los SST

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Método gravimétrico (TP0088)	Este método consiste en hacer pasar un volumen de la muestra por un filtro de fibra de vidrio y luego llevar este a secado, buscando que en el filtro solo queden los sólidos retenidos (IDEAM, 2007), emplear la siguiente ecuación para el cálculo:

		$SST = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volumen de la muestra}}$
--	--	--

Nota: B corresponde al peso del filtro y A corresponde al peso del filtro más los residuos, ambos medidos en mg. Fuente: los autores, 2023.

La determinación del ICOpH e ICOTEM se realizarán según lo estipulado por Ramírez, Restrepo y Cardeñoso (1999) y Díaz (2020), donde encontramos:

- Determinación del ICOpH: Para determinar el índice de contaminación por pH se emplea la siguiente ecuación:

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

Teniendo en cuenta que cuando el $pH < 7$, en la ecuación remplazaremos: $pH^2 = 14 - (pH \text{ registrado in situ})$

- Determinación del ICOTEMP: Se emplea la siguiente ecuación en la determinación del índice de contaminación por temperatura

$$ICOTEM = -0.49 + 1.27 \text{ Log } (Temp. \text{ vertimiento} - Temp. \text{ curso receptor})$$

Temperatura $< 2.5^{\circ}C$ ($275.5^{\circ}K$), ICOTEMP=0

Temperatura $> 15.0^{\circ}C$ ($288.5^{\circ}K$), ICOTEMP=1

Tabla 4

Equipos empleados para la determinación del pH y la temperatura

PARÁMETRO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
pH	Medidor multiparámetro (HI98129)	Este parámetro es medido In situ con ayuda de un multiparámetro de mano que al introducirlo al agua brinda la medida de pH (<i>ver anexo 3</i>).
Temperatura	Termómetro	Este parámetro es medido In situ con ayuda de un termómetro de campo que permite medir la temperatura del agua (<i>ver anexo 5</i>)

Nota: en la tabla se presentan los diferentes equipos empleados para medir pH y temperatura. Fuente: los autores, 2023.

En la última etapa del proyecto se hizo la determinación de la calidad del agua del río Cesar teniendo en cuenta los datos obtenidos para cada uno de los índices de contaminación ambiental evaluados. La calidad del agua de la fuente hídrica se determinó en base a la siguiente tabla:

Tabla 5
Rangos de contaminación del ICO

ICO	Grado de Contaminación	Escala de color
0-0.2	Ninguna	
>0.2-0.4	Baja	
>0.4-0.6	Media	
>0.6-0.8	Alta	
>0.8-1	Muy alta	

Tomado de Ramírez, Restrepo y Cardeñosa (1999).

- **Comparación de la calidad del agua mediante los índices de contaminación en temporada de lluvia y temporada seca:** esta actividad tiene como propósito analizar y comparar los resultados obtenidos en las diferentes temporadas de muestra para conocer la variación de la calidad del agua en temporada de lluvia y temporada seca en la cuenca media del río Cesar

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN LA SUBCUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las actividades que permiten dar cumplimiento al primer objetivo de este proyecto de grado, en el cual se hace una georreferenciación sobre los puntos estipulados para el estudio de la calidad del agua en la cuenca media del río Cesar mediante Índices de Contaminación del agua y se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomados in situ y ex situ, aquellos medidos en los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Popular del Cesar.

6.1.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

En la tabla que se presenta a continuación, se observan los 6 puntos de muestra establecidos para el desarrollo de este proyecto y sus respectivas referencias geográficas.

Tabla 6

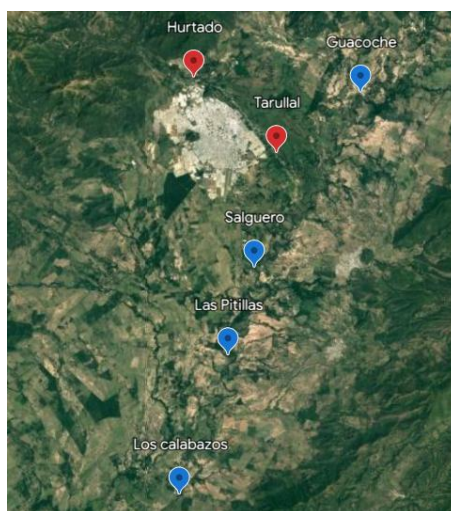
Ubicación de los puntos de muestra

PUNTO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD
1	Guacoche	10° 29' 31.93" N	73° 9' 53.66" W
2	Hurtado	10° 30' 4.98" N	73° 16' 13.23" W
3	Tarullal	10° 27' 16.87" N	73° 13' 5.05" W
4	Salguero	10° 23' 0.71" N	73° 13' 55.59" W
5	Las Pitillas	10° 19' 44.74" N	73° 14' 55.38" W
6	Los Calabazos	10° 14' 33.29" N	73° 16' 45.98" W

Nota: en esta tabla se observan los 6 puntos donde se tomarán las muestras de aguas, donde los 6 hacen parte de la cuenca media del río Cesar, los cuales son Guacoche, Salguero, Las Pitillas, los Calabazos, Hurtado y Tarullal (estos dos últimos pertenecen a la cuenca baja del río Guatapurí). Fuente: Los autores, 2023.

La *figura 3* muestra la ubicación geográfica de cada uno de los puntos de muestra seleccionados.

Figura 3
Georreferenciación de los puntos de toma de muestra



Nota: los puntos azules se encuentran sobre el río Cesar, los puntos rojos se encuentran sobre el río Guatapurí. Tomado de Google Earth, 2023.

El río Cesar nace en la sierra nevada de Santa Marta, en la jurisdicción del municipio de San Juan del Cesar en el departamento de la Guajira, sin embargo, esta investigación tuvo como área de estudio la cuenca media de este río, razón por la cual se localizaron puntos de toma de muestras estratégicos (*ver figura 3*). Estos puntos se ubicaron con el propósito que representaran las características de esta fuente hídrica, iniciando en Guacoche, que representa el primer punto de la cuenca media y al estar ubicado cerca de un asentamiento rural, facilitó la obtención de las muestras, el segundo punto de muestra fue Hurtado, que se encuentra en la cuenca baja del río Guatapurí, un afluente del río Cesar y que al ser un sitio turístico de uno de los asentamientos urbanos más grandes de la zona, podría llegar a representar algunas afectaciones en la calidad del río Cesar; el tercer punto de muestra fue Tarullal, ubicado aguas debajo de Hurtado y antes de que el río Guatapurí ingrese en el río Cesar, el siguiente punto de toma de muestra se ubicó en el puente Salguero, donde se da un vertimiento puntual de las aguas residuales provenientes del municipio de Valledupar, haciendo que la caracterización en este punto sea fundamental para la obtención de la calidad del cuerpo lótico, finalmente, se ubicaron los puntos de muestras en Las Pitillas y Los Calabazos, para conocer el comportamiento del agua después de las descargas de residuos líquidos.

6.1.2. TOMA DE MUESTRAS

A continuación, se presentan los resultados y análisis de la caracterización físico, química y microbiológica de cada punto de toma de muestra en ambas temporadas.

- PRIMERA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA DE LLUVIA)**

Tabla 7

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la primera toma de muestras

PARÁMETROS	PUNTOS DE MUESTRA					
	Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pitillas	Los Calabazos
pH	7,4	6,17	6,5	7,48	7,58	7,3
Temp (°C)	27,5	22,6	23,4	27,9 - 27,8	29,1	30,7
% Saturación (%)	75	76	83	64	49	43
OD (mg/L)	7	6,8	6,2	5,5	4	3,2
Coliformes totales (NMP/100 ml)	490	>16000	1300	>16000	700	330
DQO (mg/L)	60	60	80	200	100	50
DBO (mg/L)	2	4	2	25	4	3
SST (mg/L)	38,333	4,333	1,667	47	20	21,667

Nota: Esta toma de muestra se realizó el 14 de julio de 2022. En el punto de salguero se registran 2 temperaturas, antes y después del vertimiento, respectivamente. Fuente: Los autores, 2023.

- SEGUNDA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA DE LLUVIA)**

Tabla 8

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la segunda toma de muestras

PARÁMETROS	PUNTOS DE MUESTRA					
	Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pitillas	Los Calabazos
pH	6,82	7,22	6,98	7,4	7,63	7,51
Temp (°C)	27	21,7	22,1	26 - 26,3	25,9	26,1
% Saturación (%)	72	88	60	54	58	61
OD (mg/L)	5,6	7,4	4,9	4,1	4,6	4,7

Coliformes (NMP/100 ml)	1200	1700	3500	9200	>16000	590
DQO (mg/L)	20	160	60	160	160	140
DBO (mg/L)	3	8	6	12	16	8
SST (mg/L)	75	15	20	85	140	445

Nota: Esta toma de muestra se realizó el 05 de octubre de 2022. En el punto de salguero se registran 2 temperaturas, antes y después del vertimiento, respectivamente. Fuente: Los autores, 2023.

- VALORES MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMOS EN TEMPORADA DE LLUVIA**

Tabla 9

Valores máximos, medios y mínimos de cada punto de muestra en la temporada de lluvia

PARÁMETROS		PUNTOS DE MUESTRA					
		Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pillas	Los Calabazos
pH	Máx.	7,4	7,22	6,98	7,48	7,63	7,51
	Med.	7,11	6,695	6,74	7,44	7,605	7,405
	Mín.	6,82	6,17	6,5	7,4	7,58	7,3
Temp (°C)	Máx.	27,5	22,6	23,4	27,9 - 27,8	29,1	30,7
	Med.	27,25	22,15	22,75	26,95 – 27,05	27,5	28,4
	Mín.	27	21,7	22,1	26 - 26,3	25,9	26,1
Saturación (%)	Máx.	75	88	83	64	58	61
	Med.	73,5	82	71,5	59	53,5	52
	Mín.	72	76	60	54	49	43
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Máx.	7	7,4	6,2	5,5	4,6	4,7
	Med.	6,3	7,1	5,55	4,8	4,3	3,95
	Mín.	5,6	6,8	4,9	4,1	4	3,2
Coliformes (NMP/100 ml)	Máx.	1200	16000	3500	16000	16000	590
	Med.	845	8850	2400	12600	8350	460
	Mín.	490	1700	1300	9200	700	330

DQO (mg/L)	Máx.	60	160	80	200	160	140
	Med.	40	110	70	180	130	95
	Mín.	20	60	60	160	100	50
DBO (mg/L)	Máx.	3	8	6	25	16	8
	Med.	2,5	6	4	18,5	10	5,5
	Mín.	2	4	2	12	4	3
SST (mg/L)	Máx.	75	15	20	85	140	445
	Med.	56,665	9,6665	10,83 3	66	80	233,333 5
	Mín.	38,33	4,333	1,667	47	20	21,667

Nota: En la tabla se presentan los valores de cada parámetro obtenido en los dos muestreos de la temporada de lluvia. Fuente: Los autores, 2023.

Los resultados obtenidos en la toma de muestras en temporada de lluvia se presentan en las *tablas 7 y 8*, que corresponden a la primera y segunda toma de muestras, respectivamente, adicionalmente, se elaboró la *tabla 9* donde se tabularon los datos mínimos, máximos y promedios obtenidos en esa temporada.

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron y comparándolos con lo establecido en el decreto 1076 de 2015 sobre los usos que se le puede dar a las fuentes superficiales, subterráneas y marítimas según sus características, es posible afirmar que todos los puntos de muestras localizados a lo largo de la cuenca media del río César presentan un pH que se ubica dentro de los rangos establecidos para cualquier uso (6,5-8,5), debido a que la mayoría posee un pH neutro. Sin embargo, si bien todos los puntos cumplen con los rangos de pH, esto no significa que el agua de estas fuentes puede ser empleadas en cualquier uso, porque este no es el único parámetro a considerar.

Tomando en consideración los altos valores de coliformes totales (máximo 1000 NMP) y los porcentajes de saturación de oxígeno (máximo 70%), Hurtado, Tarullal, Las Pitillas y Salguero no podrían ser empleados para usos recreacionales mediante contacto primario, algo alarmante teniendo en cuenta que Hurtado es un balneario que representa una de los principales sitios turísticos de la ciudad de Valledupar, además, de los puntos mencionados solo Tarullal cumple con las características para ser utilizado para uso recreativo mediante contacto secundario. No obstante, está permitido su uso para otras actividades, como consumo humano

mediante tratamiento convencional, uso pecuario y para el uso agrícola, teniendo en consideración que cuando se desee irrigar frutas que se consumen sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, la cantidad de coliformes totales no debe exceder los 5000 NMP. Por otra parte, el agua en Los Calabazos se puede aprovechar en cualquiera de los usos establecidos en el decreto 1076 de 2015, mientras que en Guacoche solo se limita su implementación en usos recreativos, porque excede el porcentaje de oxígeno establecido.

