

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(56)</b>	

1

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Brandon Ortiz Alcocer		
<b>FACULTAD</b>	De ciencias agrarias y del ambiente		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería ambiental		
<b>DIRECTOR</b>	Esp. Yeeny Lozano Lázaro		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Evaluar el nivel de eficiencia de la laguna de oxidación sobre los vertimientos puntuales de las aguas residuales ubicada en el municipio de Pelaya, Cesar.		
<b>TITULO EN INGLES</b>	To evaluate the efficiency level of the oxidation lagoon on the punctual discharges of residual waters located in the municipality of Pelaya, Cesar.		
<b>RESUMEN (70 palabras)</b>			
<p>Es debido a las necesidades de tratamiento y a la falta de recursos que surgen los sistemas naturales de tratamiento como alternativa para suplir dichas necesidades. El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>It is due to the treatment needs and the lack of resources that natural treatment systems emerge as an alternative to meet these needs. The treatment of wastewater is a priority issue worldwide, since it is important to have quality water and in sufficient quantity, which will allow an improvement of the environment, health and quality of life.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Impacto, Vertimientos, Laguna de oxidación, Eficiencia.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Impact, Spills, Oxidation lagoon, Efficiency.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 56	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 0



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552  
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88  
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Evaluar El Nivel De Eficiencia De La Laguna De Oxidación Sobre Los Vertimientos  
Puntuales De Las Aguas Residuales Ubicada En El Municipio De Pelaya, Cesar.**

**Brandon Ortiz Alcocer**

**Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander**

**Ocaña**

**Ingeniería Ambiental**

**Esp. Yeeny Lozano Lázaro**

**24 mayo, 2022**

## Índice

<b>Capítulo 1. Evaluar el nivel de eficiencia de la laguna de oxidación sobre los vertimientos puntuales de las aguas residuales ubicada en del municipio de Pelaya, Cesar.</b>	<b>6</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Formulación del problema .....	7
1.3 Objetivos .....	7
1.3.1 General.....	7
1.3.2 Específicos .....	7
1.4 Justificación .....	7
1.5 Delimitaciones .....	8
<b>Capítulo 2. Marco referencial .....</b>	<b>10</b>
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Marco contextual .....	11
2.3 Marco conceptual.....	12
2.4 Marco teórico.....	17
2.5 Marco legal .....	22
<b>Capítulo 3. Diseño metodológico .....</b>	<b>24</b>
3.1 Tipo de investigación.....	24
3.2 Población.....	25
3.3. Muestra .....	25
3.4 Recolección de la información Visitas de campo .....	25

3.5 Análisis de la información .....	26
<b>Capítulo 4. Resultados .....</b>	<b>29</b>
4.1 Describir las condiciones ambientales en la zona del vertimiento de la laguna .....	29
4.1.1 Localización de la zona de estudio delimitación del área de estudio .....	29
4.1.2 Caracterización hidrográfica, hidrología, geología, vegetación y fauna silvestre presente en el sitio de estudio. ....	30
4.1.3 Caracterización y diagnóstico de la red de alcantarillado .....	32
4.2 Analizar la calidad del agua tratada por el sistema mediante los parámetros físicos químicos y microbiológicos. ....	36
4.3 Calcular el porcentaje de remoción de la carga contaminante en la laguna de oxidación. 41	
4.3.1 Cálculo de la Carga Contaminante.....	41
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Recomendaciones .....</b>	<b>48</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>49</b>

## Lista de tablas

Tabla 1 Actividades por servicio prestado.....	32
Tabla 2 Caudales concesionados EMSOPEL .....	33
Tabla 3 Red de Alcantarillado Municipio de Pelaya. ....	35
Tabla 4 Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 1 .....	38
Tabla 5 Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 2 .....	38
Tabla 6 Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 3 .....	39
Tabla 7 Cálculo de la carga contaminante en la entrada y salida de la laguna de oxidación .....	41
Tabla 8 Cálculo del % de remoción.....	42
Tabla 9 Resultados para Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	42
Tabla 10 Resultados para Demanda Química de Oxígeno .....	44
Tabla 11 Resultados para Sólidos suspendidos .....	45

## Lista de figuras

Figura 1 Laguna de Oxidación Pelaya, Cesar .....	9
Figura. 2 Parámetros fisicoquímicos del agua. ....	19
Figura 3 Parámetros microbiológicos. ....	21
Figura 4. Municipio de Pelaya Cesar. ....	30
Figura 5. Vegetación de la laguna de Oxidación. ....	31
Figura 6. Resultados para Demanda Bioquímica de Oxígeno. ....	43
Figura 7. Resultados para Demanda Química de Oxígeno. ....	44
Figura 8. Resultados para Solidos suspendidos. ....	45
Figura 10. Toma de muestras fisicoquímicas. ....	54
Figura 9. Toma de muestras microbiológicas. ....	54
Figura 11. Muestras microbiológicas listas para llevar al laboratorio. ....	55
Figura 12. Muestras fisicoquímicas listas para el laboratorio. ....	55

# **Capítulo 1. Evaluar el nivel de eficiencia de la laguna de oxidación sobre los vertimientos puntuales de las aguas residuales ubicada en del municipio de Pelaya, Cesar.**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Es debido a las necesidades de tratamiento y a la falta de recursos que surgen los sistemas naturales de tratamiento como alternativa para suplir dichas necesidades. El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. Entre los sistemas naturales de tratamiento se encuentran los humedales artificiales, que cuentan con las ventajas de ser sistemas de bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales de acuerdo con (Aguilar, 2009).

El sistema de acueducto de Pelaya funciona con un sistema de captación de fondo, desarenador, planta de tratamiento convencional, con tanque de almacenamiento para su respectiva distribución, se abastece de la Quebrada Singararé. El desarenador es una estructura en concreto reforzado, ubicado en la Quebrada Singararé, con capacidad nominal de 60lps, la estructura cuenta con 3 válvulas de fondo para el lavado de las tres tolvas de desarenación, 1 compuerta de entrada, canal o bypass para el lavado de la estructura sin interrumpir el servicio, además la cota superior o borde es igual al terreno circundante permitiéndose la entrada de escorrentías superficiales, durante el lavado de las estructura, no tiene cerramiento para aislar la estructura del acceso de animales y personal extraño a la empresa. Conforme con (AguasCesar, 2019), el sistema de válvulas de fondo y compuertas está en buen estado.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se alteran los ecosistemas acuáticos por medio de los vertimientos puntuales de la laguna de oxidación de Pelaya, Cesar?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 General***

Evaluar el nivel de eficiencia de la laguna de oxidación sobre los vertimientos puntuales de las aguas residuales ubicada en del municipio de Pelaya, Cesar.

### ***1.3.2 Específicos***

- Elaborar un diagnóstico actual de la situación ambiental en las lagunas de oxidación de Pelaya, César.
- Analizar la calidad del agua tratada por el sistema mediante los parámetros físicos químicos y microbiológicos.
- Calcular el porcentaje de remoción de la carga contaminante en la laguna de oxidación.

## **1.4 Justificación**

Existe una diversidad de razones que justifica el estudio, incluyendo magnitud del problema de contaminación del agua, consideraciones socioeconómicas que intervienen y la influencia del área de estudio en el desarrollo del municipio de Pelaya, Cesar. La Quebrada Singararé posee gran importancia para el desarrollo de todas las actividades de las comunidades que utilizan el agua producida en ella; la misma ha sido por muchos años de valor económico para estas poblaciones, como ser consumo humano, actividades pecuarias, turismo, y conservación de ecosistemas, entre otros. (AguasCesar, 2019)

En la actualidad el recurso hídrico está bajo presiones crecientes como consecuencia del crecimiento de la población, el incremento de las actividades pecuarias y el establecimiento de asentamientos humanos en zonas no adecuadas, lo cual ha llevado a una competencia por los recursos limitados de agua dulce. (Valle Mendoza, 2015)

Una combinación de problemas económicos y socioculturales sumados a una carencia de programas de superación de la pobreza, ha contribuido a personas que viven en condiciones precarias a sobreexplotar los recursos naturales, lo cual afecta negativamente la calidad del recurso agua; las carencias de medidas de control de la contaminación dificultan el uso sostenible del vital líquido. Según los actores, la causa de los problemas es la destrucción del bosque por incendios forestales, uso no adecuado del suelo, la falta de conciencia de conservación de los recursos naturales, y baja escolaridad de los pobladores. (Humano, 2000)

## **1.5 Delimitaciones**

### **Delimitación Geográfica**

La laguna de oxidación del municipio de Pelaya, Cesar. Con coordenadas:

Latitud: 8°41'35.33"N Longitud: 73°40'51.86"O.

