

**Diagnóstico de efectos ambientales del vertimiento de aguas residuales del municipio Pijiño
del Carmen (Sur del Magdalena) en la Ciénaga del Palmar**

Pablo Junior Martínez Cortina

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico

Director

Crisóstomo Barajas Ferreira

M.Sc. Ingeniería Química

Codirector

Diana Marcela Ibarra Mojica

M.Sc. Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

A mi madre por ser esa persona en la que siempre encuentro amor y apoyo incondicional. Por su gran ejemplo, enseñanzas, y por ese amor tan puro que toda que toda la vida me ha brindado. Te amo mama

A mi hermosa Valery María, con su inocente amor y ocurrencias me enseña lo bonito del amor, lo bonito de la vida.

A mi familia quienes siempre me han apoyado.

A Fe María Luna y a Néstor Cortina, aunque ya están en el cielo, sus recuerdos y buenas acciones siempre vivirán en mí.

Agradecimientos

A Dios por todas las cosas buenas de la vida, por la disciplina, capacidad y tenacidad de las cuales me doto.

A Yesenia Cortina luna por ser una madre ejemplar y por si incondicional apoyo toda la vida.

A los docentes Crisóstomo Barajas Ferreira y Diana Ibarra Mojica, por su dedicación y disponibilidad en todas las fases del desarrollo del proyecto. La vida les gratifique su paciencia y colaboración.

A mi amigo Luis Carlos Cepeda quien siempre ha estado en la lucha como un buen compañero.

A todas esas personas que colaboraron aportaron un granito de arena como el señor Fabio Arrieta.

A la Universidad Industrial de Santander por haberme permitido hacer par parte de su selecta comunidad.

Gracias!

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Marco Teórico.....	14
1.1 Contaminantes comunes en las aguas residuales.	15
1.2 Indicadores de calidad del agua.	16
1.3 Objetivos de calidad para el uso del recurso hídrico de agua	16
1.4 Ecotoxicología	18
1.5 Área de estudio.	19
2. Objetivos.....	20
2.1 Objetivo General.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. Descripción metodológica	21
3.1 Recopilación de información secundaria.	21
3.2 Recopilación de información primaria.....	22
3.2.1 Campaña de muestreo	22
3.2.2 Caracterización del vertimiento de agua residual del municipio de Pijiño y el sector receptor de la ciénaga.....	23
3.2.3 Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas.....	23
4. Resultados y Discusión	25

4.1 Recopilación de información secundaria	25
4.2 Recopilación de información primaria.....	25
4.2.1 Campaña de muestreo.	25
4.2.2 Caracterización del vertimiento.	28
4.2.3 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del sector receptor de la ciénaga.	32
4.3. Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas.....	38
5. Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias Bibliográficas	44
Apéndices.....	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Metodología general.....	21
Figura 2. Estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de Pijiño del Carmen	26
Figura 3. Variación del caudal vs hora	27
Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo en la ciénaga del Palmar	28
Figura 5. Concentración de la demanda biológica de oxígeno –DBO5, en la ciénaga.....	32
Figura 6. Concentración de los sólidos suspendidos totales en la Ciénaga del Palmar	33
Figura 7. Concentración del oxígeno disuelto en la Ciénaga del Palmar	34
Figura 8. Concentración de coliformes fecales en la ciénaga del Palmar.....	35
Figura 9. Concentración de coliformes totales en la ciénaga del Palmar	36
Figura 10. Montaje de la prueba de ecotoxicología.....	38
Figura 11. Log [Concentración de Agua Residual Vs unidades Probit].....	40

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Principales contaminantes del agua</i>	15
Tabla 2. <i>Parámetros y concentraciones permitidas (2013-2023)</i>	17
Tabla 3. <i>Resultado de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos</i>	29
Tabla 4. <i>Resultados obtenidos para la estimación de la carga contaminante</i>	30
Tabla 5. <i>Valores permitidos vs valores monitoreados en el punto de vertimiento</i>	31
Tabla 6. <i>Densidad celular de la chlorella vulgaris en los diferentes tratamientos</i>	39
Tabla 7. <i>Datos para el análisis probit</i>	40

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Recopilación de información primaria	47
Apéndice B. Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas.....	61

Resumen

Título: Diagnóstico de efectos ambientales del vertimiento de aguas residuales del municipio Pijiño del Carmen (Sur del Magdalena) en la Ciénaga del Palmar*

Autor: Pablo Junior Martínez Cortina**

Palabras Clave: Efectos Ambientales, Aguas Residuales, Contaminación, Objetivos De Calidad, Parámetros Fisicoquímicos.