Como se puede evidenciar en la *tabla 9*, el pH durante la temporada de lluvias se mantuvo en un rango neutro, siendo el valor más bajo registrado en Hurtado durante el primer muestreo (6,17) y el más alto fue el de Las Pitillas durante la segunda toma de muestras (7,63). Es importante señalar que los valores más bajos de pH en todos los sitios de muestras fueron los obtenidos durante el primer muestreo. Dentro de los resultados obtenidos de pH es indispensable destacar el promedio de Salguero que fue de 7,44 y las pitillas que tuvo un pH de 7,605, siendo ambos valores muy similares a los que obtuvieron De la Parra y Rodelo (2012) en su investigación para los mismos puntos de muestras. El pH de un cuerpo hídrico puede ser un indicador de su grado de acidez o alcalinidad, su acidez indica la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles, mientras que la alcalinidad manifiesta la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (Martínez y Pujante, 1997) y La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2022).

Martínez y Pujante (1997) establecen que "el pH del agua varía según las condiciones edáficas por las que atraviesa la corriente, así como las condiciones del medio en donde se intenta obtener su valor", cuando se trata de zonas calcáreas se aumenta el pH, por lo que este se inclina hacia un pH alcalino, mientras que cuando se trata de zonas silíceas el pH disminuye y obtiene una tendencia hacia la acidez (p. 82). Otro factor que afecta la variación del pH dentro del ambiente acuático es la actividad fotosintética que se da en el mismo, razón por la cual, durante el día la absorción del anhídrido carbónico ocasiona un aumento del pH, mientras que en la noche sucede el fenómeno inverso (Martínez y Pujante, 1997) y (EPA, 2022).

Un estudio realizado por Hurtado (2016), teniendo en cuenta el análisis de los comportamientos de las temperaturas máximas de las regiones hidroclimáticas de Colombia durante los años 1971-2010 estableció que la temperatura de la cuenca del río Cesar es de "tipo Bimodal, es decir, se presentan dos períodos con temperaturas máximas altas y dos con

temperaturas máximas bajas, bien definidos, durante el año” (p. 6); las temperaturas promedios encontradas en la cuenca iba de 33,70°C-33,92°C en 1971 hasta el 2010, respectivamente.

En los resultados obtenidos se puede observar que la mayor diferencia entre las temperaturas promedios es de 6,25°C, mientras que la menor temperatura registrada es de 21,7°C en Hurtado y la máxima de 30,7°C en Los Calabazos, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y lo hallado en el estudio realizado por Hurtado (2016), todas las temperaturas registradas en la cuenca media del río Cesar se encuentran por debajo de los valores de temperatura atmosférica de la cuenca.

La temperatura en los ecosistemas acuáticos, representa un factor limitante para la vida de organismos dentro de estos, sus variaciones pueden indicar fenómenos beneficiosos o perjudiciales que se desarrollen dentro del agua de una cuenca; la temperatura es un factor determinante para la solubilidad de los gases en el agua, su densidad, viscosidad, tensión superficial, etc., además, esta define las reacciones biológicas del cuerpo hídrico, por lo tanto, el aumento de la temperatura, ocasiona una aceleración de los procesos de descomposición de la materia orgánica presente, consumiéndose una mayor cantidad de oxígeno disuelto y aumentando su demanda (Martínez y Pujante, 1997) y (EPA, 2022). La temperatura de una masa de agua en condiciones de equilibrio se relaciona con la temperatura ambiente, sin embargo, esta relación varía para cada cuerpo de agua (Bustamante, Pino, Posada, Mojica, Monzón, 2013).

En base a lo anterior, la mayor concentración de oxígeno disuelto debía haberse presentado en el punto de muestra Hurtado, debido a que este es quien tuvo una temperatura más baja, por lo tanto, sí es posible observar este comportamiento en los puntos de muestra, como en el caso de Los Calabazos, que al ser el de mayor temperatura, también fue el de menor concentración de oxígeno. Como se observa en la *tabla 9*, las fluctuaciones del oxígeno disuelto en cada punto de muestra son similares, la mayor de esta es la del punto Hurtado a Tarullal, donde se obtiene una diferencia de 1,6 mg/L, los demás puntos de muestras contiguos poseen diferencias menores a 1 mg/L. Sin embargo, si se considera la fluctuación que hubo desde el primer punto de muestra (Guacoche) de la cuenca media del río Cesar hasta el último punto (Los calabazos), la variación fue mayor, porque pasó de una concentración media de 6,3 mg/L a 3,95 mg/L, respectivamente, siendo esto consecuencia principalmente de los vertimientos de

aguas residuales, que como se observa en los resultados, la demanda aumenta y, por lo tanto, el oxígeno en el cuerpo hídrico disminuye.

El oxígeno disuelto representa uno de los gases de mayor relevancia en el ambiente acuático, debido que es imprescindible para la vida animal y vegetal dentro de estos ecosistemas, este gas tiene origen a partir de dos fuentes, la primera es la disolución del oxígeno atmosférico, donde los procesos de integración de este gas se caracterizan porque la zona de aporte es siempre la superficie acuática, los sucesos que permiten esa integración son la difusión y la circulación del agua que se encuentra directamente relacionada por la turbulencia; La segunda fuente de oxígeno es la fotosíntesis, que ocurre en una profundidad mayor (Martínez y Pujante, 1997) y (EPA, 2022).

El oxígeno disuelto denota uno de los parámetros de referencia sobre la contaminación de las aguas, a raíz de que los niveles bajos de oxígeno disuelto se sustentan en la presencia de materia orgánica o de material inorgánico parcialmente oxidado y esto genera una demanda de oxígeno para la respiración de los organismos que degradan la materia orgánica o para la oxidación de los compuestos inorgánicos, agotando o disminuyendo de forma considerable el oxígeno existente en el cuerpo lóxico (Bustamante, Pino, Posada, Mojica, Monzón, 2013). En la cuenca media del río Cesar, donde menor concentración de oxígeno disuelto se observa es en los puntos que se encuentran después del vertimiento de aguas residuales y que a su vez, son los sitios del río que mayor cantidad de DBO y DQO presentan, como una consecuencia del vertimiento.

Según Peña (2007), los valores de oxígeno disuelto que necesitan la mayoría de especies de peces para sobrevivir en el ambiente acuático se encuentra entre 5-6 mg/L, por lo tanto, los resultados promedios evidencian que no podría darse la vida de peces en Salguero, Las Pitillas y Los Calabazos.

El oxígeno disuelto en las corrientes superficiales depende principalmente de tres variables, que son la presión, la temperatura, teniendo con esta una relación inversamente proporcional, y la concentración de sales disueltas, aunque puede depender de factores como la agitación, la turbulencia, contaminación y vegetación, además de la temporada, la cual puede variar de una a otra, además, se recomienda que la medición del oxígeno disuelto en el agua se

haga mediante una caracterización puntual, debido a que este puede variar durante el día (Martínez y Pujante, 1997) y (EPA, 2022).

En relación al porcentaje de saturación de oxígeno, según los valores establecidos por (Guemisa, 2018) el único punto que tiene un nivel de oxígeno disuelto promedio adecuado es Hurtado (80-89%), por su parte, Salguero, Las Pitillas y Los Calabazos presentan un nivel pobre de oxígeno disuelto (<60%), mientras que Guacoche y Tarullal se encuentran en niveles aceptables (60-79%).

Durante los muestreos de invierno, se evidenciaron altos valores de coliformes totales en los puntos de muestra de Hurtado, Salguero y Las Pitillas, indicando la contaminación del agua de las cuencas en estos puntos. A los coliformes totales también se le conoce como organismos indicadores, pues estos están compuestos por una familia de bacterias que se pueden encontrar en las plantas, el suelo o los animales y la presencia de estas en las aguas es un indicio de que el agua puede estar contaminada por aguas residuales negras u otros desechos en descomposición (Ramos, Saavedra, Vidal y Vilaridy, 2008).

En el caso de Hurtado la presencia de coliformes puede deberse a que este es un balneario con gran importancia turística, por lo que muchas personas realizan en el agua sus necesidades fisiológicas, además, a la margen derecha de este se localizan unidades productivas que se dedican a la ganadería, generando que las heces del ganado lleguen al río mediante escorrentía, teniendo en cuenta que esta muestra se tomó en temporada de lluvias. Por otra parte, el punto de muestra Salguero se ubicó unos metros después del punto de vertimiento de la PTAR del municipio de Valledupar, por lo que la presencia de estos coliformes puede ser un indicador de que el agua que se está vertiendo tiene grandes concentraciones de excremento, en vista de que el agua que se trata en esa planta es fundamentalmente agua doméstica. Las Pitillas presenta estos valores promedios de coliformes totales a causa de que se localiza aguas abajo del vertimiento de la PTAR.

En los resultados obtenidos, se puede observar que el punto de muestras que presenta valores más elevados de DBO y DQO es salguero, esto se debe principalmente al vertimiento de aguas residuales de la planta de tratamientos de aguas residuales de Valledupar, seguido de Las Pitillas, que es el punto más cercano aguas abajo del punto de vertimiento. Al comparar estos resultados por los obtenidos por Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla,

Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016), se puede observar que el mayor valor reportado de DBO es de 16,2 mg/L en el arroyo Caañabe, el cual fue su objeto de estudio, siendo este un valor muy elevado para este tipo de agua, sin embargo, el mayor valor reportado en el río Cesar fue de 25 mg/L en el punto Salguero, presentando niveles elevados para cuerpos de aguas superficiales.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un indicador que nos determina la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer la materia orgánica a través de procesos anaeróbicos, mientras la Demanda Química de Oxígeno (DQO) nos indicará cuánto oxígeno se requiere para descomponer la materia orgánica a través de procesos químicos como la oxidación (Gualdrón, 2016). Es por esta razón que a medida que se tengan mayores concentraciones de contaminaste biológicos, mayor será su DBO y por ende su DQO (Obregón, 2016).

La DQO y la DBO corresponden a parámetros importantes en la determinación de la contaminación de un agua, pues a mayor nivel de DQO mayor será la contaminación presente en el agua y la DBO al ser degradada por los microorganismos aerobios reduce el oxígeno disuelto de los sistemas hídricos superficiales, afectando el desarrollo de otros organismos vivos (García, Orjuela, Saldarriaga & Wilches, 2010).

En base a lo anterior, como en cada punto de toma de muestra se obtuvo una mayor DQO que DBO, se puede inferir que el agua contiene principalmente contaminantes orgánicos no biodegradables, los cuales serían los principales responsables en el gasto de oxígeno disuelto presente en el cuerpo de agua. Para las tomas de muestras en temporada de lluvias la DQO y DBO media más elevadas se presentaron en el Salguero, con unos valores de 180 mg/L y 18,5 mg/L respectivamente, de igual forma este punto tuvo una de las medias de oxígeno disuelto más bajas (4,8 mg/L), por otra parte, al comparar los resultados de DQO y DBO medidos en Guacoche, los cuales fueron las medias más bajas, se obtuvieron resultados de 40 mg/L y 2,5 mg/L respectivamente, punto de muestra que también obtuvo una de las medidas de oxígeno disuelto más elevadas con un valor de 6,3 mg/L, evidenciando así un comportamiento inversamente proporcional entre oxígeno disuelto con la DBO y la DQO.

Ruiz (2017) establece que “valores altos de SST (>1000 mg L⁻¹) afectan la entrada de luz, limitando el desarrollo de la vida acuática, así como es posible que transporte sustancias

tóxicas o nocivas cuando existe partículas pequeñas” (p. 5). En Colombia, no existe normativa de calidad de aguas continentales con respecto a los sólidos suspendidos totales, por lo tanto, estos se interpretan con las normativas de vertimientos de residuos líquidos; no obstante, algunos autores estipulan que si los SST superan los 150 mg/L se indicaría que ese cuerpo hídrico presenta contaminación (Ruiz, 2017).

A partir de los resultados promedios que se encuentran en la *tabla 9*, es posible afirmar que el río Cesar en su cuenca media solo presenta un valor significativo para contaminación por SST en el punto de muestras Los Calabazos, donde se presentó un valor promedio de 233,33 mg/L, con una concentración máxima de 445 mg/L, lo que podría indicar procesos erosivos en esta parte de la cuenca y al tomar las muestras en temporada de lluvias, este material de arrastre fue llevado al agua por escorrentía. No obstante, en los demás puntos de toma de muestras no se evidencian concentraciones de sólidos suspendidos totales que puedan llegar a ser significativas de una contaminación del curso de agua. Los sólidos suspendidos pueden ser un indicio de alteraciones de las condiciones naturales del curso fluvial de una cuenca, debido a varios procesos, como lo son los procesos de erosión de origen antrópico, los que provocan una falta de protección de los suelos que facilita que los materiales de arrastres ingresen al río por escorrentía cuando hay fuertes precipitaciones, por lo tanto, luego de fuertes periodos de lluvia, se puede producir un aumento en las concentraciones de sólidos en suspensión (Alba, Álvarez, Avilés, Bonada, Casas, Cuéllar, Guerrero, Moreno, Moyá, Nuño, Pardo, Prat, Ramón, Robles, Suárez, Toro, Vidal & Vivas, 2002.).

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son definidos como el residuo no filtrable natural o residual, una vez han sido secados a 103-105°C; los se pueden presentar en fuentes alóctonas, autóctonas, de levantamiento de tierra o resuspensión y dentro de estos se encuentra el plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides, materia orgánica o inorgánica finamente dividida y otros microorganismos presentes en el ambiente acuático, es importante resaltar que estos generalmente son relacionados con la temperatura, el color de, agua, la dinámica de los ríos, el tipo de material del cauce y el clima de la región (las precipitaciones) (Ruiz, 2017).