**Figura 1** Laguna de Oxidación Pelaya, Cesar



### **Delimitación Operativa**

El fin de generar evaluar su funcionamiento y su estado actual para su mejoramiento, el análisis de los impactos ambientales generados por el sistema de tratamiento de la laguna de oxidación del corregimiento de Pelaya, César. El desarrollo del proyecto es por parte del apoyo de los encargados del laboratorio de aguas, director, autoridades ambientales de la zona y autor del proyecto.

### **Delimitación Conceptual**

La formulación del proyecto es por medio de verbos principales: ecosistemas acuáticos, aguas residuales, vertimiento puntual, laguna de oxidación, impactos, social, ambiental, calidad del agua, residuo líquido, agua residual.

### **Delimitación Temporal**

Para la realización de este proyecto se establecen un tiempo de 04 meses.

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Antecedentes

El tratamiento se hacía mediante los vertimientos de las aguas residuales a la superficie del suelo en un principio, pero instantáneamente la superficie de los terrenos no fue suficientes para absorber el mayor volumen de las aguas residuales que eran allí depositadas. Después de la epidemia del cólera que se dio en Inglaterra a mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas integrados de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió una muy pequeña atención. Conforme con (Rojas, 2002), los ríos en longitud y caudal no era lo suficientemente sustentable, debido a esto se generó demasiada contaminación en las fuentes hídricas, muy pronto se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud a fin de evitar estos problemas se idearon y llevaron a la práctica nuevos métodos de tratamiento intensivo.

Las primeras lagunas de oxidación fueron en realidad embalses construidos como sistemas reguladores de agua destinada para el riego. Se almacenaban los excedentes de agua residual utilizada sin tratamiento previo. En el curso de este almacenamiento se observó que la calidad del agua mejoraba sustancialmente, por lo que empezó a estudiarse la posibilidad de utilizar las lagunas como método de tratamiento de aguas residuales para obtener buenos resultados en cuanto al manejo de las aguas residuales y no obstante se les pueda dar el uso correspondiente en el sector agrícola, (Hernández, 2006).

La implementación de esta tecnología se ha definido como objetivos fundamentales, remover la materia orgánica de las aguas residuales son las principales receptoras las que ocasionan la contaminación en la fuente receptora y eliminar los microorganismos potencialmente patógenos que representan un grave peligro para la salud. Aunque en muchas

ocasiones se presenta un tercer objetivo y es utilizar su efluente con otras finalidades, como agricultura o piscicultura como lo afirma (Díaz Cuenca & Alvarado Granados, 2012).

## **2.2 Marco contextual**

El Municipio de Pelaya se halla ubicado a los 08° 41' 30'' Latitud Norte y a los 73° 39' 59'' Latitud Oeste; tiene una extensión de 371.3 kilómetros cuadrados y se encuentra al sur del departamento del Cesar, junto al valle del Magdalena medio.

El casco urbano se encuentra a 70 metros sobre el nivel del Mar, presentando una temperatura promedio de 28.7°C. (Colombiaturismo, 2021).

El clima es cálido, registrando temperaturas anuales de 30 grados centígrados, con precipitaciones anuales de 1000 a 2020 mm, con brillo solar de 10 horas diarias en el primer semestre y ocho horas en el segundo semestre, cuenta con una topografía de Vegas, Laderas y Sabanas, con suelos Franco arcillosos en las Vegas, Franco arenosos en las Laderas y sin estructura en los suelos sabanosos. (Pelaya, 2017).

Se encuentra localizada en la subregión sur del departamento y delimitada de la siguiente manera:

**Al Norte** con el Municipio de Pailitas,

**Al Sur** con el Municipio de La Gloria,

**Al este** con el departamento de Norte de Santander.

**Al oeste** con el Municipio de Tamalameque.

Las principales fuentes hídricas del Municipio son: Quebrada Singararé, la Virgen, el Carmen, la Legía, la Floresta, Raíces, Orisnos, Caño Sucio, Caño Jabonal, Caño Téllez, entre otros; además cuenta con la Ciénaga de Sahaya, el pozo sanchez ubicado en la vereda punta brava. (Colombiaturismo, 2021).

Los recursos hídricos son las ciénagas de Castilla y San Bernardo, las quebradas la Virgen y El Carmen. Gran parte de su territorio es plano, pero también tiene área de montaña con la cordillera oriental. Agricultura y ganadería son los renglones productivos de Pelaya. Conmemora fiestas en honor de Nuestra Señora de los Dolores, el 20 de enero; Semana Santa y San Ángel Custodio. (Pelaya, 2017).

### **2.3 Marco conceptual**

#### **Lagunas de oxidación.**

Las lagunas de oxidación, son excavaciones construidas por medio de la compactación y perforación de la tierra, que acumulan agua de cualquier calidad por un tiempo determinado en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades (Bermudez, 2005).

#### **Las Lagunas Facultativas**

Son aquellas que presentan dos funciones, las cuales son la función aerobia y una anaerobia respectivamente estas funciones se dan en superficie y fondo. La principal finalidad de estas lagunas es que haya una estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado suministrando principalmente por las algas presentes. Estas lagunas tienen una profundidad que

por lo general oscila entre los 1,5 y 2 metros. En estas zonas que estas lagunas poseen por lo que se pueden encontrar cualquier tipo de microorganismos desde anaerobios estrictos en los sedimentos del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie, (Beltran Fuentes, 2015).

### **Calidad de agua**

Según Salas, la calidad del recurso agua es entendida como una correlación medible y cuantificable de exposición efecto argumentada en demostraciones científicas entre el nivel de ciertos indicadores de la calidad del agua y los peligros potenciales que esta puede ocasionar para la salud asociados con el uso del agua (CRA, 2011).

### **Aguas residuales industriales**

Proceden de los procesos realizados en fábricas y establecimientos industriales; contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal; las características de las aguas residuales son muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales (CRA, 2011).

### **Aguas residuales agrícolas**

Proceden de las actividades agrícolas en las zonas rurales, estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (CRA, 2011).

## **Contaminación del agua**

Es la transformación que presenta la calidad del agua en sus propiedades originales, dejándola en un estado inapropiado y peligroso para su uso, aportando así impactos negativos al medio que lo rodea, (MinAmbiente, 2020)

### **Oxígeno disuelto.**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua y es fundamental para la respiración de los microorganismos y organismos acuáticos (IDS, 2009, p. 102)

### **Aguas servidas**

“Las aguas servidas se denominan a todas aquellas aguas residuales de origen doméstico, como resultado de las actividades cotidianas de las personas, cuyas características presentan grandes significancias contaminante” (MinAmbiente, 2020)

### **Parámetros Físicoquímicos.**

Son los que definen las características del agua sea potable o residual que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato, los cuales pueden ser los sólidos suspendidos, turbidez, color, sabor, olor, conductividad y Resistividad. (Marisa Andreo, 2015)

### **Olor ofensivo**

Es aquel parámetro generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que producen fastidio, aunque no cause daño a la salud humana (MinAmbiente, 2020).

### **Materia orgánica (MO)**

La materia orgánica proviene de restos de plantas, animales y residuos humanos, estos componentes orgánicos en exceso agotan el oxígeno presente en el agua, dejándola con aspecto turbio y olor semejante al huevo podrido (Ácido sulfhídrico) (Manrique Hernández, 1998, pág. 28).

### **Demanda Biológica de oxígeno (DBO).**

Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg / L, (Marisa Andreo, 2015).

### **Demanda química de oxígeno (DQO).**

Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua de forma química, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo, (Ideam, IDEAM, 2017).

### **Sólidos suspendidos totales (SST).**

Son los residuos no filtrable de una muestra de agua natural, residual, industrial o doméstica, lo cual se definen como la porción de sólidos que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio y que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante, (Eumed, 2018).

### **Vertimiento**

“vertimiento es una descarga de residuo líquido, a un cuerpo de agua o a una red de alcantarillado”. (MinAmbiente, 2020).

### **Carga contaminante**

Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual. Comúnmente se expresa en T/año, T/día ó Kg/d. (Bermudez, 2005)

### **Vertimientos Puntuales**

Son los que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo, (Guerrero Zambrano, 2013)

### **Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).**

Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. Tiene como función crear un hábitat cómodo y saludable para los habitantes de una ciudad que les proporcione bienestar y calidad de vida. Además, protege el medio ambiente al permitir un proceso de tratamiento para las aguas residuales y devolver así a la naturaleza agua limpia, sin contaminantes y en mejores condiciones, (Espinoza, 2016)

### **Potencial de hidrogeno (pH).**

Expresa la actividad del ion hidrógeno  $[H^+]$  que se presenta en el agua, permite indicar por medio de una escala logarítmica la cantidad ácida o alcalina de una solución acuosa, los valores van en un rango de 0 a 14, (Ideam, IDEAM, 2017).