Desde hace varios años el vertimiento continuo de aguas residuales en la Ciénaga del Palmar ha venido deteriorando su estado ambiental afectando el ecosistema soportado en el cuerpo de agua y las personas aledañas a sus costas como es el caso de la comunidad del municipio de Pijiño del Carmen Magdalena.

El presente trabajo de investigación consistió en realizar un diagnóstico de los efectos ambientales del vertimiento de agua residual en la ciénaga Del Palmar. Se llevó a cabo una campaña de muestreo en el punto de vertimiento y en el sector receptor de la ciénaga con la finalidad de monitorear parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la normativa colombiana y supervisados por las corporaciones autónomas ambientales en este caso la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. se aplicó una prueba de ecotoxicología utilizando la microalga *Chlorella Vulgaris*, además se generaron mapas de modelos predictivos para cada parámetro en toda la superficie de la ciénaga, terminado con la evolución ambiental del sistema estudiado

Se logró determinar valores anormales algunos parámetros como demanda biológica de oxígeno 5, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, coliformes totales (DBO5, SST, Col. Fecal, Col. Total) en los distintos puntos de monitoreo. Por otra parte, se analizó el cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por la Corporación Autónoma del Magdalena y la norma 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para vertimientos de aguas residuales.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química: Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: M.Sc. Diana Marcela Ibarra

Abstract

TITLE: Diagnosis of environmental effects of dumping of wastewater from the municipality Pijiño del Carmen (South of Magdalena) in the Ciénaga del Palmar*

AUTHORS: PABLO JUNIOR MARTINEZ CORTINA**

KEYWORDS: Environmental Effects, Wastewater, Pollution, Quality Objectives, Physico-chemical parameters.

Desde hace varios años el vertimiento continuo de aguas residuales en la Ciénaga del Palmar ha venido deteriorando su estado ambiental afectando el ecosistema soportado en el cuerpo de agua y las personas aledañas a sus costas como es el caso de la comunidad del municipio de Pijiño del Carmen Magdalena.

El presente trabajo de investigación consistió en realizar un diagnóstico de los efectos ambientales del vertimiento de agua residual en la ciénaga Del Palmar. Se llevó a cabo una campaña de muestreo en el punto de vertimiento y en el sector receptor de la ciénaga con la finalidad de monitorear parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en la normativa colombiana y supervisados por las corporaciones autónomas ambientales en este caso la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. se aplicó una prueba de ecotoxicología utilizando la microalga *Chlorella Vulgaris*, además se generaron mapas de modelos predictivos para cada parámetro en toda la superficie de la ciénaga, terminado con la evolución ambiental del sistema estudiado

Se logró determinar valores anormales algunos parámetros como demanda biológica de oxígeno 5, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, coliformes totales (DBO5, SST, Col. Fecal, Col. Total) en los distintos puntos de monitoreo. Por otra parte, se analizó el cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por la Corporación Autónoma del Magdalena y la norma 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para vertimientos de aguas residuales.

* Bachelor Thesis

** Physicochemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department: Química: Director: M.Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira. Codirector: M.Sc. Diana Marcela Ibarra

Introducción

Uno de los principales problemas de contaminación en los cuerpos de agua, está relacionado con el manejo inadecuado de residuos producidos por las actividades humanas, como la industria, la agricultura, y la población que utilizan el agua y liberan gran cantidad de compuestos a través de las aguas residuales. El principal factor de contaminación en las fuentes de aguas cercanas o que atraviesan los cascos urbanos son las aguas que quedan como residuo de las actividades humanas de origen doméstico y/o de naturaleza industrial (Gutiérrez, 2015). Para la caracterización de los contaminantes presentes en las aguas contaminadas se utilizan una serie de parámetros analíticos que permiten determinar su calidad física, química y biológica. Algunos de los parámetros más importantes son la DBO₅, SST, OD, Col. Fecales y Totales (Figueroa, 2007).

Como parte de las actividades de gestión orientadas a la prevención, reducción y control de la contaminación, resulta esencial establecer un procedimiento a través del cual, sea posible conocer el estado actual de esta problemática y evaluar de forma posterior las tendencias que se manifiestan en la calidad del medio, como resultado de la aplicación de un conjunto de alternativas de solución dirigidas a mitigar el impacto ambiental causado por el vertimiento de aguas residuales crudas o parcialmente tratadas hacia diversos cuerpos receptores (Agencia de Medio Ambiente, 1998). Pudiendo monitorear y estudiar las condiciones del recurso hídrico teniendo en cuenta la legislación reguladora de estas fuentes hídricas.