- **TERCERA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA SECA)**

Tabla 10
Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la tercera toma de muestras

PARÁMETROS	PUNTOS DE MUESTRA					
	Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pitillas	Los Calabazos
pH	7,29	7,38	5,65	7,06	7,26	8,04
Temp (°C)	26,1	23,4	24,1	29,4 - 27,7	30,1	34,3
%Saturación (%)	60	77	73	24	61	182
OD (mg/L)	4,9	6,3	6	1,9	4,6	12,1
Coliformes (NMP/100 ml)	330	460	1300	7000	11000	7900
DQO (mg/L)	120	100	80	260	120	40
DBO (mg/L)	22	18	11	35	28	14
SST (mg/L)	16,133	2,533	4	10	3,733	10,8

Nota: Esta toma de muestra se realizó el 01 de marzo de 2023. En el punto de salguero se registran 2 temperaturas, antes y después del vertimiento, respectivamente. Fuente: Los autores, 2023.

- **CUARTA TOMA DE MUESTRAS (TEMPORADA SECA)**

Tabla 11
Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la cuarta toma de muestras

PARÁMETROS	PUNTOS DE MUESTRA					
	Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pitillas	Los Calabazos
pH	7,58	7,81	6,35	7,29	7,43	7,66
Temp (°C)	25,5	22,8	23	30,8 - 28,8	30,5	32,1
%Saturación (%)	69	24	113	76	100	112
OD (mg/L)	5,7	2,1	9,3	5,6	7,4	7,9
Coliformes (NMP/100 ml)	2400	1100	700	35000	24000	4900

DQO (mg/L)	186,667	80	200	200	126,667	146,667
DBO (mg/L)	85	42	85	185	110	52
SST (mg/L)	16	12	9,333	45,333	36	14,667

Nota: Esta toma de muestra se realizó el 23 de marzo de 2023. En el punto de salguero se registran 2 temperaturas, antes y después del vertimiento, respectivamente. Fuente: Los autores, 2023.

- VALORES MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMOS EN TEMPORADA SECA**

Tabla 12

Valores máximos, medios y mínimos de cada punto de muestra en la temporada seca

PARÁMETROS		PUNTOS DE MUESTRA					
		Guacoche	Hurtado	Tarullal	Salguero	Las Pillas	Los Calabazos
pH	Máximo	7,58	7,81	6,35	7,29	7,43	8,04
	Medio	7,435	7,595	6	7,175	7,345	7,85
	Mínimo	7,29	7,38	5,65	7,06	7,26	7,66
Temp. (°C)	Máximo	26,1	23,4	24,1	30,8 - 28,8	30,5	34,3
	Medio	25,8	23,1	23,55	30,1 - 28,25	30,3	33,2
	Mínimo	25,5	22,8	23	29,4 - 27,7	30,1	32,1
Saturación (%)	Máximo	69	77	113	76	100	182
	Medio	64,5	50,5	93	50	80,5	147
	Mínimo	60	24	73	24	61	112
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Máximo	5,7	6,3	9,3	5,6	7,4	12,1
	Medio	5,3	4,2	7,65	3,75	6	10
	Mínimo	4,9	2,1	6	1,9	4,6	7,9
Coliformes (NMP/100 ml)	Máximo	2400	1100	1300	35000	24000	7900
	Medio	1365	780	1000	21000	17500	6400
	Mínimo	330	460	700	7000	11000	4900
DQO (mg/L)	Máximo	186,667	100	200	260	126,667	146,667
	Medio	153,3335	90	140	230	123,3335	93,3335
	Mínimo	120	80	80	200	120	40
DBO (mg/L)	Máximo	85	42	85	185	110	52

	Medio	53,5	30	48	110	69	33
	Mínimo	22	18	11	35	28	14
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Máximo	16,133	12	9,333	45,333	36	14,667
	Medio	16,0665	7,266	6,666	27,6665	19,8665	12,7335
	Mínimo	16	2,533	4	10	3,733	10,8

Nota: En la tabla se presentan los valores de cada parámetro obtenido en los dos muestreos de la temporada seca. Fuente: Los autores, 2023.

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras en temporada seca se presentan en las *tablas 10 y 11*, que corresponden a la tercera y cuarta toma de muestras, adicionalmente, se elaboró la *tabla 12* donde se tabularon los datos mínimos, máximos y promedios obtenidos en esa temporada.

Con base en los resultados promedios que se presentan en la *tabla 12* y teniendo en cuenta lo establecido en el decreto 1076 de 2015, la mayoría de los puntos de muestra serían aptos para ser empleados como agua para el consumo mediante tratamientos convencionales, a excepción de Salguero, que presenta un valor promedio de coliformes totales de 21000 NMP y la normativa establece que debe ser máximo 20000 NMP, además, en la norma se menciona que no se aceptan aguas que contengan películas visibles de grasas, aceites flotantes y materiales flotantes y en Salguero sí se observaron materiales flotantes (*ver anexo 15*), de la misma manera, en Tarullal se observaron películas visibles de grasas y aceites (*ver anexo 13*), lo que impide su uso en agua para consumo humano mediante desinfección. El agua de los puntos Guacoché, Hurtado y Tarullal se puede emplear para usos agrícolas y pecuarios sin limitaciones, mientras que los puntos de muestra Las pitillas y Los Calabazos se pueden emplear también para ese uso, pero no para el riego de frutas que se consuman sin quitar la cascara y para hortalizas de tallo corto.

En relación a los usos recreativos, Tarullal, Las Pitillas y Los Calabazos no cumplen con los criterios de calidad para uso recreativo mediante contacto primario ni secundario, como consecuencia de tener un porcentaje de saturación de oxígeno mayor a 70% y en términos de los coliformes totales, solo Hurtado cumple con lo establecido para emplearse en uso recreativo mediante contacto primario y secundario, obteniéndose un panorama mejor en el caso de Hurtado que en los muestreos en temporada de lluvias, donde no podía destinarse a este uso.

Al igual que en temporada de lluvias, durante la temporada seca los pH promedios obtenidos se encontraron dentro de un rango neutro, sin embargo, el pH más bajo fue de 5,56 en Tarullal, que presentó una ligera inclinación hacia un pH ácido, mientras que el más alto que se obtuvo fue 8,04 en Los Calabazos, donde evidencia una tendencia ligeramente alcalina, no obstante, estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos por el decreto 1076 de 2015 sobre los usos del agua para consumo humano mediante desinfección, rangos que van desde 6.5-8.5, siendo Tarullal el único punto que no cumple con esa condición.

Las temperaturas obtenidas en temporada seca fueron más altas que las observadas en temporada de lluvias, siendo la temperatura más alta 34,3°C registrada en Los Calabazos, por el contrario, la más baja fue de 22,8°C observada en Hurtado. En relación a las temperaturas promedios, todos se encontraron por debajo de la temperatura del aire en la cuenca obtenida por Hurtado (2016).

Contemplando la relación inversamente proporcional existente entre la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto de los cuerpos hídricos, se considera que en esta investigación se cumplió para los resultados de Salguero y Guacoche, en el resto de la cuenca no se evidencia esta relación, que puede deberse a que la concentración de oxígeno en el agua no solo se determina en relación a la temperatura, sino a otra serie de factores como la presión, la concentración de sales disueltas, la agitación, la turbulencia, contaminación y vegetación, además de la temporada (Martínez y Pujante, 1997).

Como se observa en la *tabla 12*, las fluctuaciones del oxígeno disuelto en cada punto de muestra no son tan similares en comparación a la temporada de lluvias, la mayor de estas es la del punto Las Pitillas a Los Calabazos, donde se obtiene una diferencia de 4 mg/L. Si se considera la fluctuación que hubo desde el primer punto de muestra (Guacoche) de la cuenca media del río Cesar hasta el último punto (Los Calabazos), el oxígeno disuelto de la cuenca pasó de una concentración media de 5,3 mg/L a 10 mg/L, respectivamente, este aumento puede estar influenciado por posibles procesos de eutrofización que se pueden estar generando en Los Calabazos.

Los aportes de materia orgánica y nutrientes en los cursos de agua a causa de escorrentías fluviales, vertimiento de aguas residuales, de actividades agropecuarias, etc, producen una aceleración de los procesos de eutrofización, como consecuencia de los

incrementos de los consumos de oxígeno disuelto y la productividad primaria, a pesar de que en los procesos de eutrofización existen niveles de oxígeno bajos, también se han percibido sobresaturación de oxígeno en el agua como resultado de la gran proliferación de algas, además, durante el día la actividad fotosintética genera cantidades de oxígeno mayores de las que pueden solubilizarse en el agua, produciendo sobresaturación y por la noche, la misma comunidad planctónica lo consume por respiración, por lo tanto, las concentraciones de oxígeno disuelto pueden variar entre 170 y un 0 % de los valores de saturación, en el día y en la noche, respectivamente; los nutrientes son obtenidos por las bacterias y algas, produciendo cambios en la coloración del agua de la cuenca por el aumento de la concentración de pigmentos fotosintéticos (Gómez & Mariñelarena, 2008). La proliferación de algas como resultado de la eutrofización, se da principalmente en verano y primavera, con menor intensidad durante otoño y nulos en invierno (Bonansea, Ledesma, Rodríguez & Sánchez, 2013).

En vista de lo expuesto anteriormente, es necesario resaltar que en el punto de muestra Los Calabazos podría estar dándose un proceso de eutrofización, debido a la sobresaturación de oxígeno disuelto, a la coloración del agua (*ver anexo 18*) y a la temporada donde se tomaron las muestras, que como menciona la bibliografía, estos fenómenos se dan generalmente en temporadas secas.

Según los niveles de oxígeno disuelto obtenidos en la temporada seca, solo Guacoche y Las Pitillas presentan condiciones óptimas para el desarrollo de la vida acuática según lo establecido por Peña (2007).

Con respecto al porcentaje de saturación de oxígeno, según los valores establecidos por (Guemisa, 2018) el único punto que tiene un nivel de oxígeno disuelto promedio adecuado es Las Pitillas (80-89%), por su parte, Salguero y Hurtado presentan un nivel pobre de oxígeno disuelto (<60%), mientras que Guacoche se encuentra en niveles aceptables (60-79%), Tarullal en un nivel excelente (90-100%) y Los Calabazos presenta sobre saturación (>101%).

En la *tabla 12* se registran los valores promedios de coliformes totales durante los muestreos realizados en temporada seca, observándose que las mayores concentraciones se presentan en los puntos aguas abajo del vertimiento de aguas residuales, además de evidenciarse un incremento en estos puntos con respecto a las temporadas de lluvias, la razón

principal de esto es que en sequía el caudal existente es menor, por lo tanto, no existe una gran capacidad para diluirse toda esta carga contaminante a lo largo del río, como en la temporada de lluvias, aumentando su concentración en el cuerpo de agua.

En comparación de la temporada de lluvias, la temporada seca presenta valores de DBO y DQO más altos, esto se puede deber a la disminución del caudal del río durante esta temporada, lo que impide una correcta asimilación de ciertos contaminantes orgánicos e inorgánicos. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla, Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016), podemos observar que tanto la DQO como la DBO se encuentran muy por encima de los valores medidos en el arroyo Caañabe, el cual ya presentaba valores altos para un cuerpo de agua superficial, el principal factor para que esto suceda es que a diferencia del arroyo Caañabe, el río Cesar recibe el vertimiento de aguas residuales provenientes de Valledupar.

Al igual que las muestras de temporada de lluvias, en sequía la DQO tuvo valores más altos que la DBO, lo que ratifica una mayor contaminación por contaminantes no biodegradables. En esta ocasión también se obtuvo una mayor media de DQO y DBO en el punto Salguero, con valores de 230 mg/L y 110 mg/L respectivamente, al mismo tiempo en este punto se obtuvo la medición de oxígeno disuelto promedio más baja medida en la temporada seca, la cual fue de 3,75 mg/L, mientras que uno de los promedios más bajos de las DQO y DBO medidas en sequía fue en Los Calabazos, con valores de 93,3335 mg/L y 33 mg/L respectivamente, obteniendo en este punto el valor promedio más alto de oxígeno disuelto medido en esta misma temporada, siguiendo un comportamiento de inversa proporcionalidad entre el oxígeno disuelto con la DBO y DQO, esto gracias a que a mayor grado de contaminantes presentes en el agua, la cantidad de oxígeno disminuye porque el gasto de este aumenta.

La caracterización de los sólidos suspendidos totales durante la temporada seca arrojó valores promedios muy poco significativos para representar una contaminación, siendo el mayor 27,66 mg/L en Salguero y el menor 6,66 mg/L en Tarullal.

6.2. ANALIZAR LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR MEDIANTE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los índices de contaminación del agua en la cuenca media del río Cesar, en primera instancia se realiza el análisis de la calidad del agua en cada periodo de toma de muestra y posteriormente se realiza una comparación sobre los valores obtenidos en cada periodo de muestra en ambas temporadas del año, comparándolos con la normatividad vigente y la bibliografía existente en relación a aguas crudas y vertimientos de aguas residuales.