### **Contaminantes habituales en las aguas residuales.**

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas sustancias

suelen entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico que se le esté haciendo al agua, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual, (Toapanta, 2013).

## **2.4 Marco teórico**

El agua es un recurso natural esencial para la vida, y es necesario en todos los campos de acción para el hombre como: la producción de alimentos, en la salud, la industria, el medio de transporte, entre otros; siendo un bien de consumo para la vida de todos los seres vivos y la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra. Este recurso al formar parte de todos los procesos naturales y humanos, ha tenido impactos que lo han modificado en un recurso vulnerable y escaso (en calidad). El agua al ser contaminada consta de una clasificación, que es denominada como Aguas Residuales (AR) (CRA, 2011)

### **Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas que sus propiedades naturales presentan alteraciones producto de la intervención que realiza el hombre, además la disposición de sus aguas requiere de algún tratamiento, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo de agua natural. Existen diferentes clasificaciones de las aguas residuales de tipo: industrial, municipal y doméstico. En el caso de las aguas residuales domésticas estas se caracterizan por la presencia de residuos líquidos de origen residencial y comercial que suelen contener gran cantidad de materia orgánica (Oefa, 2014)

Por otra parte, el inapropiado manejo de las aguas residuales de tipo doméstico representa la mayor fuente de contaminación para los cuerpos de agua, en el cual sus residuos domésticos son vertidos sobre las diferentes fuentes hídricas a través de un sistema de alcantarillado, o en

otros casos son liberados directamente sobre los ríos sin ningún tipo de control o pre tratamiento, como lo dispone la ley (Alba , 2017)

### **Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río.**

El trabajo propone el estudio del impacto ambiental causado por los vertimientos de aguas residuales en la cuenca del río Portoviejo, mediante la evaluación de su capacidad de autodepuración a través del empleo de un modelo matemático. Se presentan las consideraciones que se deben tomar en cuenta para la aplicación del modelo, la ubicación de los vertimientos y los parámetros del modelo ajustados a partir de los datos experimentales que muestran la variación de la concentración de oxígeno disuelto con respecto a la longitud corregida de la corriente tomando en cuenta la morfología del río. A partir de estos parámetros se calcularon los valores de las constantes de velocidad de re oxigenación y consumo de oxígeno, los cuales se toman como base para la identificación de la sección del río más crítica y de los vertimientos que afectan más significativamente la capacidad de autodepuración (Alba , 2017)

### **Tipos de vertimientos**

El agua al tener diferentes usos es susceptible de ser alterada, en este caso la contaminación procedente de vertimientos de aguas residuales domésticas sobre el cuerpo de agua receptor provoca un impacto a corto y largo plazo. Por otra parte, estos vertimientos se caracterizan por ser de tipo puntual y no puntual:

Para el caso de los vertimientos puntuales son aquellas aguas contaminadas que se descargan en un lugar específico al afluente, a través de sistema de alcantarillas o tuberías.

Por el contrario, los vertimientos no puntuales son los que presentan dificultad al momento de reconocer el sitio de la descarga (Alba , 2017)

### **Propiedades fisicoquímicas del agua**

Así mismo, Carbajal Azcona & González Fernández (2012), aseguran, que la composición y estructura asigna al agua unas características físicas y químicas de gran importancia en cuanto a las funciones biológicas, en relación con su capacidad de solvente, de transporte, estructural y termorreguladora; no obstante, las funciones de los sistemas biológicos se manifiestan siempre en términos de procesos físicos y químicos (CRA, 2011).

*Figura. 2* Parámetros fisicoquímicos del agua. Fuente: (CRA, 2011)

<b>PARÁMETROS</b>	<b>RANGOS</b>
Temperatura	25.0 - 32.0 °C
Oxígeno Disuelto	5.0 - 9.0 mg/l
pH	6.0 - 9.0
Alcalinidad Total	50 - 150 mg/l
Dureza Total	80 - 110 mg/l
Calcio	60 - 120 mg/l
Nitritos	0.1 mg/l
Nitratos	1.5 - 2.0 mg/l
Amonio Total	0.1 mg/l
Hierro	0.05 - 0.2 mg/l
Fosfatos	0.15 - 0.2 mg/l
Dióxido de Carbono	5.0 -. 10 mg/l
Sulfuro de Hidrógeno	0.01 mg/l

### **Contaminación por materia orgánica.**

Se presenta contaminación por materia orgánica después de haber sido vertidas las aguas residuales domésticas a un cuerpo de agua, donde por medio de procesos químicos en presencia

de oxígeno en el agua se procede a la descomposición de los compuestos orgánicos, de tal forma que se puede presentar tóxica para los seres vivos (CRA, 2011).

Este tipo de contaminación no se presenta únicamente por las aguas residuales domésticas, sino también de aguas residuales industriales, agrícolas y actividades que presentan manipulación de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están básicamente desarrollados por composiciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunas situaciones se presenta el nitrógeno, azufre, calcio, magnesio, fósforo, hierro, entre otros (CRA, 2011).

“Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son:

- Proteínas (40-60%)
- Hidratos de carbono (25-50%)
- Grasas y aceites (10%)” (García & López, 1985).

En el fondo de toda laguna facultativa predomina un ambiente anaerobio donde los electrones se transfieren en forma de átomos de hidrógeno a los aceptores finales que en este caso son exclusivamente el CO<sub>2</sub>, los sulfatos y compuestos orgánicos. Gracias a estos tres ambientes se logra la estabilización de la materia orgánica en las lagunas facultativas, donde el suministro de energía emitida a través de la radiación solar, aumenta la tasa de mortalidad de patógenos y la sedimentación de huevos de helmintos, favorecida por su prolongado tiempo de residencia hidráulico y por el aumento del pH debido a la actividad de las algas. En efecto, el tratamiento de aguas residuales por el sistema de lagunas de oxidación posibilita el reúso del recurso, en actividades de mantenimiento de parques y cultivos de productos agrícolas como

cereales, praderas, forrajeros y árboles. Otra ventaja es que se requiere de un nivel de operación y mantenimiento básico, que implica bajos costos; no obstante, su principal desventaja es que se requiere disponibilidad de terreno con bajo costo, (Haz Chavarría, 2016)

### **Propiedades microbiológicas del agua**

Las aguas poseen una gran variedad de elementos biológicos desde microorganismos hasta otros más grandes. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir, el medio los dispone, pero también provenir de contaminación por vertidos domésticos e industriales, como también por arrastre del suelo; así mismo, la calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica (Ideam, IDEAM, 2017)

**Figura 3** Parámetros microbiológicos.

<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>
Bacterias aerobias	No. Por ml
Coliformes totales	NMP' por 100 ml
Coliformes fecales	No. Por 100 ml
Pseudomonas aeruginosas	
Fitoplancton y zooplancton	
Giarda lambia	
Cryptosporidium	

Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos. Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. La definición generalizada de sólidos es la

que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, (Ramos, 2013)

## **2.5 Marco legal**

### **Constitución Política de Colombia de 1991**

**Artículo 79:** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente. (Constitución Política, 1991).

**Artículo 80:** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. (Constitución Política, 1991)

**Decreto ley 2811 del 1974.** Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En el artículo 8. Factores que deterioran el ambiente. (Decreto 2811, 1974)

**Ley 9 de 1979.** Denominada código sanitario nacional en ella se especifica los aspectos relacionados con residuos líquidos, (Ley 9, 1979).

**Decreto 1594 1984.** por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos (Ideam, Usos del agua y residuos líquidos , 1984).

**Conpes 3177 de 2002** Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de aguas residuales (PMAR): Define las acciones prioritarias y los lineamientos con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la nación, (Conpes, 2002).