Mediante este trabajo se diagnosticó el estado actual del sector receptor de la Ciénaga y se evaluaron los efectos ambientales producidos por el vertimiento de agua residual en la ciénaga del

Palmar en el municipio de Pijiño del Carmen, además se implementó una prueba de ecotoxicología determinando la concentración letal media del efluente de agua residual, recolectándose información primaria con el fin de sugerir una posible y óptima solución al problema actual del municipio.

1. Marco Teórico

Las aguas residuales según su origen pueden ser clasificadas en industriales o domésticas. Las aguas residuales industriales incluyen en su gran mayoría metales pesados, aceites, petroquímicos, plaguicidas y colorantes. Las aguas residuales domésticas por su parte son los vertidos que se generan en los hogares y establecimientos comerciales, por lo que están compuestas principalmente por desechos orgánicos (carbono, nitrógeno y fósforo) y microorganismos patógenos (Torres, 2014).

Los cuerpos de aguas receptores son uno de los espacios naturales más afectados por la contaminación producida debido a químicos orgánicos e inorgánicos complejos utilizados por el hombre en las labores industriales y domésticas, siendo el vertimiento de aguas residuales uno de los principales medios de entrega de estas sustancias en los ecosistemas acuáticos (Figueroa, 2007).

1.1 Contaminantes comunes en las aguas residuales.

Las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual varían dependiendo de los factores como localización de la fuente, temperatura y origen del agua captada, población, desarrollo socioeconómico, nivel industrial, dieta en la alimentación, tipo de aparatos sanitarios y prácticas de uso eficiente de agua, entre otros (Orjuela Gutierrez & Lizarazo Becerra, 2013). En la Tabla 1 se muestran los principales contaminantes presentes en el agua residual, la fuente proveniente y su importancia ambiental.

Tabla 1.

Principales contaminantes del agua

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Sólidos suspendidos	Doméstico, industrial y agua infiltrada de la red de alcantarillado	Causa depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Doméstico e industrial	Causa degradación biológica e incrementa la demanda de oxígeno en cuerpos receptores.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos	Causa enfermedades transmisibles.
Nutrientes	Doméstico e industrial	Puede causar eutrofización.
Compuestos orgánicos refractarios	Sustancias industriales	Pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Sustancias industriales, minería, etc.	Pueden ser tóxicos.
Sólidos inorgánicos disueltos	Doméstico o industrial	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Fuente: (Orjuela Gutierrez & Lizarazo Becerra, 2013).

1.2 Indicadores de calidad del agua.

Dentro de los parámetros comúnmente utilizados para establecer la calidad del agua se tienen en cuenta la demanda química de oxígeno (DQO), pH, sólidos en suspensión, demanda biológica de oxígeno (DBO) y metales pesados, entre otros (Torres, 2014).

La DBO5 y DQO permiten estimar indirectamente la concentración de materia orgánica en las aguas. La DBO5 es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de 5 días para descomponer la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales a una temperatura de 20°C. De modo similar, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. A su vez, el pH mide la acidez, neutralidad, o basicidad del agua residual y puede variar generalmente entre 6,8 y 8 (Figuerola, 2007).

1.3 Objetivos de calidad para el uso del recurso hídrico de agua

El Decreto 1594 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura en los artículos 38-40 establece los diferentes criterios de calidad así como las concentraciones máximas permisibles para los diferentes usos del recurso hídrico como consumo humano y doméstico, preservación de la fauna y flora, agrícola, pecuario, recreativo, industrial, estético, y pesca. Los parámetros utilizados para los criterios de usos son Amoníaco, Arsénico, Bario, Cadmio, Cianuro, Zinc, Cloruro, Cobre, Color y Cromo, Mercurio, Nitratos, Nitritos, pH, DQO, DBO5 y Coliformes, Fecales (Decreto N°1594, 1984, Art.38).

La resolución 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecieron los parámetros y valores límites máximos posibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, sistemas de alcantarillado público y otras disposiciones. Algunos de los parámetros más importantes son la DBO5, los Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, pH, Grasas y Aceites.