6.2.1. ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN

- RESULTADOS EN TEMPORADA DE LLUVIAS**

Tabla 13

Índice de Contaminación por pH (ICOpH) en la temporada de lluvias

ICOpH				Color
Punto de muestra		pH	ICOpH	
Guacoche	MÁXIMO	7,58	0,00718	
	MEDIO	7,2	0,00195	
	MÍNIMO	6,82	0,00182	
Hurtado	MÁXIMO	7,81	0,01574	
	MEDIO	6,99	0,00101	
	MÍNIMO	6,17	0,01685	
Tarullal	MÁXIMO	6,98	0,00105	
	MEDIO	6,315	0,01028	
	MÍNIMO	5,65	0,09343	
Salguero	MÁXIMO	7,48	0,0051	
	MEDIO	7,27	0,00248	
	MÍNIMO	7,06	0,0012	
Las Pitillas	MÁXIMO	7,63	0,00852	
	MEDIO	7,445	0,00452	
	MÍNIMO	7,26	0,00239	
Los Calabazos	MÁXIMO	8,04	0,03416	
	MEDIO	7,67	0,00977	

	MÍNIMO	7,3	0,00275	
--	---------------	-----	---------	--

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por PH para cada uno de los puntos de muestreo, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en temporada de lluvias. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 14

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (SST) en temporada de lluvias

ICOSUS				Color
Punto de muestra		SST (mg/L)	ICOSUS	
Guacoche	MÁXIMO	75	0,205	
	MEDIO	56,6665	0,15	
	MÍNIMO	38,333	0,095	
Hurtado	MÁXIMO	15	0,025	
	MEDIO	9,5	0	
	MÍNIMO	4	0	
Tarullal	MÁXIMO	20	0,04	
	MEDIO	10,8335	0,0125	
	MÍNIMO	1,667	0	
Salguero	MÁXIMO	85	0,2350	
	MEDIO	66	0,1780	
	MÍNIMO	47	0,1210	
Las Pitillas	MÁXIMO	140	0,4	
	MEDIO	80	0,22	
	MÍNIMO	20	0,04	
Los Calabazos	MÁXIMO	445	1	
	MEDIO	233,3335	0,680	
	MÍNIMO	21,667	0,045	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por SST para cada uno de los puntos de muestreo, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en temporada de lluvias. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 15

Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP) en temporada de lluvias

ICOTEMP			ICOTEMP	Color	
Salguero	T. Antes del vertimiento (°C)	T. Después del vertimiento (°C)			
	MÁXIMO	27,9	27,8	0	
	MEDIO	26,95	27,05	0	
	MÍNIMO	26	26,3	0	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por temperatura para el punto de muestra Salguero, el cual es el único punto con vertimiento, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en temporada de lluvias. Fuente: los autores, 2023

Tabla 16

Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la primera toma de muestras de temporada de lluvias

ICOMO								
Punto de muestra	DBO (mg/L)	IDBO	%saturación	I%O	CT (NMP/100 ml)	ICT	ICOMO	COLOR
Guacoche	2	0,206	75	0,25	490	0	0,174	
Hurtado	4	0,416	76	0,24	>16000	0,91431	0,523	
Tarullal	2	0,206	83	0,17	1300	0,30381	0,227	
Salguero	25	0,974	64	0,36	>16000	0,91431	0,749	
Pitillas	4	0,416	49	0,51	700	0,15325	0,359	
Calabazos	3	0,329	43	0,57	330	0	0,299	

Nota: en la tabla se observa la determinación de los índices de DBO, de % de saturación y coliformes totales, los cuales son necesarios para determinar el ICOMO. Fuente: los autores

Tabla 17

Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la segunda toma de muestras de temporada de lluvias

ICOMO								
Punto de muestra	DBO (mg/L)	IDBO	%saturación	I%O	CT (NMP/100 ml)	ICT	ICOMO	COLOR
Guacoche	3	0,329	72	0,28	1200	0,28434	0,298	
Hurtado	8	0,627	88	0,12	1700	0,36905	0,372	
Tarullal	6	0,54	60	0,4	3500	0,54468	0,495	
Salguero	12	0,75	54	0,46	9200	0,77972	0,663	
Las Pitillas	16	0,838	58	0,42	>16000	0,35431	0,537	
Los Calabazos	8	0,627	61	0,39	590	0,11168	0,376	

Nota: en la tabla se observa la determinación de los índices de DBO, de % de saturación y coliformes totales, los cuales son necesarios para determinar el ICOMO. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 18

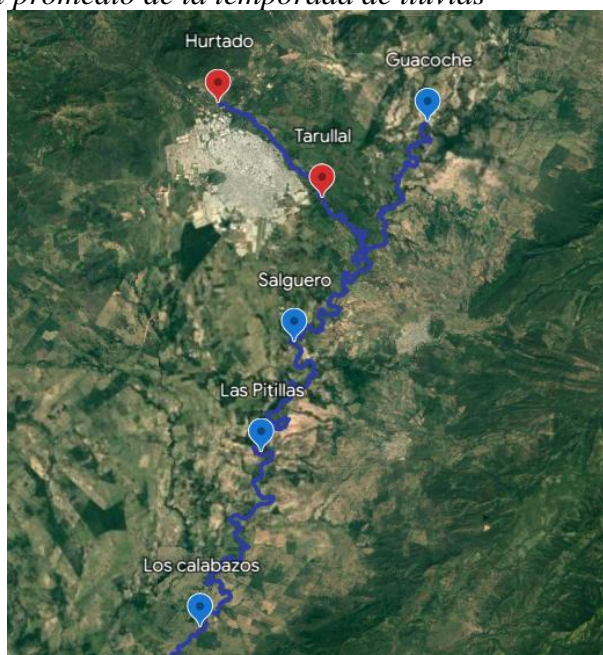
Promedios del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en temporada de lluvias

ICOMO			
Punto de muestra		ÍNDICE	COLOR
Guacoche	MÁXIMO	0,298	
	MEDIO	0,236	
	MÍNIMO	0,174	
Hurtado	MÁXIMO	0,523	
	MEDIO	0,448	
	MÍNIMO	0,372	
Tarullal	MÁXIMO	0,495	
	MEDIO	0,361	
	MÍNIMO	0,227	
Salguero	MÁXIMO	0,749	
	MEDIO	0,706	
	MÍNIMO	0,663	
Las Pitillas	MÁXIMO	0,537	
	MEDIO	0,449	
	MÍNIMO	0,36	
Los Calabazos	MÁXIMO	0,376	
	MEDIO	0,333	
	MÍNIMO	0,29	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por materia orgánica para cada punto de muestra, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en temporada de lluvias. Fuente: los autores, 2023.

Figura 4

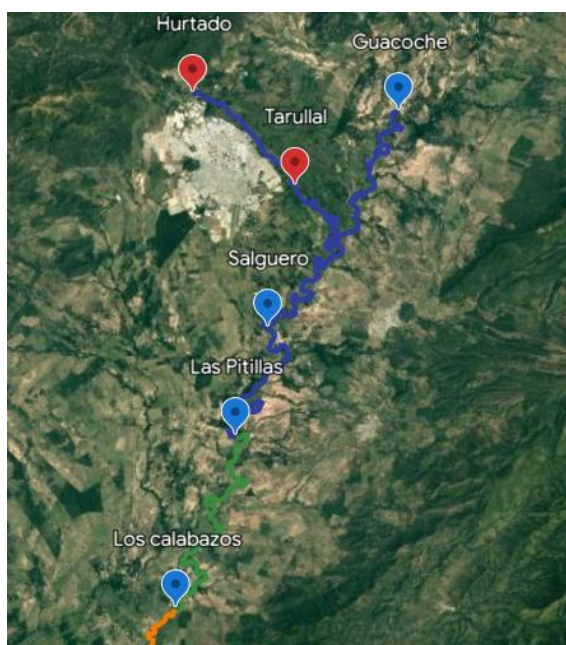
Esquematzación de los resultados obtenidos del ICOpH e ICOTEMP en el promedio de la temporada de lluvias



Nota: esta imagen es realizada por los autores con ayuda de Google Earth. Fuente: Google Earth, 2023, los autores, 2023.

Figura 5

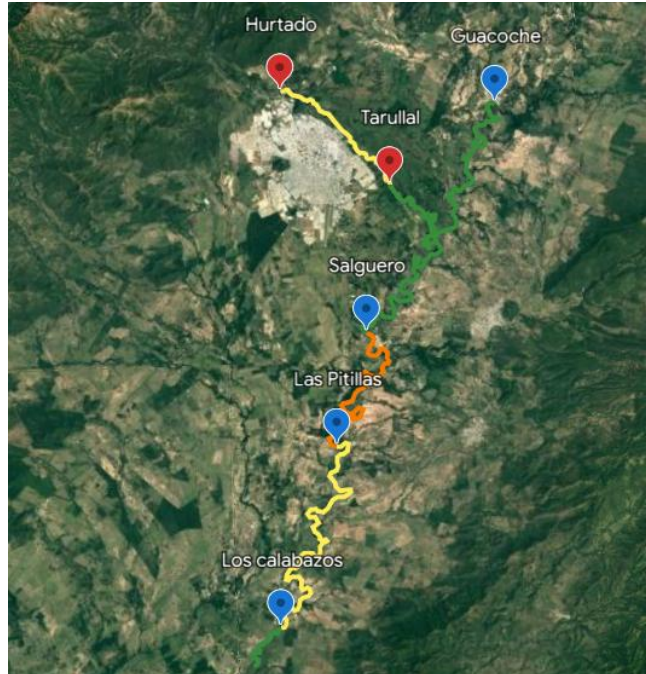
Esquematzación de los resultados obtenidos del ICOSUS en el promedio de la temporada de lluvias



Nota: esta imagen es realizada por los autores con ayuda de Google Earth. Fuente: Google Earth, 2023, los autores, 2023.

Figura 6

Esquemmatización de los resultados obtenidos del ICOMO en el promedio de la temporada de lluvias



Nota: esta imagen es realizada por los autores con ayuda de Google Earth.
Fuente: Google Earth, 2023, los autores, 2023.

Se puede observar que en el río Cesar el ICOPH nos indica que estas aguas se encuentran en buenas condiciones si consideramos como indicador al pH (*ver tabla 13*), esto también se evidencia en los resultados obtenidos por Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla, Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016), donde el arroyo Caañabe, al igual que el río Cesar, presentó ninguna contaminación según lo establecido por el ICOPH en todos los puntos de muestras. Esto puede ratificarse bajo la normatividad colombiana, puesto que los valores obtenidos del pH en la temporada de lluvias se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el decreto 1076 de 2015. También podemos observar en las *Tabla 15* que en la temporada de lluvias no se encontró contaminación en ningún punto respecto al ICOTEMP, recordando que este último se mide antes y después del vertimiento de aguas residuales de Valledupar y que este no representa una variación significativa en la temperatura del cuerpo de agua debido a que la diferencia de temperatura es menor a los 2,5 °C en cada punto de muestra, por lo tanto, esta contaminación es considerada como nula por la metodología empleada según Ramírez, Restrepo y Cardeñosa (1999) para el ICOTEMP.

Los resultados obtenidos del ICOSUS presentes en la investigación pueden compararse con los presentados por Guillermo y Gélvez (2016), en su estudio realizado en la quebrada Fucha, donde estos obtuvieron una contaminación media y baja medida a partir de ICOSUS, por lo cual podemos deducir que el río Cesar se encuentra en buenas condiciones en la mayoría de los puntos de toma de muestras, respecto al indicador de sólidos suspendidos totales, esto debido a que los resultados medidos a partir del ICOSUS en este cuerpo de agua fue de ninguna contaminación, a diferencia de Los Calabazos, punto que en temporada de lluvias presentó una contaminación promedio por ICOSUS alta, siendo esto una posible consecuencia de procesos erosivos en los suelos de la zona, lo que ocasiona que en temporadas de precipitaciones fuertes estos sólidos por medio de escorrentía ingresen a la cuenca, generando un aumento en la concentración de estos. La diferencia existente entre los resultados obtenidos en esta investigación y en la de Guillermo y Gélvez (2016), se deben principalmente a las diferencias de las condiciones climáticas, hidrográficas y geográficas de las cuencas de estudio, pues las precipitaciones que recibe la quebrada Fucha son mayores y su pendiente también es mayor, lo que ocasiona que haya mayor movimiento del agua y, por lo tanto, los sólidos tienen menos tiempo para sedimentarse.

Por otro lado, en la investigación presentada por Molina y Pinto (2019), obtuvieron ICOSUS muy altos medidos en el río Calenturitas para la temporada de invierno, a diferencia del río Cesar en el cual este índice presentó una contaminación promedio nula en la mayoría de los puntos de toma de muestra, por lo se puede decir que el río Cesar es una fuente hídrica sin presencia de sedimentos que le contaminen, tomando los sólidos suspendidos totales como el indicador, resultado que también se evidencia a nivel regional en el río Sororia en la Jagua de Ibirico, donde Padilla y Romero (2019), también obtuvieron un ICOSUS nulo en temporada de lluvias. Como se puede observar, otros ríos de la región no presentan contaminación por ICOSUS como el río Sororia, sin embargo, el río Calenturitas posee un ICOSUS muy alto, que se relaciona principalmente a los procesos erosivos que se evidencian en las orillas del río y a las actividades mineras que se realizan a la zona (Angulo, Díaz, Madera y Rojano, 2016).