**Decreto 3100 de 2003.** Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones, (Ideam, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO, 2003)

**Resolución 1433 de 2004.** Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones, (Resolución número 1433, 2004).

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

**Resolución 631 de 2015.** Por el 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, (Resolución 631, 2015)

**Decreto 1076 del 2015.**

Fue expedido por el Presidente de la República y su objetivo es compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen el sector Ambiente. (Constitución Política, 1991)

## **Capítulo 3. Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

El presente proyecto se adopta como un modelo, descriptivo, cuantitativo

#### **Metodología descriptiva**

Este modelo de investigación se emplea cuando se tiene poca información del fenómeno. Por este motivo, la investigación descriptiva suele ser un trabajo previo a la investigación expositiva, ya que el conocimiento de las propiedades de un fenómeno determinado permite dar explicaciones a otros asuntos que guardan relación. Para el proyecto se tendrán en cuenta las visitas de campo de la zona de estudio con el fin de observar las características geográficas, topográficas, ambientales para recolectar la información necesaria con el fin de iniciar dicho proyecto (Monje Álvarez, 2015).

#### **Metodología cuantitativa**

La Metodología Cuantitativa es aquella que permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística. Es investigación cuantitativa, debido a que ofrece la posibilidad de generalizar los resultados de una manera más amplia, dado a que otorga control sobre los fenómenos, facilita acciones de conteo y las magnitudes de éstos. Así mismo, brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos definidos de ciertos fenómenos o temas, además facilita la comparación entre demás estudios similares (Monje Álvarez, 2015).

### **3.2 Población**

La población enmarcada en el desarrollo de este trabajo se encuentran los habitantes de Pelaya, Cesar.

### **3.3. Muestra**

La muestra estará conformada por la Empresa Solidaria de Pelaya Emsopel E.S.P., caudales y vertimiento a la fuente hídrica de la quebrada Singararé

### **3.4 Recolección de la información Visitas de campo**

Se realizarán vistas quincenales con el fin de recopilar información del lugar, se utilizarán los materiales necesarios como: GPS, decámetro, pita, estacas, pintura, cartera de campo, cartografía.

#### **Fichas técnicas**

Estas fichas técnicas se elaborarán en base a la información recolectada, con el fin de tener un mayor control en los datos obtenidos durante las visitas de campo, además nos proporcionará facilidad para poder analizar dicha información.

#### **Gráficos estadísticos**

Con los gráficos estadísticos analizaremos la información obtenida y nos ayudará a poder indagar y tomar decisiones frente a las actividades que se van a plantear para determinar la carga contaminante.

#### **Análisis de laboratorio**

Con los análisis de laboratorio obtendremos la información necesaria para determinar si el sistema de tratamiento de agua residual está cumpliendo con los parámetros permitidos y si

está realizando el proceso de tratamiento y pre tratamiento para las aguas residuales generadas por el municipio de Pelaya, Cesar.

### **Software ARCGIS**

Con esta herramienta podremos generar información a partir de la zona de estudio para poder determinar e identificar los diferentes componentes que conforman el área de estudio (zona hídrica, vegetal, sistema de tratamiento, red de alcantarillado entre otros).

### **3.5 Análisis de la información**

Toda la información recolectada será organizada y tabulada en tablas y ecuaciones basadas en investigaciones realizadas, además se tendrá en cuenta información proporcionada por la Empresa Solidaria de Pelaya Emsopel E.S.P. y CORPOCESAR mediante normativa ambiental como lo es la resolución 0631 de 2015.

#### **El diseño metodológico constará de las siguientes fases:**

##### **FASE I**

Realizar un diagnóstico ambiental sobre el vertimiento puntual provocado por el vertimiento de la laguna de oxidación en el ecosistema acuático presente en la zona. Para el cumplimiento de este objetivo se tienen en cuenta los siguientes ítems para poder realizar la línea base de acuerdo al área de estudio.

##### **1. Localización del terreno**

Se realizará la ubicación del terreno mediante georreferenciación de la laguna de oxidación, vertimiento puntual, se realizará la especificación de linderos mediante visitas a campo, la. Además, se realizará una lista de chequeo la cual tendrá un espacio para realizar un

croquis y llevará los siguientes datos: Municipio, vereda y msnm (metros sobre el nivel del mar).

Tipo de vertimiento, caudal, estado de la red de conducción de los vertimientos.

## **2. Caracterización hidrográfica, hidrología, geología, vegetación y fauna silvestre presente en el sitio de estudio.**

Se tendrá en cuenta lo siguiente descripción de fuentes de agua y estado de protección, áreas en zona de protección o reserva forestal, la hidrología y la geología del suelo.

## **3. Generalidades de la red de alcantarillado y Servicio de Acueducto**

Para esta caracterización se tendrá en cuenta información proporcionada por la Empresa Solidaria de Pelaya Emsopel E.S.P., Unidad de servicios públicos de Pelaya, Cesar, con el fin de identificar y realizar el respectivo análisis del proceso de tratamiento de las aguas residuales, caudales, caracterización de los vertimientos y demás.

## **FASE II**

### **Análisis y caracterización físico química**

Para realizar el análisis y caracterización física del vertimiento puntual, se tendrá en cuenta los parámetros dados y establecidos por la resolución 0631 de 2015, la cual establece los parámetros permisibles y dicta disposición para el manejo de los mismos, se contara con la ayuda del laboratorio de aguas de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, para la realización respectiva de los análisis de laboratorio.

### FASE III

Determinar el porcentaje de remoción de la carga contaminante en la laguna de oxidación, a partir de la concentración de Sólidos, la DBO5 y DQO.

Se calcula la carga contaminante en el punto de entrada y salida de la laguna oxidación, para determinar el % de remoción.

El cálculo de la carga contaminante requerido para determinar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento ARD se realiza según la ecuación 1:

$$C_c = Q * C * 0.0864(t)$$

Dónde:

$C_c$  = Carga contaminante (Kg/día)

$Q$  = Caudal (L/s)

$C$  = Concentración del contaminante determinada por el laboratorio (mg/L)

0.0864 = Factor de conversión

$t$  = tiempo de vertimiento

Una vez calculada la carga contaminante a la entrada y salida del sistema de tratamiento, se calcularon los porcentajes de remoción para DBO5, SS y DQO de acuerdo a la ecuación 2:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{entrada}} - C_{\text{salida}}}{C_{\text{entrada}}} * 100$$

$C$  = Carga (Kg/día) de entrada y salida en el sistema de tratamiento.

## Capítulo 4. Resultados

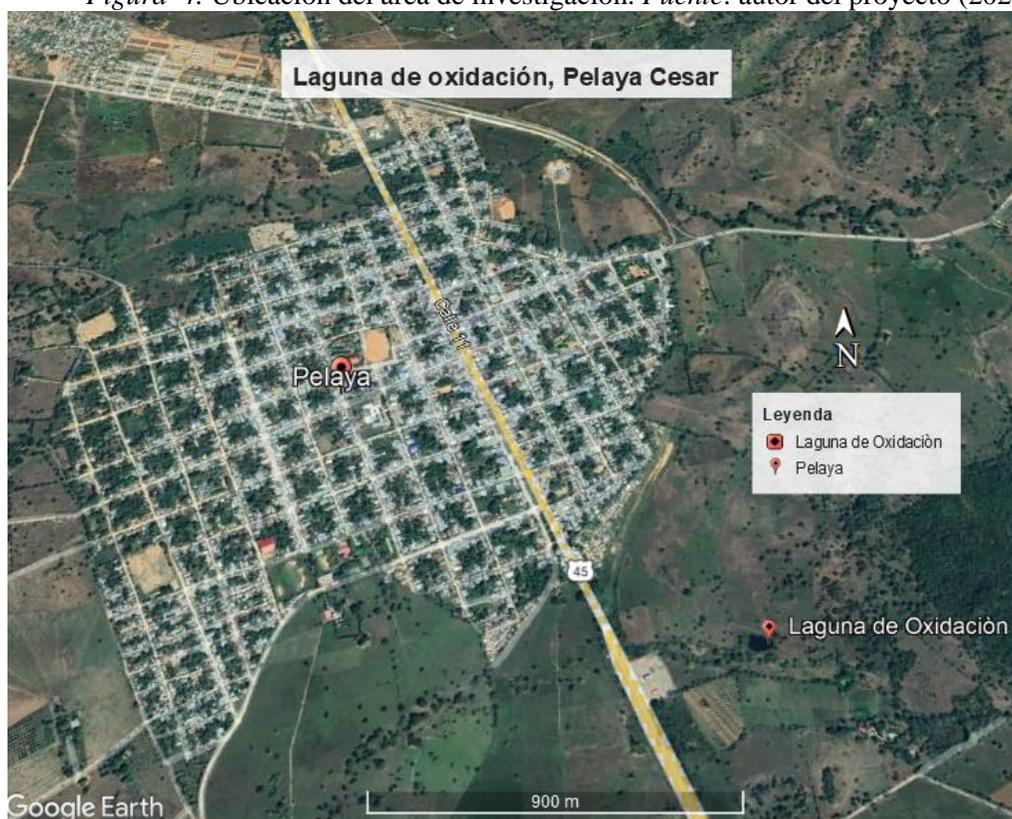
### 4.1 Describir las condiciones ambientales en la zona del vertimiento de la laguna

A continuación, se evidencian las actividades realizadas para el desarrollo continuo del proyecto FASE I:

#### 4.1.1 Localización de la zona de estudio delimitación del área de estudio

El presente trabajo se realizará en la laguna de oxidación del municipio de Pelaya, Cesar con Latitud: 8.683, Longitud:  $-73.667^{\circ} 8' 40''$  Norte,  $73^{\circ} 40' 1''$  Oeste, la superficie de Pelaya, alrededor de 43.800 hectáreas  $438,00 \text{ km}^2$  con una altitud de 157 msnm, con una Población de 16242 (Dane 2005).

Figura 4. Ubicación del área de investigación. Fuente: autor del proyecto (2022).



*Figura 5. Municipio de Pelaya Cesar. Fuente: (Colombiaturismo, 2021)*



#### ***4.1.2 Caracterización hidrográfica, hidrología, geología, vegetación y fauna silvestre presente en el sitio de estudio.***

##### **Características Hidrográficas**

En esta zona la hidrografía está representada por las quebradas que nacen en la Serranía del Perijá y tributan sus aguas al río Magdalena, el cual recorre el municipio en una extensión de 98 Km desde la desembocadura del río Lebrija hasta el municipio de Tamalameque. Las quebradas y ríos que bañan este valle son: Torcoroma, San Alberto, Simaña, La Floresta, la Dorada, Caimán, Noreña, Cristo, Buturama, el total de hectáreas cubiertas por las cuencas de estas quebradas son de 115.400. (Jorge Armenta, 2009)

##### **Hidrología**

El municipio cuenta con gran cantidad de fuentes hídricas que tienen como origen la zona montañosa que riegan los campos hasta llegar a desembocar al río Magdalena. En su configuración hidrológica el municipio está influenciado por cuatro micros cuencas que drenan a la hoya hidrográfica del Magdalena, en las cuales el patrón básico de drenaje es de tipo meándrico, especialmente hacia las partes bajas donde estos cambian continuamente de curso a través del tiempo.

## Vegetación

La región es climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la ganadería y demás cultivos existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros *Cassia*, *Tabebuia*, *Crescentia* e *Inga* entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos.

*Figura 6.* Vegetación de la laguna de Oxidación. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).



## Fauna

La fauna silvestre en la actualidad se encuentra muy afectada, los felinos y mamíferos como el tigrillo y los venados, sobresaliendo casi exclusivamente los reptiles representados por las iguanas, lagartijas y algunas serpientes como boas, falsas corales, y mapaná. En cuanto a las

aves sobresalen algunas rapaces como la lechuza y los gavilanes y otras como palomas, tierrelitas, pericos y colibríes.

### **Geología**

En el área del presente convenio afloran superficialmente y en el subsuelo unidades roca sedimentaria en cuyas edades comprenden desde el Cuaternario hasta el Paleozoico.

#### **4.1.3 Caracterización y diagnóstico de la red de alcantarillado**

A continuación se relacionan los aspectos técnicos con los que cuenta el prestador para la operación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, con base en la información recopilada en la visita adelantada al prestador los días 9 y 10 de marzo de 2015 y la información reportada en el Sistema Único de Información – SUI para las vigencias 2013 y 2014. 3.1

Tabla 1

*Actividades por servicio prestado.*

<b>Servicio</b>	<b>Actividad</b>
<b>Acueducto</b>	CONDUCCION
	ALMACENAMIENTO
	DISTRIBUCION
	CAPTACION
	COMERCIALIZACION
<b>Alcantarillado</b>	RECOLECCIÓN
	CONDUCCIÓN
	TRATAMIENTO
	DISPOSICIÓN FINAL
	COMERCIALIZACIÓN

*Nota.* Servicio prestado por la Empresa Solidaria De Pelaya EMSOPEL E.S.P. Fuente: Autor del proyecto (2022)

***Servicio de Acueducto Generalidades:***

**Área de prestación:** El servicio público de acueducto es prestado en la cabecera municipal de Pelaya Cesar.

**Cobertura:** 80% Información suministrada por el prestador en visita 2015.

**No. de suscriptores:** 2978

**Fuente de abastecimiento:** La fuente de abastecimiento de tipo superficial denominada Quebrada Singarare, la cual se encuentra concesionada por parte de CORPOCESAR mediante resolución No 1314 del 12 de octubre de 2010, la cual adjudica a EMSOPEL los siguientes caudales por vigencia:

Tabla 2  
*Caudales concesionados EMSOPEL*

<b>Periodo</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
Hasta el 31 de diciembre de 2015	34
2016-2020	41,67
2021-2025	43,08
2026-2030	47,95
2031-2033	58,56

*Nota.* Caudal de Pelaya, Cesar. *Fuente:* Resolución No 1314 del 12 de octubre de 2010, CORPOCESAR

Ahora bien, conforme a lo registrado se evidenció que la Empresa Solidaria de Pelaya realiza la captación de 70 l/s, caudal superior al concesionado.

**Bocatoma:** La captación se realiza por medio de una bocatoma con rejillas sumergidas de forma horizontal, cuenta con un dique de 22 metros que dirige hacia la captación. Se realiza mantenimiento cada mes en época de verano y en época de invierno cada tres días.

**Sistema de suministro de agua potable:** Conforme a lo registrado en visita de inspección el prestador cuenta con 2 plantas de tratamiento de agua potable tipo convencional conformadas estructuralmente por sistema de mezcla rápida, floculadores tipo Alabama, sistema

de sedimentación, filtros de flujo ascendente de lecho múltiple y sistema de cloración mediante la aplicación de cloro gaseoso en solución de 3500 gr Hipoclorito de Sodio en 500L de agua; posterior al sistema de tratamiento, el sistema de suministro operado por EMSOPEL, cuenta con dos tanques de almacenamiento previo a su distribución en red.

**Macromedición y micromedición:** EMSOPEL no cuenta con sistema de micromedición, en este sentido no es posible establecer el consumo de los usuarios y trasladarlo como el elemento principal del precio que se cobra al suscriptor o usuario, situación que no se ajusta a lo establecido en el artículo 146 de la Ley 142 de 1994.

**Muestras de control de calidad del agua:** EMSOPEL realiza la toma de muestras de control de calidad del agua a través del laboratorio de la Universidad Francisco de Paula Santander – Ocaña, el cual no está registrado en la resolución 4353 de 2013, el cual no está autorizado para realizar análisis físico, químicos y microbiológicos al agua para el consumo humano. Resultados muestras de vigilancia de calidad del agua: De acuerdo con lo reportado en el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

**Continuidad:** conforme a la información registrada, se evidenció que el prestador suministra el servicio de acueducto con una continuidad de 24 horas día de por medio, registrando de esta manera una continuidad efectiva por suscriptor de 12 horas/día.

***Servicio de Alcantarillado Generalidades:***

**Área de prestación:** El servicio público de alcantarillado es prestado en la cabecera municipal de Pelaya Cesar.

**No. de suscriptores:** 1773 suscriptores

**Cobertura:** 50%

**Redes sistema de Alcantarillado:** El sistema de alcantarillado es tipo sanitario, está constituido por tuberías de PVC con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 3

*Red de Alcantarillado Municipio de Pelaya.*

<i>Material</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Longitud</i>	<i>Edad</i>
Gres, PVC, Concreto	8 – 18”	17.1 Km	15 y 21 años

*Nota.* Descripción de la red de alcantarillado de Pelaya, Cesar. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

**Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR):** La prestadora cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo secundario el cual se encuentra constituido por dos lagunas oxidación, esta se ubica a 1.5 Km del casco urbano, no cuenta con tratamiento preliminar. Presenta cerramiento perimetral y valla informativa. Este sistema de tratamiento carece de un adecuado mantenimiento por parte de la empresa. Vertimientos y cuerpo receptor: El prestador realiza el vertimiento final de las aguas residuales del sistema de alcantarillado, posterior a la laguna de oxidación al cuerpo de aguas superficial.

**Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos (PSMV):** El prestador cuenta con PSMV aprobado por CORPOCESAR mediante la Resolución 274 del 11 de marzo de 2010, CORPOCESAR aprobó el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del municipio de Pelaya – Cesar en su componente urbano Con una vigencia de 10 años.