En la investigación presentada por Angarita, Hernández, Miranda y Ramírez (2019), se evalúa la calidad del agua en el río Algodonal, al cual es vertido el agua residual proveniente de la laguna de oxidación de Abrego, es por esto que uno de los índices de contaminación a evaluar es el ICOTEMP en este punto de muestra, obteniendo una contaminación baja, mientras

que durante este proyecto el ICOTEMP dio como resultado ninguna contaminación (*ver tabla 15*) en el punto Salguero, el cual recibe los vertimientos de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Valledupar, por tal motivo se puede decir que estos vertimientos no tienen una repercusión significativa en algunos ríos respecto al indicador de la temperatura.

Por otro lado, el ICOMO varió en las dos tomas de muestras, hay puntos como el caso de Hurtado, donde su contaminación disminuyó de una toma de muestra a otra (*ver tabla 16 y 17*), esto se puede deber principalmente a las precipitaciones de la zona, aunque ambas muestras fueron tomadas en temporada de lluvias, para el mes de octubre, donde se tomó la segunda muestra de esta temporada, se observó un incremento en las lluvias del municipio de Valledupar y otros corregimientos del departamento de Cesar (El Pílon, 2022), favoreciendo a la asimilación de materia orgánica dentro del río. Por otro lado, durante la temporada de lluvias el punto más crítico fue el del Salguero, dando un ICOMO alto en ambas tomas de muestra (*ver tabla 16 y 17*), sin embargo, gracias a lo mencionado anteriormente, el río neutraliza estos contaminantes de manera exitosa a medida que va aguas abajo, evidenciando en Las Pitillas y Los Calabazos, puntos de toma muestra y análisis que se encuentran aguas abajo en la cuenca media del río Cesar, un ICOMO medio y bajo, respectivamente.

En el estudio realizado por Molina y Pinto (2019), el ICOMO presenta una contaminación media en los resultados, medidos en el río Calenturitas, mientras que en el tramo del río Cesar evaluado dentro de este proyecto se encuentra una contaminación baja respecto a la materia orgánica en los puntos más alejados del vertimiento de aguas residuales, por tal motivo se puede decir, que en aquellas temporadas donde las precipitaciones sean mayores, el río Cesar tiene mejor capacidad de neutralizar contaminantes a diferencia del río Calenturitas. Por otro lado, la investigación de Padilla y Romero (2019) en el río Sororia dio como resultados del ICOMO una contaminación media y alta en las dos estaciones de muestreo en temporadas de lluvias. Con lo anterior, se puede evidenciar que las cuencas de la región poseen contaminación por ICOMO, siendo este, uno de los principales contaminantes de estos cuerpos hídricos.

En el estudio realizado por Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla, Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016), se puede observar que, en tres de los cinco muestreos, la contaminación por materia orgánica del arroyo Caabeña fue nula, mientras que los otros dos fueron media y baja, por otro lado, en esta

investigación se encontró un resultado con contaminación nula, el cual fue Guacoche en la primera toma de muestras de la temporada de lluvias (*ver tabla 16*), esto gracias a que es un punto que se encuentra aguas arriba en el río Cesar, mientras que en los demás puntos los resultados variaron entre una contaminación media y baja, a diferencia del Salguero, el cual presentó una contaminación alta que está relacionada a la materia orgánica presente en esta zona por las descargas de aguas residuales de la PTAR de Valledupar y por actividades agrícolas y ganaderas en la región (*ver tabla 16*).

- **RESULTADOS EN TEMPORADA SECA**

Tabla 19
Índice de Contaminación por pH (ICOpH) en la temporada seca

ICOpH				Color
Punto de muestra		pH	ICOpH	
Guacoche	MÁXIMO	7,58	0,00718	
	MEDIO	7,435	0,00437	
	MÍNIMO	7,29	0,00265	
Hurtado	MÁXIMO	7,81	0,01574	
	MEDIO	7,595	0,00756	
	MÍNIMO	7,38	0,00362	
Tarullal	MÁXIMO	6,35	0,00913	
	MEDIO	6	0,02989	
	MÍNIMO	5,65	0,09343	
Salguero	MÁXIMO	7,29	0,00265	
	MEDIO	7,175	0,00179	
	MÍNIMO	7,06	0,0012	
Las Pitillas	MÁXIMO	7,43	0,00429	
	MEDIO	7,345	0,00321	
	MÍNIMO	7,26	0,00239	
Los Calabazos	MÁXIMO	8,04	0,03416	
	MEDIO	7,85	0,01803	
	MÍNIMO	7,66	0,00944	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por PH para cada uno de los puntos de muestreo, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en la temporada seca. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 20
Índice de contaminación por sólidos suspendidos (SST) en temporada seca

ICOSUS				Color
Punto de muestra		SST (mg/L)	ICOSUS	
Guacoche	MÁXIMO	16,133	0,028	
	MEDIO	16,0665	0,028	
	MÍNIMO	16	0,028	
Hurtado	MÁXIMO	12	0,016	
	MEDIO	7,2665	0	
	MÍNIMO	2,533	0	
Tarullal	MÁXIMO	9,333	0	
	MEDIO	6,6665	0	
	MÍNIMO	4	0	
Salguero	MÁXIMO	45,333	0,116	
	MEDIO	27,6665	0,063	
	MÍNIMO	10	0,010	
Las Pitillas	MÁXIMO	36	0,088	
	MEDIO	19,8665	0,040	
	MÍNIMO	3,733	0,000	
Los Calabazos	MÁXIMO	14,667	0,024	
	MEDIO	12,7335	0,018	
	MÍNIMO	10,8	0,012	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por SST para cada uno de los puntos de muestreo, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en la temporada seca. Se tiene en cuenta que para SST < 10 mg/L el ICOSUS será 0. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 21

Índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) en temporada seca

ICOTEMP				ICOTEMP	Color
Salguero	T. Antes del vertimiento (°C)		T. Después del vertimiento (°C)		
	MÁXIMO	30,8	28,8	0	
	MEDIO	30,1	28,25	0	
	MÍNIMO	29,4	27,7	0	

Nota: En la tabla se encuentran los índices de contaminación por temperatura para el punto de muestra Salguero, el cual es el único punto con vertimiento, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en la temporada seca. Fuente: los autores, 2023

Tabla 22

Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la primera toma de muestras de la temporada seca

ICOMO								
Punto de muestra	DBO (mg/L)	IDBO	%saturación	I%O	CT (NMP/100 ml)	ICT	ICOMO	COLOR
Guacoche	22	0,935	60	0,4	330	0	0,445	
Hurtado	18	0,874	77	0,23	460	0	0,368	
Tarullal	11	0,724	73	0,27	1300	0,30381	0,433	
Salguero	35	1	24	0,76	7000	0,71325	0,824	
Las Pitillas	28	1,008	61	0,39	11000	0,82318	0,74	

Los Calabazos	14	0,797	182	0	7900	0,74267	0,513	
----------------------	----	-------	-----	---	------	---------	-------	--

Nota: en la tabla se observa la determinación de los índices de DBO, de % de saturación y coliformes totales, los cuales son necesarios para determinar el ICOMO. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 23

Índice de Contaminación por Materia Orgánica en la segunda toma de muestras de la temporada seca

ICOMO								
Punto de muestra	DBO (mg/L)	IDBO	%saturación	I%O	CT (NMP/100 ml)	ICT	ICOMO	COLOR
Guacoche	85	1	69	0,31	2400	0,45292	0,588	
Hurtado	42	1	24	0,76	1100	0,26318	0,674	
Tarullal	85	1	113	0	700	0,15325	0,384	
Salguero	185	1	76	0,24	35000	1	0,747	
Las Pitillas	110	1	100	0	24000	1	0,667	
Los Calabazos	52	1	112	0	4900	0,62651	0,542	

Nota: en la tabla se observa la determinación de los índices de DBO, de % de saturación y coliformes totales, los cuales son necesarios para determinar el ICOMO. Fuente: los autores, 2023.

Tabla 24

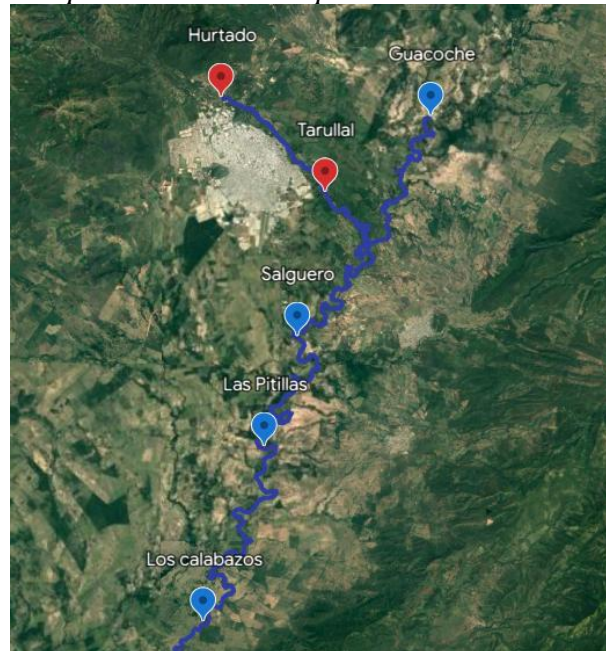
Promedios del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) en temporada seca

ICOMO			
Punto de muestra		ÍNDICE	COLOR
Guacoche	MÁXIMO	0,588	Yellow
	MEDIO	0,517	Yellow
	MÍNIMO	0,445	Yellow
Hurtado	MÁXIMO	0,674	Orange
	MEDIO	0,521	Yellow
	MÍNIMO	0,368	Green
Tarullal	MÁXIMO	0,433	Yellow
	MEDIO	0,409	Yellow
	MÍNIMO	0,384	Green
Salguero	MÁXIMO	0,824	Red
	MEDIO	0,786	Orange
	MÍNIMO	0,747	Orange
Pitillas	MÁXIMO	0,74	Orange
	MEDIO	0,704	Orange
	MÍNIMO	0,667	Orange
Calabazos	MÁXIMO	0,542	Yellow
	MEDIO	0,528	Yellow
	MÍNIMO	0,513	Yellow

Nota: en la tabla se encuentran los índices de contaminación por materia orgánica para cada punto de muestra, teniendo en cuenta los valores máximos, medios y mínimos registrados en la temporada seca. Fuente: los autores, 2023.

Figura 7

Esquemmatización de los resultados obtenidos del ICOpH, ICOSUS e ICOTEMP en el promedio de la temporada seca

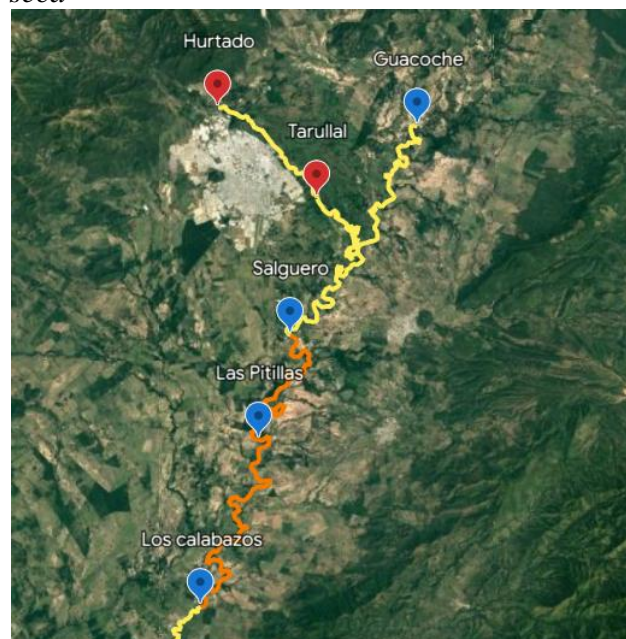


Nota: esta imagen es realizada por los autores con ayuda de Google Earth.

Fuente: Google Earth, 2023, los autores, 2023.

Figura 8

Esquemmatización de los resultados obtenidos del ICOMO en el promedio de la temporada seca



Nota: esta imagen es realizada por los autores con ayuda de Google Earth.

Fuente: Google Earth, 2023, los autores, 2023.

En las *tablas 19, 20 y 21* se presentan los resultados para los índices de contaminación por pH, sólidos suspendidos totales y temperatura, respectivamente, organizados por máximos, medios y mínimos, en las *tablas 22 y 23* están los índices de contaminación por materia orgánica para los dos muestreos realizados en temporada seca y en la *tabla 24* se observan los índices de contaminación por materia orgánica para cada punto según los máximos, medios y mínimos obtenidos en esta temporada.

Es posible evidenciar en la *tabla 19*, que en temporada seca los pH estuvieron en rangos neutros, por lo tanto, no se evidenció un valor representativo de contaminación por este parámetro. En otras investigaciones también se han obtenido resultados parecidos con respecto a la contaminación por pH, como la que se llevó a cabo por Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla, Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016) en el arroyo cañabee en Paraguay, donde la fuente hídrica de estudio tampoco presentó contaminación por ICOpH.