**Plan de Contingencias**

EMSOPEL del 26 de septiembre de 2014 remitió el plan de contingencia para el servicio público de acueducto, en cumplimiento a lo establecido en el artículo 201 de la resolución 1096 de 2000, la Ley 1523 de 2012.

**4.2 Analizar la calidad del agua tratada por el sistema mediante los parámetros físicos químicos y microbiológicos.**

RESULTADOS ANÁLISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO MATRIZ DE  
LA MUESTRA: Agua cruda

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Laguna de Oxidación. Pelaya, Cesar

PUNTO DE MUESTREO: 1-2-3 TOMADA POR: Brandon Ortiz Alcocer

FECHA TOMA DE MUESTRA: 06 de Marzo del 2022 HORA: 05:00 P.M

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 07 de Marzo del 2022 HORA: 03:30 P.M

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO		
		1	2	3
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	170	162	161.5
Color Aparente	UPtCo	160	127	349
Cobre	mg/L Cu	1.03	0.77	0.78
Conductividad	μS/cm	567	557	547
Demanda Biológica de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	220	200	160
Demanda Química de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	690	660	640
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	73.3	74.2	71.8
Fluoruros	mg/L F <sup>-</sup>	0.77	0.22	0.57
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	10.9	10.4	9.5
Hierro	mg/L Fe	0.73	0.69	0.77
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	72.93	79.2	82.8
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0.2288	0.3476	0.3344
Nitrógeno amoniacal	mg/L N-NH <sub>3</sub>	18.2	21.1	19.2
Oxígeno disuelto	mg/L O <sub>2</sub>	0.93	0.79	0.73
pH	pH	6.74	7.08	7.18
Solidos disueltos	mg/L	253	267	259
Solidos suspendidos	mg/L	74	64	32
Solidos totales	mg/L	519	320	976
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	53	58	52
Turbiedad	NTU	21.4	17.7	15.5
Coliformes totales	NMP/100 mL	>1600	>1600	>1600
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	>1600	920	1600

Tabla 4

Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 1

PARAMETROS	VALOR ARROJADO	UNIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE
Alcalinidad Total	170	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
Color Aparente	160	UPtCo	X	
Conductividad	567	µs/cm	X	
DBO5	220	mg/L O <sub>2</sub>		X
DQO	690	mg/L O <sub>2</sub>		X
Dureza Total	73,3	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
Fluoruros	0,77	mg/L F <sup>-</sup>	X	
Fosfatos	10,9	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	X	
Hierro	0,73	mg/L Fe	X	
Nitratos	72,93	mg/L N-NO <sub>3</sub>	X	
Nitritos	0,2288	mg/L N-NO <sub>2</sub>	X	
PH	6,74	Ph	X	
Solidos totales	519	mg/L		X
Sulfatos	53	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	X	
Turbiedad	21,4	NTU	X	
Coliformes totales	>1600	NMP/100mL	X	
<i>Escherichia coli</i>	>1600	NMP/100mL	X	

**Nota.** La tabla muestra la relación de los resultados del análisis que se le realizó al vertimiento puntual que genera la laguna de oxidación con el cumplimiento de la normatividad ambiental. **Fuente:** Autor del proyecto (2022)

Tabla 5

Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 2

PARAMETROS	VALOR ARROJADO	UNIDADES	CUMPLE	NO CUMPLE
Alcalinidad Total	162	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
Color Aparente	127	UPtCo	X	
Conductividad	557	µs/cm	X	
DBO5	200	mg/L O <sub>2</sub>		X
DQO	660	mg/L O <sub>2</sub>		X
Dureza Total	74,2	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
Fluoruros	0,22	mg/L F <sup>-</sup>	X	
Fosfatos	10,4	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	X	
Hierro	0,69	mg/L Fe	X	
Nitratos	79,2	mg/L N-NO <sub>3</sub>	X	

<b>Nitritos</b>	0,3476	mg/L N-NO <sub>2</sub>	X	
<b>PH</b>	7,08	Ph	X	
<b>Solidos totales</b>	320	mg/L		X
<b>Sulfatos</b>	58	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	X	
<b>Turbiedad</b>	17,7	NTU	X	
<b>Coliformes totales</b>	>1600	NMP/100mL	X	
<i>Escherichia coli</i>	920	NMP/100mL	X	

**Nota.** La tabla muestra la relación de los resultados del análisis que se le realizó al vertimiento puntual que genera la laguna de oxidación con el cumplimiento de la normatividad ambiental. **Fuente:** Autor del proyecto (2022)

Tabla 6

*Parámetros comparados con la norma 0631 del 2015 de la muestra 3*

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR ARROJADO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>
<b>Alcalinidad Total</b>	161,5	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
<b>Color Aparente</b>	349	UPtCo	X	
<b>Conductividad</b>	547	µs/cm	X	
<b>DBO5</b>	160	mg/L O <sub>2</sub>		X
<b>DQO</b>	640	mg/L O <sub>2</sub>		X
<b>Dureza Total</b>	71,8	mg/L CaCO <sub>3</sub>	X	
<b>Fluoruros</b>	0,57	mg/L F <sup>-</sup>	X	
<b>Fosfatos</b>	9,5	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	X	
<b>Hierro</b>	0,77	mg/L Fe	X	
<b>Nitratos</b>	82,8	mg/L N-NO <sub>3</sub>	X	
<b>Nitritos</b>	0,3344	mg/L N-NO <sub>2</sub>	X	
<b>PH</b>	7,18	Ph	X	
<b>Solidos totales</b>	976	mg/L		X
<b>Sulfatos</b>	52	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	X	
<b>Turbiedad</b>	15,5	NTU	X	
<b>Coliformes totales</b>	>1600	NMP/100mL	X	
<i>Escherichia coli</i>	1600	NMP/100mL	X	

**Nota.** La tabla muestra la relación de los resultados del análisis que se le realizó al vertimiento puntual que genera la laguna de oxidación con el cumplimiento de la normatividad ambiental. **Fuente:** Autor del proyecto (2022)

## **Análisis**

Los valores arrojados de la muestra 1, 2 y 3, son un poco equilibrados con la normatividad ambiental es bastante flexible y solo 2 parámetros no cumplen con lo establecido por la resolución 0631 del 2015. Como son DBO5, sólidos totales, la DQO, ya que se requiere que sean altos valores para poder oxidar la materia orgánica presente en el agua.

Los (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes del agua residual de la laguna de oxidación. Los (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes del agua residual de la laguna de oxidación.

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. La DQO requiere de la necesidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en el agua.

Cuanto mayor es la DBO5, más contaminada está el agua, los niveles de concentración de materia orgánica en el agua son superiores a los establecidos en la legislación colombiana para aguas naturales con fines de uso. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

### 4.3 Calcular el porcentaje de remoción de la carga contaminante en la laguna de oxidación.

#### 4.3.1 Cálculo de la Carga Contaminante

La carga orgánica a la entrada y salida del sistema corresponde a la carga orgánica de los residuos líquidos domésticos que se tratan diariamente en la piscina de estabilización del municipio de Pelaya, Cesar

$$Q = 2 \text{ L/s}$$

C = Resultado de la muestra Mg/L de DQO, DBO, SS.

$$Cc = Q * C * 0.0864 (t)$$

Tabla 7

*Cálculo de la carga contaminante en la entrada y salida de la laguna de oxidación*

Parámetro	Carga Contaminante (Kg/Día) Entrada	Carga Contaminante (Kg/Día) Salida
DBO5	38,01	27,7
DQO	119,2	110,59
Sólidos Suspendidos	12,78	5,87

*Nota.* La tabla muestra los resultados del análisis de la carga contaminante del vertimiento puntual que genera la laguna de oxidación. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

Se calcularon los porcentajes de remoción para DBO5, SS y DQO de acuerdo a la ecuación 2:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{entrada}} - C_{\text{salida}}}{C_{\text{entrada}}} * 100$$

C = Carga (Kg/día) de entrada y salida en el sistema de tratamiento.

Tabla 8

*Cálculo del % de remoción*

<b>Parámetro</b>	<b>% Remoción Resultado</b>
<i>DBO5</i>	27
<i>DQO</i>	8
<i>Solidos Suspendidos</i>	58

*Nota.* La tabla muestra los resultados del % de remoción en la laguna de oxidación. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

Una vez realizado el cálculo de los parámetros objeto de estudio, se procedió a analizar fue importante realizar los respectivos cálculos de la carga contaminante diaria que entra y sale al sistema de tratamiento de las aguas residuales del corregimiento, igualmente conocer el nivel de remoción de los contaminantes con el propósito de verificar la efectividad del sistema teniendo en cuenta los porcentajes de remoción, la carga removida y el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.

Las aguas residuales que se tratan en la laguna de oxidación son provenientes del sector doméstico, contando con altos contenidos de materia orgánica, la cual se puede medir en términos de DBO5, SS y DQO.

Tabla 9

*Resultados para Demanda Bioquímica de Oxígeno*

<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L O2</b>			
<b>Evaluación</b>		<b>Resultado</b>	
Valor Entrada (mg/L O2)	Valor Salida (mg/L O2)	Porcentaje de remoción (%)	Carga removida (mg/L O2)
28.51	20,7	27	7,81

*Nota.* La tabla muestra los resultados para el parámetro DBO<sub>5</sub>. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

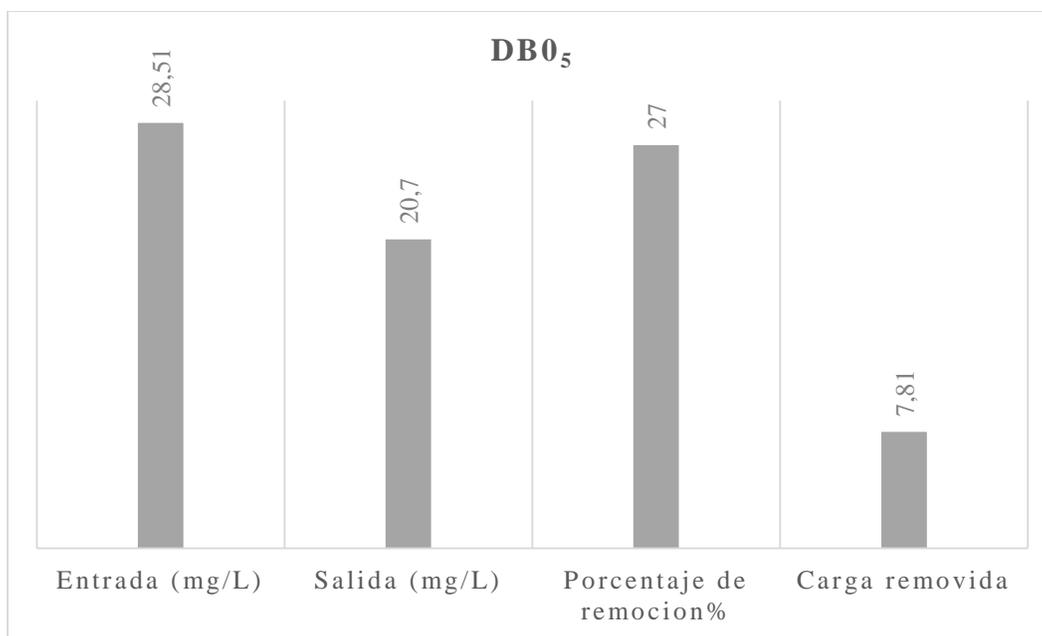


Figura 4. Resultados para Demanda Bioquímica de Oxígeno. Fuente: Autor del proyecto (2022).

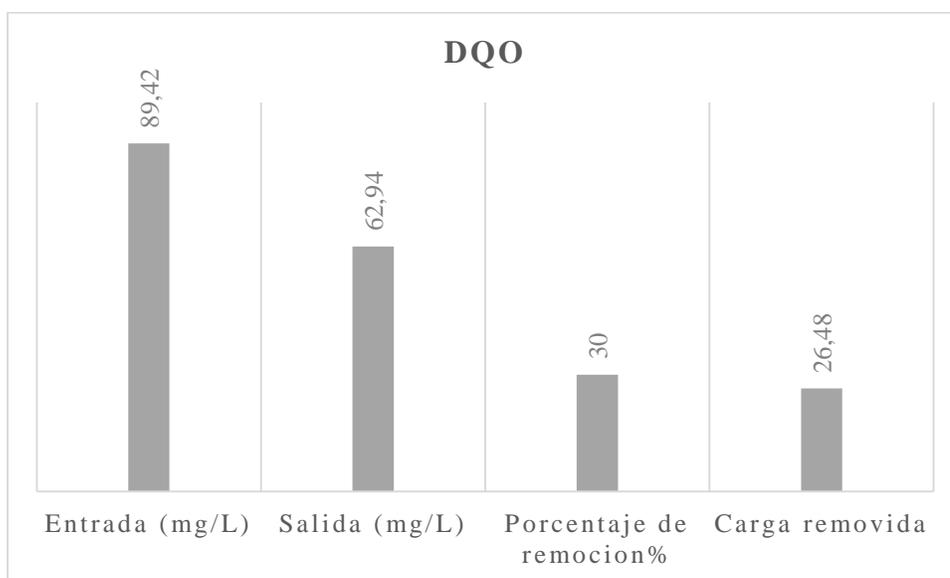
La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es un importante indicador de cantidad de oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica, durante 5 días a una temperatura de 20°C. En cuanto al momento de la concentración más representativa de materia orgánica se dio en el punto de entrada al sistema de tratamiento del agua residual.

Al comparar los valores obtenidos con los establecidos en la norma (Resolución 0631 de 2015, en su artículo 8) la cual determina que el valor límite máximo permisible (VLMP) es de 90 mg/L O<sub>2</sub>, se determinó que en este parámetro se cumple con la normatividad arrojando valores por debajo del límite, sin embargo, el sistema de tratamiento no logra realizar una remoción eficiente de los contaminantes.

Tabla 10  
Resultados para Demanda Química de Oxígeno

<b>Demanda Química de Oxígeno mg/L O<sub>2</sub></b>			
<b>Evaluación</b>		<b>Resultado</b>	
Valor Entrada (mg/L O <sub>2</sub> )	Valor Salida (mg/L O <sub>2</sub> )	Porcentaje de remoción (%)	Carga removida (mg/L O <sub>2</sub> )
89,42	62,94	30	26,48

*Nota.* La tabla muestra los resultados para el parámetro DQO. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).



*Figura 5.* Resultados para Demanda Química de Oxígeno. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) al representar la cantidad de sustancias que son susceptibles de ser oxidadas por medios químicos las cuales pueden encontrarse disueltas o en suspensión, se utiliza para medir principalmente el grado de contaminación y concentración de materia orgánica.

Tabla 11  
Resultados para Sólidos suspendidos

<b>Sólidos Suspendidos</b>			
<i>Standard Methods 2540 D/ Gravimétrico</i>			
<b>Evaluación</b>		<b>Resultado</b>	
Valor Entrada (mg/L)	Valor Salida (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	Carga removida (mg/L)
9,59	4,14	57	5,45

*Nota.* La tabla muestra los resultados para el parámetro Sólidos suspendidos. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

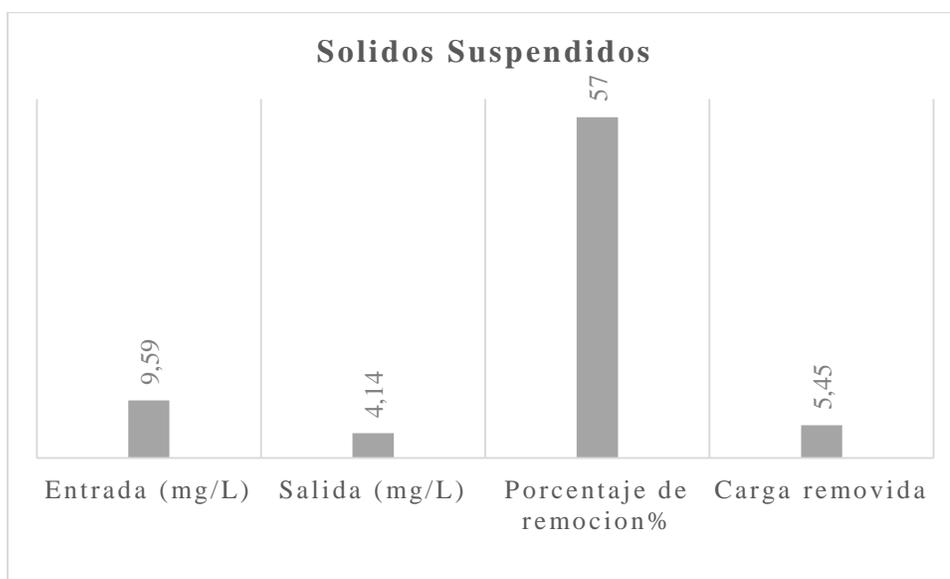


Figura 6. Resultados para Sólidos suspendidos. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

Se entiende por Sólido Suspendido Total al parámetro utilizado para medir la calidad del agua de acuerdo a la cantidad de sólidos medidos en mg/L, presentes en suspensión y a los cuales se les realiza una separación por medios mecánicos. Durante la jornada, se evidencia gran cantidad de sólidos en suspensión en la entrada y salidas del sistema de tratamiento. hubo una remoción del 57% de la carga contaminante.