La investigación, verificó que la cuenca media del río Cesar no presenta contaminación por ICOSUS (*tabla 20*) en temporada seca, obteniéndose como valor máximo 0,034 en el punto Salguero, es importante destacar que la concentración de sólidos suspendidos totales es menor en sequía que en temporada de lluvias, sin embargo, en otros cuerpos lóticos si se ha evidenciado contaminación por ICOSUS en temporadas de bajas precipitaciones, tal como se evidencia en la investigación de Gelvez & Guillermo (2016), donde la quebrada Fucha (Bogotá, Colombia), presentó ICOSUS bajas, medias y altas, en los puntos de muestra durante el mes de mayo, aun cuando este fue el mes con menor precipitaciones y a su vez, con menor caudal. Estas diferencias son resultados fundamentales de la ubicación geográfica de la cuenca, de sus condiciones climáticas, los usos del suelo, entre otras, porque la pendiente de la quebrada fucha es mayor a la del río Cesar, ocasionando un mayor movimiento en el agua, que a su vez, provoca una menor sedimentación de los sólidos, además, si bien los resultados se analizaron con respecto al mes con menor precipitación de la quebrada Fucha, sus precipitaciones seguían siendo mayores a las que recibió el río Cesar durante la temporada de toma de muestras.

A diferencia de la temporada de invierno, Molina y Pinto (2019) tuvieron una contaminación cero evaluada en el río calenturita respecto al ICOSUS, esto se puede deber principalmente a las sequías, donde la escorrentía es menor y con esto disminuye el arrastre de los sólidos en el agua, Mientras que los sólidos suspendidos totales obtenidos en el río Cesar,

fueron nulos tanto para temporada de lluvias como para sequía, al igual que en el río Sororia (Padilla y Romero, 2019).

El índice de contaminación por temperatura solo se realiza en lugares donde existen vertimientos de aguas residuales, por lo tanto, solo se realizó en Salguero (*tabla 21*), donde se encontró que la diferencia de temperaturas existentes antes y después del vertimiento no fue significativa para representar contaminación por este índice. Resultados similares se han encontrado en otras investigaciones, de acuerdo con Angarita, Hernández, Ramírez y Miranda (2019), quienes obtuvieron un índice de contaminación por temperatura bajo en la cuenca media del río el Algodonal (Norte de Santander).

En la *tabla 24* se evidencia la contaminación por el índice de materia orgánica, organizado para cada muestro de la temporada seca en máximos, mínimos y medios, como se observa, la contaminación de esta cuenca aumenta en esta temporada, a causa de la disminución del caudal del agua, que indica una menor capacidad de depurar la contaminación presente en el río. Es importante señalar que, si bien durante la investigación no se realizaron mediciones del caudal, mediante la observación si fue posible evidenciar una disminución en la lámina de agua con respecto a muestreos anteriores. En base de las *tablas 22 y 23* es posible inferir que la contaminación por materia orgánica en la cuenca media del río Cesar es consecuencia principalmente de los altos índices de DBO₅ e índices de coliformes totales, que se dan por las actividades de vertimientos de aguas residuales, la ganadería extensiva que se presenta en márgenes del río y actividades agrícolas como cultivos de yuca, arroz, palma de aceite, entre otros (Guzmán, 2013). El punto más crítico de la cuenca media del río Cesar es Salguero, como resultado de los vertimientos de residuos líquidos del municipio de Valledupar y La Paz, afectando las condiciones del río aguas abajo y a su vez, provocando consecuencias negativas en los asentamientos humanos y en la fauna y flora de la cuenca (CORPOCESAR, 2022).

En este proyecto de investigación, al igual que en el presentado por Molina y Pinto (2019) y el de Padilla y Romero (2019), la contaminación en las aguas fue media para el ICOMO, lo que representa que tanto en el río Calenturitas como en el río Cesar y el río Sororia, hay presencia de contaminantes, principalmente aquellos compuestos por materia orgánica, lo que podría ser un indicativo de que los cuerpos hídricos superficiales de la región presentan contaminación por materia orgánica, por lo que se deben establecer políticas y estrategias enfocadas en la eliminación de esta contaminación o en la mitigación de la misma.

Investigaciones como la de Alonso, Benítez-Martínez, Benítez-Resquín, Bobadilla, Fernández, Franco de Diana, Galeano, Ímas, López-Arias, López-Vera y Mazó (2016) en el arroyo cañabee en Paraguay arrojaron índices de contaminación por materia orgánica ninguno, bajos y medios, debido a que en este no arroyo no existe vertimiento de aguas residuales, otros resultados de ICOMO también demuestran que a pesar de haber vertimientos no existen contaminación por materia orgánica como lo es Angarita, Hernández, Ramírez y Miranda (2019), quienes obtuvieron un índice de contaminación por materia orgánica nulo en la cuenca media del río el Algodonal (Norte de Santander). Por su parte, Gelvez y Guillermo (2016) obtuvo que la quebrada Fucha (Bogotá), presenta ICOMO altos en épocas de bajas precipitaciones, como consecuencias de vertimientos. En definitiva, la contaminación que presente un río tomando como indicador la materia orgánica, no solo depende de si en un cuerpo hídrico existe vertimientos de aguas residuales, sino de las características de la cuenca, de su ubicación cerca de centros poblados y de demás actividades que se realicen en la zona, como la agricultura y la ganadería.

6.2.1. COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN EN RELACIÓN A LAS TEMPORADAS DE LA TOMA DE MUESTRAS

Como análisis general y teniendo en cuenta un promedio de los muestreos realizados en cada temporada (lluvias y sequía), es posible mencionar que la contaminación de la cuenca media del río Cesar y de la cuenca baja del río Guatapurí medida a través de los Índices de Contaminación por pH y temperatura es nula, por lo que no se requieren medidas necesarias para ayudar a la mitigación o corrección de la calidad del agua con base en estos parámetros, al igual que la contaminación medida a través de los Índices de Contaminación por sólidos suspendidos, con la diferencia de que en temporada de lluvias esta presentó una contaminación baja en Las Pitillas y alta en Los Calabazos a causa de los procesos erosivos que generan sedimentos en el río.

En comparación con la bibliografía consultada, en esta se mencionaba que los vertimientos de aguas residuales de la PTAR salguero, generan una gran carga orgánica que el río no posee la capacidad de degradar, tal como se observa en los resultados obtenidos en esta investigación, además, se menciona que, como consecuencia de esto, se pueden ver afectadas las poblaciones aguas abajo del vertimiento, pues al ser poblaciones rurales muchas no tienen

acceso a agua potable y por lo tanto, se ven obligadas a emplear el agua del río Cesar como abastecimiento principal de algunas actividades (Fontalvo, 2015). Asimismo, CORPOCESAR (2022), estableció que, en un estudio a causa del vertimiento de aguas residuales, en las pitillas se presentan concentraciones bajas de oxígeno disuelto, tal como se observa en los dos primeros muestreos realizados durante el desarrollo del proyecto, lo que representa una amenaza para la preservación de la fauna y la flora de la cuenca.

Otros estudios realizados por CORPOCESAR en el año 2018 y 2019, evidencian que la riqueza de la cuenca del río Guatapurí se ha visto perjudicada a causa algunas actividades antrópicas, las cuales generan problemáticas tales como la pérdida de la capa del suelo y la vegetación, siendo esto un derivado de la construcción de caminos vecinales, además, la pérdida de vegetación a su vez favorece a procesos erosivos y el ingreso de residuos sólidos como los plásticos a la cuenca del río Guatapurí; sumándole a esto, que a la margen Guatapurí habitan comunidades rurales que tienen limitaciones en cuando al acceso de servicios públicos como el agua potable y en busca de satisfacer sus necesidades de abastecimiento utilizan el agua del río, por lo que las contaminación por materia orgánica encontrada en la cuenca baja de este río representa un problema para estas comunidades.

A partir de los resultados obtenidos, es posible afirmar que durante la temporada seca la contaminación en el río aumenta, como una consecuencia de la disminución del caudal, lo que a su vez ocasiona que el río tenga una menor capacidad para neutralizar los contaminantes que ingresan al río, principalmente como causa de los vertimientos de aguas residuales, de la ganadería en la región y de actividades agrícolas.

En resumen, sí es necesario estructurar y llevar a cabo medidas que busquen la mejora de estas cuencas en relación a la contaminación por índice de materia orgánica presentes en ellas, pues en promedio, la cuenca baja del río Guatapurí da indicios de contaminación media y al ser este un afluente del río Cesar, estas aguas ingresan a este, contaminándolo, del mismo modo, la cuenca media del río Cesar en los puntos de toma de muestras Los Calabazos y Guacoche reflejan contaminación media y paralelamente, Salguero y Las Pitillas indican un ICOMO promedio alto. Esto se debe principalmente a los vertimientos de aguas residuales en el río Cesar (ver anexo 8), así como a actividades antropogénicas como la ganadería y la agricultura, sumado a la falta de cultura ciudadana, evidenciándose esto en todos los residuos sólidos que se pueden observar a orillas del río en los distintos puntos (*anexos 13, 14 y 16*).

7. CONCLUSIONES

El agua del río Cesar posee un pH neutro en todo su recorrido y su temperatura va desde los 22°C en la cuenca baja del río Guatapurí a 34°C en Los Calabazos, siendo esta última registrada en la temporada seca. En otra instancia, los sólidos suspendidos totales encontrados durante el desarrollo de este proyecto no representan valores significativos para la generación de alguna contaminación, sin embargo, en algún muestreo se evidenció un valor un poco alto para lo sólidos, en el punto de muestra Los Calabazos, en temporada de lluvias. Estos sólidos son parecidos a los que han encontrado en otras cuencas de la región, a diferencia de aquellas donde se observan mayores problemáticas de erosión y, por lo tanto, una mayor concentración de SST en el río.

La materia orgánica representada mediante la DBO y DQO es un poco alta en algunos puntos de la cuenca media del río Cesar, siendo esto una consecuencia de las actividades antrópicas de la región, como la presión de la población, los vertimientos de aguas residuales provenientes del municipio de Valledupar, la ganadería extensiva que se practica en la región y la agricultura. Como consecuencia, en esos puntos de muestra donde mayor materia orgánica se evidenció, se pudo observar una disminución del oxígeno disuelto, siendo esto un resultado de un mayor consumo por parte de las bacterias, para degradar esa materia orgánica.

En el agua de la cuenca media del río Cesar en algunos puntos se puede encontrar altos valores de coliformes totales, como Hurtado, donde esto se debe a que al ser un sitio turístico, por falta de cultura ciudadanas muchas personas realizan en el río sus necesidades fisiológicas, contaminándolo, además de que por la escorrentía en temporadas de fuertes precipitaciones, las heces del ganado de las unidades productivas del margen del río, terminan en el río, aumentando su concentración de coliformes. Otro punto de altas concentraciones de este parámetro es Salguero y los puntos de toma de muestra aguas abajo, siendo esto un resultado del vertimiento de aguas residuales, principalmente de origen doméstico.

El agua de la cuenca media del río Cesar no presenta contaminación por ICOSUS en la mayoría de los puntos, ICOpH e ICOTemp, sin embargo, sí se evidencia ICOMO en algunos puntos de muestra. En promedio, se obtuvo que el agua del río Cesar en su cuenca media presenta ICOMO baja en Guacoche, Tarullal y Los Calabazos, media en Hurtado y Las Pitillas y alta en Salguero, este último como resultado principal del vertimiento de aguas residuales de

la PTAR de Valledupar, durante las temporadas de lluvias. En sequía, la contaminación promedio dio como resultado un ICOMO medio en Guacoche, Hurtado, Tarullal y Los calabazos y alta en Las Pitillas y Salguero. En definitiva, la principal problemática del agua de la cuenca media del río Cesar es contaminación por ICOMO en algunos puntos de muestras, principalmente en Salguero, siendo esto un resultado de actividades antropogénicas como el vertimiento de aguas residuales domésticas, actividades agropecuarias que se practican en la región, entre otras y observándose una mayor contaminación en temporadas de lluvias, donde el caudal del agua disminuye, disminuyendo a su vez, su capacidad de degradar toda la carga orgánica que se vierte en esta fuente hídrica. Por lo tanto, se hace necesario que las entidades gubernamentales y ambientales de la región implementen políticas que tengan como objetivos la preservación de la calidad del agua de la cuenca, debido a la necesidad cada vez más latente de que las poblaciones, principalmente rurales puedan abastecer sus necesidades mediante el uso de este cuerpo lóxico.

Otra posible conclusión que se puede obtener una vez se realizó la investigación es que la contaminación presente en el río Cesar va a depender de la temporada del año en que se encuentre, esto se debe a que en la temporada seca el río disminuye su caudal tanto que no tiene la capacidad de asimilar tanta carga contaminante. Por este motivo podemos concluir que el contenido de materia orgánica presente en el río será inversamente proporcional al caudal del mismo.

En síntesis, al realizar la comparación de los resultados obtenidos en este proyecto con otras investigaciones internacionales, nacionales y regionales, es posible afirmar que la contaminación por ICOSUS depende de diversos factores, como la localización de la cuenca, la influencia que ejerce la población sobre la cuenca, sus condiciones hidroclimáticas, su pendiente, entre otros. El ICOMO no solo se refleja como una consecuencia de los vertimientos de aguas residuales, sino también según las características de las aguas vertidas, los usos que se le den al suelo de la cuenca, etc.

A partir del desarrollo de este proyecto, las entidades territoriales y ambientales del departamento pueden establecer mecanismos de control que tengan como propósito la preservación de la calidad del agua del río Cesar, pues esta representa un insumo para el acceso a agua de abastecimiento de las necesidades de las comunidades aledañas.

En última instancia, es posible ratificar que los ICO son una metodología de gran validez científica para la determinación de la calidad del agua de un cuerpo hídrico, permitiendo obtener valores numéricos del grado de contaminación de esa cuenca y a partir de ello alertar a las autoridades ambientales de la región sobre las condiciones en las que se encuentra el río.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda que, para nuevas investigaciones de la calidad de un cuerpo hídrico, donde existen vertimientos de aguas residuales, realizar toma de muestras y caracterización de ser posible al punto de vertimiento, y no solo al lecho del fluido, con el propósito de hacer un mejor análisis sobre las normas de vertimientos de aguas residuales que se están incumpliendo, tal como se estable en la resolución 0631 del 2015.

A los posibles lectores que estén considerando optar por proyecto de grado como metodología de grado, se les recomienda vincularse a un semillero de investigación de ser posible, los beneficios que esto trae se evidencian en cada paso del desarrollo del proyecto, pueden llegar a tener una relación más cercana al director y/o codirector de su proyecto de grado, lo que implica la posibilidad de tener espacios de aprendizaje y corrección sobre los productos obtenidos de la investigación. En algunos casos los semilleros de investigación son financiados en su totalidad o cierta parte por la universidad, lo que representa una gran ayuda para estudiantes que no cuentan con los recursos suficientes para asumir los gastos que corresponden a un proyecto de grado. El estar vinculados a un semillero de investigación les puede llegar a brindar la oportunidad de participar en ponencias a nivel nacional y/o internacional, experiencia que llena de muchos conocimientos y nos brinda la oportunidad de mejorar nuestra manera de expresarnos ante el público.

A las personas interesadas en realizar análisis de aguas superficiales por fuera de los laboratorios de la universidad, se les recomienda de forma particular realizar la caracterización en laboratorios certificados, debido a que estos deben mostrar calidad en los servicios que ofrecen, lo que genera una mayor certeza y confianza sobre los resultados obtenidos, además de entregar los resultados a tiempo.

Por otro lado, como recomendación para el cuerpo administrativo de la carrera de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y como sobre aviso para los estudiantes de la carrera que deseen realizar sus análisis en los laboratorios de la misma, actualmente sufrimos un desabastecimiento de reactivos y equipos en el laboratorio que muchas veces nos retrasan o impiden la realización de estos análisis, se le debe dar una mayor prioridad a la compra de estos elementos.

Otra recomendación para quienes deseen utilizar este proyecto como antecedente, es revisar que exista normativa con la que se puedan comparar los resultados en caso de que ese sea uno de los resultados esperados, porque si no hay alguna que establezca límites permisibles, como en nuestro caso, donde no había una normativa donde se presentaran las concentraciones de diversos parámetros que debe tener un agua superficial, entonces ese no debe ser planteado como un resultado esperado, sino que el resultado esperado debe ir enfocado en la comparación con la normativa, que permita establecer los usos que se le pueden dar a un agua según las características físicas, químicas y microbiológicas que esta posea.

Este trabajo, representa una buena base para el desarrollo de nuevos proyectos de evaluación de calidad de cursos de agua mediante el uso de índices de contaminación, porque en él, se pudo hacer un uso correcto de la metodología consultada mediante antecedentes y se obtuvieron unos resultados que se pueden emplear por parte de los entes territoriales y las entidades ambientales de la región, en el planteamiento de estrategias de conservación de la cuenca media del río Cesar y baja del río Guatapurí.

Una recomendación dirigida a los encargados del tratamiento de aguas residuales provenientes de la ciudad de Valledupar, se debe tener más cuidado con la carga orgánica que estamos vertiendo a nuestros cuerpos de agua, debido a que estos han sido el sustento económico de muchas generaciones pasadas y en el panorama que nos deja la investigación, si no se toman medidas inmediatas, la contaminación será tal que el poder bañarse en la mayoría de los tramos del río Cesar habrá quedado solo en un recuerdo.

Se recomienda que se motive a los estudiantes del programa al desarrollo de proyectos de evaluación de calidad de fuentes hídricas en la región, debido a que como se evidenció a lo largo de este proyecto, el agua representa un compuesto indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta, además de ser un insumo empleado en actividades económicas y recreativas, que son de gran importancia para el desarrollo de una urbe, además, el agua al ser considerada un derecho universal al que todos deben tener acceso, es una de las mayores preocupaciones del siglo XXI, por lo tanto, es necesario establecer políticas y estrategias que ayuden a la preservación de las fuentes hídricas de la región, principalmente las superficiales, que son las que están más expuestas a la contaminación. Por lo tanto, si desde el programa se realizan análisis de estas cuencas, se están contribuyendo a la preservación de las mismas, porque se está

aportando información relevante para que entidades gubernamentales y ambientales planteen formas de conservación del recurso.

En última instancia, la investigación representa una buena forma de apropiarse y aplicar los conocimientos obtenidos durante el proceso de formación académica, principalmente en carreras científicas como los es la Ingeniería Ambiental y Sanitaria, por lo tanto, esta recomendación va dirigida a que los estudiantes del programa se interesen más en desarrollar proyectos de investigación como opción de grado y en que los administrativos de la universidad dispongan de los recursos que se necesitan en la carrera para fomentar la investigación, pues en el programa se evidencia falta de estos, lo que desmotiva a los estudiantes interesados en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (4 de julio de 2022). *Datos en directo sobre la calidad del agua de la cuenca baja del río Merrimack*. <https://espanol.epa.gov/esmerrimackriver/datos-en-directo-sobre-la-calidad-del-agua-de-la-cuenca-baja-del-rio-merrimack#:~:text=Esos%20estándares%20indican%20que%20el,del%20rango%20natural%20de%20referencia.>
- Agudelo, G., Aigner, M. & Ruiz, J. (2008). Diseños de investigación experimental y no-experimental. *La Sociología en sus Escenarios*, (18), 1–46. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/2622>
- Agudelo, E., Barrios, L., Cardona, S. y Gaviria, L. (2016). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de Aburrá. *Revista EIA*, (26), 61-74. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372016000200005&lng=en&tlng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372016000200005&lng=en&tlng=es)
- Agudelo, R. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista facultad nacional de salud pública*, 23(1), 91-102. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2005000100009
- Alba, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Cuéllar, P., Guerrero, C., Moreno, J., Moyá, G., Nuño, C., Pardo, I., Prat, N., Ramón, G., Robles, S., Suárez, M., Toro, M., Vidal, M. & Vivas, S. (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características fisicoquímicas. *Limnetica*, 21(3-4), 63-75.
- Alonso, F., Benítez Martínez, M., Benítez Resquín, L., Bobadilla, N., Fernández, V., Franco, D., Galeano, E., Ímas, H., López, T., López, M. y Mazó, C. (2016). Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico. *Revista Ambiente & Agua*, 11(3), 548-565. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1703>

- Alvarado, E. (2010). *Agua: efectos provocados por las actividades antropogénicas en la microcuenca del río Pixquiac*, [Tesis de pregrado, universidad Veracruzana].
<https://www.uv.mx/oabcc/files/2019/02/Tesis-Lupita.pdf>
- Álvarez, C., Cevallos, C., Mancheno, A., Ortiz, L., Prehn, C. y Vasconez, M. (2019). *Cuencas hidrográficas* (Primera edición).
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrográficas.pdf>
- Anco, P., costa, H. y Gomes, M. (2014). Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. *Revista ambiente y agua*, 9(2), 336-346.
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1329>
- Angarita, W., Hernández, K., Ramírez, R. & Miranda, R. (2019). Evaluación de la calidad del agua del río el Algodonal, tramo Abrego-Ocaña, Norte de Santander. *Revista de investigación*, 12(1), 45-62.
<https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/238>
- Angulo, L., Díaz, L., Madera, L y Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macro invertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información tecnológica*, 27(4), 103-110. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- Arnáiz, C., Isac, L., y Lebrato, J. (2000). Determinación de la biomasa en procesos biológicos. I Métodos directos e indirectos. *Tecnología del agua*, 20 (205), 45-52.
<https://idus.us.es/handle/11441/34261>
- Auge, M. (2007). *Agua: Fuente de vida*. [archivo PDF]. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/Agua-fuente-de-vida.pdf>
- Baptista, P., Fernández, C., y Hernández, R. (2017). Alcance de la Investigación. [archivo pdf]
http://metabase.uaem.mx/bitstream/handle/123456789/2792/510_06_color.pdf
- Bonanssea, M., Ledesma, C., Rodríguez, C., & Sánchez, A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista*

ciencia agronómica, 44(3), 419-425. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>

Bustamante, C., Pino, N., Posada, E., Mojica, D. & Monzón, A. (2013). Establecimiento de índices de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. aplicación al caso del río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia. *Dyna*, (181), 192-200. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7684979>

Cañas, J. (2014). Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua [archivo PDF]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10901/articulo%20final.pdf?sequence=1>

Cardeñosa, M., Ramírez y Restrepo, R. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. formulaciones. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008&lng=en&tlng=es.

Castro, N., Guevara, G., Verdesoto, A. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación-acción). *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

Corporación autónoma del Cesar. (4 de marzo del 2022). CARACTERIZACIÓN E IMPACTOS AMBIENTALES POR VERTIMIENTOS EN TRAMOS DE LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO CESAR, VALLEDUPAR. <https://www.corpocesar.gov.co/riocesar.html>

Corporación autónoma del Cesar. (2019). *FORMULACIÓN DEL POMCA DEL RÍO GUATAPURÍ* [Archivo PDF]. <https://www.corpocesar.gov.co/files/Documento%20Diagnostico-pomca%20guatapuri.pdf>

Corporación autónoma del Cesar. (2018). *Síntesis Ambiental del río Guatapurí* [Archivo PDF].

https://www.corpocesar.gov.co/files/09_SintesisAmbiental_Guatapuri.pdf

Cortéz, G. & Oñate, H. (2020). Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col. *Tecnura*, 24(65), 39-48.

<https://doi.org/10.14483/22487638.15766>

Decreto único 1076 de 2015. Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo de 2015. D. O. No. 49523.

Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007. D.O. No. 46623

Decreto 2811 de 1974. Por medio del cual se expide el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 27 de enero de 1974. D.O. No. 34243.

De la Parra, A. y Rodelo, K. (2012). *Composición y abundancia de la comunidad de algas perifíticas del río cesar asociado a variables físico-químicas e hidrológicas durante los meses de febrero-septiembre del año 2011. cesar, Colombia* [Proyecto de pregrado, Universidad del Atlántico].

<https://www.corpocesar.gov.co/files/Anexo%20Tesis%20algas.pdf>

Díaz, A. (2018). *Remoción de pesticidas en el agua: caso de estudio en el departamento del Cesar, Colombia* [Proyecto de grado, Universidad de los Andes].