### *Análisis Resultados*

Podemos observar que los muestreos no se realizan de forma continua ni se realizan en una modalidad periódica que permitirían conocer si las condiciones estacionales tienen algún efecto sobre la calidad del efluente o el proceso de oxidación. Observamos que los muestreos realizados ocurrieron principalmente durante la época de lluvia. Sin embargo, no se observa un efecto de la estacionalidad sobre los parámetros evaluados.

Se pudiera pensar que la adición de agua de lluvia al sistema produciría un efecto de dilución, se realiza con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aerobias y facultativas anaerobias. El agua del influente presentó una alta carga de coliformes fecales como era de esperarse, sin embargo, el sistema es aparentemente eficiente

Uno de los análisis más importantes para medir la concentración de la materia orgánica en aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a cinco días. Se evidencia en los resultados una alta DBO<sub>5</sub>, lo que ayuda a la laguna de oxidación a remover toda su materia orgánica tomando la muestra de la salida de la laguna de oxidación se observó que disminuyó los parámetros alterados, mostrando como un resultado óptimo por parte de la laguna de oxidación.

## 5. Conclusiones

Corpocesar como autoridad ambiental regional del departamento del Cesar evalúa y tiene seguimiento de manera constante con los impactos generados en la laguna de oxidación, lo que le permite implementar estrategias de mitigación cuando se alteren los parámetros, el agua subterránea es la fuente principal abastecimiento para diferentes usos del municipio.

El agua del municipio está en equilibrio con los lixiviados provenientes de prácticas agrícolas inadecuadas, rellenos o botaderos a cielo abierto, lagunas de tratamientos de aguas residuales domésticas y de las industrias palmeras, que hay en la zona, las muestras realizadas dieron como un resultado óptimo de la laguna de oxidación del municipio, esta ejerciendo un buen tratamiento por parte de EMSOPEL.

Así mismo se analizaron los resultados obtenidos por medio del laboratorio y se determinaron los principales porcentajes de remoción. Al analizar cada uno de estos parámetros, se pudo determinar que el Sistema de tratamiento no se encuentra en óptimas condiciones estructurales, presentando así posibles problemas de infiltración y problemas en su funcionamiento.

## 6. Recomendaciones

Reducir las prácticas del uso del territorio (suelo) de actividades como la descarga de efluentes, lixiviados y vertido de residuos domésticos que posteriormente migraran a la laguna de oxidación. En igual forma minimizar o reducir los efectos de la contaminación producida por la ubicación y manejo inapropiado de las lagunas de tratamiento de agua municipales e industriales.

El agua residual antes de ser vertida al río debe estar con una mínima contaminación así asesorarlos que se debe arrojar al alcantarillado, así evitamos que los ecosistemas acuáticos sufran daños por contaminantes nocivos que no les permita cumplir con su proceso natural y esto cause un impacto a la salud.

Prevenir las aguas subterráneas contaminadas con bacterias, virus y parásitos patógenos, los cuales se identificaron coliformes totales y fecales en los análisis bacteriológicos de la gran mayoría de las muestras. Estos organismos patógenos ingresan a los acuíferos someros desde tanques sépticos, letrinas, drenajes, o cursos superficiales con aguas contaminadas.

Establecer campañas de difusión sobre la necesidad de construir obras de protección para evitar la contaminación directa del agua para consumo humano en aljibes, pozos y manantiales.

## Referencias

- Díaz Cuenca, E., & Alvarado Granados, A. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- AguasCesar. (2019). *PLAN AMBIENTAL DEL PAP-PDA DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR*. Obtenido de <http://aguasdelcesar.gov.co/wp-content/uploads/2019/08/PLAN-AMBIENTAL-2016-2019.pdf>
- Aguilar, M. R. (Agosto de 2009). *Scielo*. Obtenido de Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004)
- Alba , M. (27 de Octubre de 2017). *EVALUACION FISICOQUIMICA Y MICROBIOLOGICA DE LOS VERTIMIENTOS GENERADOS SOBRE EL CAÑO EL CRISTO CORRESPONDIENTES AL MUNICIPIO DE AGUACHICA, CESAR Y FORMULACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/1727>
- Beltran Fuentes, R. (17 de Julio de 2015). *Sistemas de depuracion natural*. Obtenido de <http://depuranatura.blogspot.com/2011/05/laguna-facultativa-esquema-del-ciclo.html>
- Bermudez. (02 de Abril de 2005). *Ingeniero Ambiental*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=838>
- Colombiaturismo. (25 de Noviembre de 2021). *Pelaya*. Obtenido de <http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/CESAR/MUNICIPIOS/PELAYA/PELAYA.htm>
- Conpes. (15 de Julio de 2002). *ACCIONES PRIORITARIAS Y LINEAMIENTOS PARA LA FORMULACION DEL PLAN NACIONAL DE MANEJO DE AGUAS*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf>
- ContituciónPolitica. (1991). *CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA* . Obtenido de <https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>

- CRA. (2011). *Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Obtenido de <https://www.cra.gov.co/seccion/plan-de-accion-2011.html>
- Decreto 2811. (18 de Diciembre de 1974). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30019314>
- Espinoza. (16 de Julio de 2016). *Mejoramiento ambiental*. Obtenido de <https://mejoramientoambiental.com/que-es-un-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Eumed. (21 de Octubre de 2018). *Eumed enciclopedia virtual*. Obtenido de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/solidos-suspendidos-agua.html>
- Guerrero Zambrano, J. (22 de Mayo de 2013). *Aguas Residuales*. Obtenido de <http://aguasresidualesd.blogspot.com/2013/05/que-es-vertimiento-es-cualquier.html>
- Haz Chavarría, J. (Septiembre de 2016). *Diseño de un sistema de aireación para mejorar la operación de las lagunas de oxidación del Cantón Playas*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12883>
- Hernández, L. (2006). *LA AGRICULTURA URBANA Y CARACTERIZACIÓN DE SUS SISTEMAS PRODUCTIVOS Y SOCIALES, COMO VÍA PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215872002.pdf>
- Humano, D. (2000). *INFORME SOBRE DESARROLLO* . Obtenido de [http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2000\\_es.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2000_es.pdf)
- Ideam. (1984). *Usos del agua y residuos líquidos* . Obtenido de DECRETO 1594 DE 1984 : [http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec\\_1594\\_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f](http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f)
- Ideam. (31 de Octubre de 2003). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/decreto+3100+de+2003.pdf/c2223038-b4f3-4741-b655-2cca15c117f5>

- Ideam. (28 de Diciembre de 2017). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+d>
- Ley 9. (16 de julio de 1979). *Ministerio de Salud*. Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf)
- Marisa Andreo. (12 de Septiembre de 2015). *Enciclopedia Conicet Mendoza*. Obtenido de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DBO.htm>
- MinAmbiente. (2020). *Ministerio del Medio Ambiente y desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/?s=CALIDAD+DEL+AGUA>
- Oefa. (2014). *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. Obtenido de <https://www.oefa.gob.pe/2014/>
- Pelaya. (28 de Septiembre de 2017). *Alcaldía Municipal de Pelaya Cesar*. Obtenido de <http://www.pelaya-cesar.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Ramos. (21 de Septiembre de 2013). *Universidad tecnica de manabi*. . Obtenido de <http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/137>
- Resolución 631. (2015). *Los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público*. Obtenido de <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>
- Resolución número 1433. (2004). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*. Obtenido de [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad\\_Gnl/Resolucion%201433%20de%202004-Dic-13.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%201433%20de%202004-Dic-13.pdf)
- Rojas, R. (2002). *GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>

Suin. (25 de Octubre de 2010). *Sistema Unico de Informacion Normativa* . Obtenido de <http://suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1878873>

Toapanta. (16 de Enero de 2013). *ESPOL*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/2/GRASASYACEITE>

Valle Mendoza, W. (2015). *Fases, efectos, abastecimiento y conservación del agua*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/1745/>

# **Anexos**

*Figura 7. Toma de muestras microbiológicas. Fuente: Autor del proyecto (2022).*



*Figura 8.* Muestras microbiológicas listas para llevar al laboratorio. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).



*Figura 9.* Muestras fisicoquímicas listas para el laboratorio. *Fuente:* Autor del proyecto (2022).