<http://hdl.handle.net/1992/39934>

Díaz, J. (2020). *Alternativas para el manejo y aprovechamiento de aguas termominerales post-uso del municipio de Paipa (Boyacá)* [Monografía como requisito de postgrado, Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16406>

Durán, J. y Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral, Estudios sobre estado y sociedad*, 12(36), 129-162.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-05652006000200005

El Pílon (27 de octubre de 2022). *Nueva onda tropical provocará intensas lluvias en Cesar.*

<https://elpilon.com.co/nueva-onda-tropical-provocara-intensas-lluvias-en-cesar/>

- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencia. *Química viva*, 11(3),147-170.
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Fernández, N., Ramos, G. y Solano, F. (2005). *Análisis comparativo de los índices de calidad (ICAs) y de los índices de contaminación (ICOs) del agua* [Archivo PDF]. Universidad de Pamplona
https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo4.pdf
- Fontalvo, Y. (13 de marzo de 2015). *En la mira el estado del río Cesar*.
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15390758>
- Francisco, J. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas* [Archivo pdf].
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo de cuencas hidrograficas.pdf?sequence=1](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1)
- Gámez, L. (2020). *¿Qué es la temperatura?* [Archivo pdf].
https://dcb.ingenieria.unam.mx/wp-content/themes/temperachild/Publicaciones/Naturalis/Boletines/bfyq_35.pdf
- García, M., Orjuela, L., Saldarriaga, G. & Wilches, H. (2010). CAPÍTULO 6 CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN COLOMBIA [Archivo PDF]. *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>
- García, C. (2013). *Parámetros fisicoquímicos del agua* [archivo PDF].
https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf
- Gómez, S. & Mariñelarena, A. (2008). Eutrofización en las lagunas pampeanas. efectos secundarios sobre los peces. *Biología acuática*, (24), 43-48.
<https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/6559/5601>
- Google Earth (2023). Puntos de toma de muestra.
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., y Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos

[Naturales/vol2num5/Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales V2
N5_1.pdf](#)

Guemisa. (2018). *Oxígeno disuelto* [Archivo PDF].

https://guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno_disuelto.pdf

Guillermo, A. y Gélvez, E. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis*, 6(2), 19-31. <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1148>

Guzman, K. (2013). *El río Cesar* [archivo PDF].

https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_188.pdf

Hermelin, M. (2007). *Entorno de 17 ciudades de Colombia*. Universidad EAFIT

Hernández, S., Fernández, C., Baptista, L., (2014). Metodología de la Investigación. 6ta edición. Editorial Mc Graw Hill. México D.F <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hernández, N., Martínez, L. y Llamas, R. (2000). *El uso sostenible de las aguas subterráneas* [Archivo PDF]. [https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/transicion-ecologica-y-desarrollo-urbano-sostenible/.galeria de ficheros/docu cursos jornadas/jornada-agua-subterranea/informacion general/Uso-sostenible-aguas-subterraneas.pdf](https://www.dipucadiz.es/export/sites/default/transicion-ecologica-y-desarrollo-urbano-sostenible/.galeria_de_ficheros/docu_cursos_jornadas/jornada-agua-subterranea/informacion_general/Uso-sostenible-aguas-subterraneas.pdf)

Hurtado, G. (2016). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO PROMEDIO Y TENDENCIAS DE LARGO PLAZO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA PARA LAS REGIONES HIDROCLIMÁTICAS DE COLOMBIA [Archivo PDF]. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Analisis+del+Comportamiento+de+la+Temperatura+Maxima.pdf/2a2f247c-f457-45f3-ac9a-f2a481f8daa6>

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2020). *Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del ideam* [Archivo pdf]. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I004+INSTRUCTIVO+DE+TOMA+Y+PRESERVACI%C3%93N+DE+MUESTRA>

[S+SEDIMENTOS+Y+AGUA+SUPERFICIAL+PARA+LA+RED+DE+MONITOREO+DE+CALIDAD+DEL+IDEAM+v3.pdf/477bbe4a-5825-49c8-9961-10805a3c2288?version=1.0](#)

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2010). *Estudio nacional del agua, capítulo 6: calidad del agua superficial en Colombia* [Archivo PDF]. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Demanda bioquímica de oxígeno-5 días en aguas* [archivo PDF]. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioquímica+de+Oxígeno.pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Determinación de sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 –105°C* [archivo PDF]. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Sólidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

Jouravlev, A. (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI [Archivo PDF]. *Comisión económica para América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6440/S047562_es.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Laufer, M. (2012). Agua, agua, agua. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 37(6), 409-409. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/409-editorial-es-37-06.pdf>

Ley 99 de 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. 22 de diciembre de 1993. D.O. No. 41146

Londoño, O. (2014). *Caracterización de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del sistema para producir agua desionizada tipo ii, en una industria cosmética* [Archivo pdf]. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/10961>

- Martínez, F. y Pujante, A. (1997). Al-Basit: Revista de estudios albacetenses, (40), 71-110.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1303676>
- Mejía, J. (2021). *Estimación del riesgo por inundación en la ciudad de Valledupar utilizando imágenes satelitales y sistemas de información geográfica* [proyecto de pregrado, Universidad del Norte]. <http://hdl.handle.net/10584/11316>
- Ministerio de Transporte –Plan vial Departamento del Cesar (2019). Mapa Hidrográfico Departamento del Cesar. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/cesar/hidrografia.html>
- Molina, J. y Pinto, L. (2019). *Evaluación de la calidad del agua del río calenturitas, en el departamento del Cesar, implemtando el índice de calidad del agua (ICA) y los índices de Contaminación (ICOs) para Colombia* [Tesis de pregrado, universidad popular del Cesar]
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cualitativa y cuantitativa* [Archivo PDF]. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Mora, C. (2014). *La regulación del agua en la historia de los pueblos y su identidad cultural*. <https://www.iagua.es/blogs/consuelo-mora/la-regulacion-del-agua-en-la-historia-de-los-pueblos-y-su-identidad-cultural>
- Obregón, A. (2006). Consideraciones ambientales en la evaluación de proyectos acuícolas. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(9), 1-3. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612675027.pdf>
- Olmos, R., Sepúlveda, R. & Villalobos, F. (2002). *EL AGUA EN EL MEDIO AMBIENTE*, Universidad autónoma de Baja California.
- Organización de las Naciones Unidas (2010). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina* [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

- Ordóñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas-Acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima [Archivo PDF]. <https://hdl.handle.net/11537/25436>
- Padilla, G. y Romero, D. (2019). *Determinación del índice de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación del agua (ICOS) para el río Sororia en el municipio de la Jagua de Ibirico-Cesar* [Tesis de pregrado, Universidad Popular del Cesar].
- Paz, A. y Vidal, E. (2002). *Erosión y escorrentía* [archivo PDF]. https://www.researchgate.net/publication/314658817_EROSION_Y_ESCORRENTIA
- Peña, E. (2007). *Calidad del Agua. Trabajo de investigación sobre oxígeno disuelto* [archivo pdf]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Pozas, J. (2015). *Importancia del agua* [Archivo PDF]. <http://ri.uaemex.mx/oca/bitstream/20.500.11799/32302/1/secme-8622.pdf>
- Ramos, L., Saavedra, L., Vidal, L. y Vildary, S. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Sarta, caribe colombiano. *Acta biológica colombiana*, 13(3), 87-98.
- Ramirez, A., Restrepo, R., y Cardeñosa, M. (1999). Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. Formulaciones. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- Ramirez, A., Restrepo, R. & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *Ciencia, tecnología y futuro*, 1(3), 135-153. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-53831997000100009&script=sci_abstract&tlng=en
- Resolución 2115 de 2007 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de junio de 2002. D.O. 47728.

Resolución 0631 de 2015 [Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 de marzo de 2015. D.O. 49486.

Rodríguez, H. (13 de marzo de 2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. iagua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Rojas, T. y Vázquez, E. (2016). *pH: teoría y 232 problemas*. Universidad autónoma metropolitana.

Rothschuh, U. (10 de junio de 2022). Qué son las aguas superficiales: definición y ejemplos. *Ecología verde*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-superficiales-definicion-y-ejemplos-3944.html>

Ruiz, D. (2017). *Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales* [Tesis de maestría, universidad nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59720>

Sánchez, M. (9 de enero 2021). *Los Calabazos vive sumido en el olvido*. El Pílon. <https://elpilon.com.co/los-calabazos-vive-sumido-en-el-olvido/>

Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín. <http://hdl.handle.net/11407/2568>

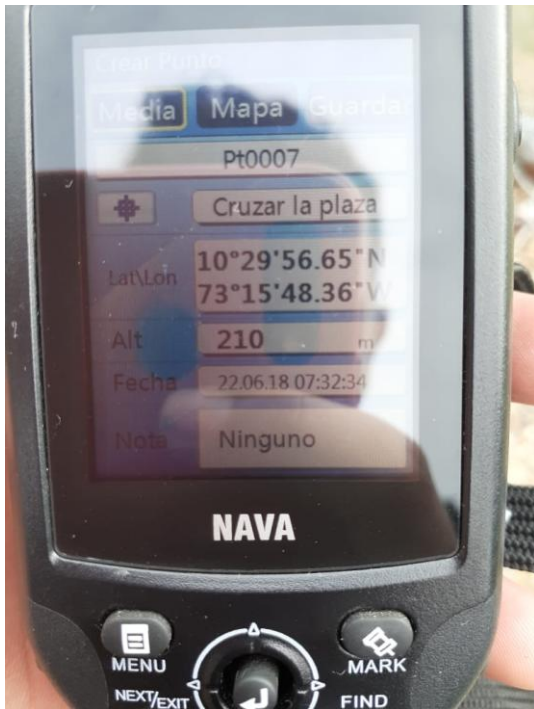
Soler, J. (2006). Validación secundaria del método de número más probable y recuento en placa profunda para coliformes totales y fecales en muestras de alimentos basada en la norma ISO NTC 17025 [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8295>

ANEXOS

Anexo 1 *Toma de muestras*



Anexo 2: *Proceso de georeferenciación*



Anexo 3: *Medición de pH*



Anexo 4:
Medición %saturación



Anexo 5:
Medición de temperatura



Anexo 6
*Determinación de Coliformes totales
laboratorios de microbiología*



Anexo 7:
Equipo de medición DQO



Anexo 8
Vertimientos de la PTAR Valledupar



Anexo 9
Equipos para medición SST



Anexo 10
Horno para secado de SST



Anexo 11

Preparación de equipos para medición de DBO



Anexo 12

Preservación y refrigeración de muestras



Anexo 13

Grasas contaminantes observadas en Tarullal



Anexo 14

Contaminantes presentes en el río



Anexo 15

Material flotante en Salguero



Anexo 16

Sitio de disposición de residuos sólidos al margen del Río Cesar en el corregimiento de Guacoche



Anexo 17

Río Cesar durante toma de muestras en temporada de lluvias




Anexo 18

Coloración verdoza en Los Calabazos



Anexo 19

Cotización de análisis de coliformes totales en Nancy Florez

 <p>Laboratorios Nancy Flórez García S.A.S Confiableidad a toda prueba Nº: 824.005.588-0</p>	<p>COTIZACIÓN Y CONDICIONES COMERCIALES</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLOREZ GARCIA SAS</p>	CODIGO	RO-202
		VERSION	02
		FECHA	2021-07-06
		Página2 de 6	
		DOCUMENTO CONTROLADO	

COTIZACION N° 25826

FECHA DOCUMENTO	21-03-2023
Sr(a):	ANDREA FLOREZ
CLIENTE	ANDREA CAROLINA FLOREZ ALVARADO
NIT	1192906707
EMAIL	andreamcarolinaflorez@gmail.com
DIRECCION	CRA 23 # 32-37
TELEFONO	315345555 VALLEDUPAR

FECHA VENCIMIENTO	21-05-2023
TIEMPO DE ENTREGA	8 DÍAS HABILÉS
FORMA DE PAGO	Forma de Pago : Contado
VENDEDOR	Luisa Fernanda Franco Sanchez
OBSERVACIONES:	MUESTRA TOMADA Y TRAJIDA POR EL CLIENTE.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN AGUA SUPERFICIAL

DESCRIPCIÓN	MÉTODO - TÉCNICA	LMC	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
AGUA SUPERFICIAL Coliformes Totales NMP/100 mL (A)	SM 9221 B - Número más probable	1,8	6	64.507	387.044

SUBTOTAL	387.044
DESCUENTO 5%	19.352
IVA	69.861
TOTAL DOCUMENTO	437.554

(A) Parámetros acreditados por el IDEAM - Resolución 0398 de 2019

Consignar en la Cuenta: AHORROS DE AV VILLAS # 841156466

(S) Parámetros subcontratados acreditados.

(SNA) Parámetros subcontratados no acreditados.

SM = Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edition 23nd/2017

La aceptación del servicio deberá ser por escrito (orden de servicio o contrato) para iniciar el proceso de análisis. Anexar copia del RUT

¿Requiere se realice Declaración de la Conformidad en el Certificado de Ensayos?

Si No

Declaración de Conformidad

Acepto las condiciones del servicio descritas en la cotización y en sus anexos.

Nombre: _____ cc: _____ Firma: _____ Fecha: _____

Ver en página siguientes los terminos y condiciones comerciales

Elaborado por:

Luisa Franco S.

Anexo 20

Certificado de ponencia The Expo (nacional)



THE EXPO
Semilleros & Jóvenes Investigadores



**UNIVERSIDAD
Popular del Cesar**

CERTIFICADO
Otorgado a:

*Hermes Junios Acosta Acosta, Grey Paola Dávila Castillo,
Yim James Rodríguez Díaz, Jaime Luis Ariza Restrepo*

Por su participación en calidad de **PONENTE**, con el trabajo titulado:

**ESTADÍO INICIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA
BAJA DEL RÍO GUATAPURÍ MEDIANTE ÍNDICES DE
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICOS)**

Dado en Valledupar, a los 18 días del mes de noviembre de 2022


Clarivel Parra Ditta
Vicerrectora de Investigación y Extensión


Martha Guerra Muñoz
Directora División de Investigación

Anexo 21

Certificado ponencia internacional



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE TONALA
Secretaría Académica/
Coordinación de Investigación

Otorga la presente

Constancia
Dávila Castillo Grey Paola

Por su participación como ponente durante las Jornadas Internacionales de Juventudes Científicas 2022, con el proyecto titulado "Estadio inicial de la calidad del agua de la cuenca media del río cesar mediante índices de contaminación ambiental (icos)" en modalidad Virtual, evento llevado a cabo los días 7,8 y 9 de diciembre del presente año en las instalaciones de nuestro Centro Universitario.

Atentamente
"Piensa y Trabaja"
"2022. Guadalajara, Hogar de la Feria Internacional del Libro y Capital Mundial del Libro"
Tonalá, Jalisco, 10 de diciembre del 2022


Dra. Liliana Ibeth Castañeda Rentería
Coordinadora de Investigación


Mtro. Luis Armando Cortés Enriquez
Incorporación Temprana a la Investigación



CVT
CENTRO UNIVERSITARIO DE TONALÁ