Los objetivos de calidad son un conjunto de parámetros los cuales son monitoreados por las Corporaciones Autónomas departamentales, en este caso la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), teniéndose en cuenta como condición técnica para otorgar permisos, autorizaciones y licencias ambientales siendo estos requisitos para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales. Estos parámetros también se implementan para definir la idoneidad del agua y para la evaluación del impacto ambiental del instrumento económico que desarrolla cada departamento (Resolución N°2428,2012, Art.1). En la Tabla 2 se presentan los parámetros y concentraciones permitidas en el periodo (2013-2023) para cuerpos de agua en el departamento del Magdalena.

Tabla 2.

Parámetros y concentraciones permitidas (2013-2023)

Uso	Parámetros						
	pH	OD [mg/L]	SST [mg/L]	GyA [mg/ L]	DBO5 [mg/L]	Col. Totales (NMP/100 mL)	Col. Fecales (NMP/100 mL)
Abastecimiento acueducto	6,5-9	>5	<20	0	<5	20.000	2000
Consumo Humano	6,5-9	>5	<20	0	<5	20.000	2000
Agropecuaria	6,5-9	>8	<20	<10	<5	5.000	1000

1.4 Ecotoxicología

Truhaut (1975) estableció el termino ecotoxicología definiéndose como la ciencia que estudia la polución, su origen y efectos sobre los seres vivos y sus ecosistemas (Capó, 2009).

La ecotoxicología tiene como principio fundamental el estudio de la polución sobre los sistemas bióticos en forma de toxicidad (Gamez-Rojas, Catalina; Ramírez-Riveros, 2008). Los estudios ecotoxicologicos se componen de tres secuencias, la génesis de las fuentes de polución, el ingreso de los contaminantes a las cadenas biológicas y por último la calificación y cuantificación de los efectos patológicos sobre los seres vivos y sus ecosistemas (capo, 2009).

La cualificación y cuantificación se lleva a cabo con bioensayos o pruebas de toxicidad, por medio de experimentos que miden el efecto de uno o más contaminantes en una o más especies (Repish y oshida,1987), permitiendo evaluar el grado de toxicidad de una sustancia química, un afluyente, un cuerpo de agua, etc., empleando organismos vivos. Con la implementación de los bioensayos agudos se pueden cuantificar las concentraciones letales de una especie en particular. El cálculo se denomina concentración letal media (CL_{50}) y representa la concentración que causa la muerte al 50% de la población experimental en un tiempo de 96 horas (Esclapés, 1999).

Con el fin de prevenir daños ambientales, los científicos han propuesto utilizar las pruebas de toxicidad con especies de fitoplancton, como herramienta de evaluación del potencial tóxico de compuestos individuales o muestras complejas. En las dos últimas décadas, los órganos de protección ambiental, científicos y agencias de estandarización de diversos países han publicado protocolos experimentales para la cuantificación del potencial tóxico siendo una herramienta útil y atractiva (Aidar et al., 1999).

1.5 Área de estudio.

El municipio Pijiño del Carmen se encuentra localizado en el sur del Departamento del Magdalena – Colombia, limitando por el norte y el oeste con el municipio de Santana, al sur con el municipio de San Zenón y al este con el departamento del Cesar. Cuenta con una temperatura media de 34°C, está a 80 msnm y su precipitación anual se encuentra cerca de los 1.266 mm. El área municipal es de 526 km² y cuenta con 5.395 habitantes en la zona urbana y 9.050 habitantes en la zona rural. Para la fecha el 91% de esta población cuenta con el servicio de alcantarillado.

En la hidrografía del municipio se destacan dos micro cuencas principales, las cuales son: La micro cuenca de la quebrada Culebra, tiene una extensión aproximada de 36.296,91 hectáreas y está conformada por los arroyos Chingalé, Palma, Convención, Santo Domingo, Delicias, Santa Bárbara, Cardón, y las Palmas siendo la corriente principal la quebrada Culebra cuya desembocadura está ubicada en la ciénaga el Palmar con una longitud de cauce aproximada de 56 km. Micro cuenca Los Monos, tiene una extensión aproximada de 16.303,09 hectáreas y está conformada por los arroyos Cacarañao, La Esperanza, El hospicio, Orinoco, Hundido, Novelao, quebrada el Jordán y Caño Caimancito, desembocando en el río Cesar con una longitud de cauce aproximada de 30 km. (Alcaldía Municipal Pijiño del Carmen Magdalena, 2018)

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar diagnóstico de efectos ambientales del vertimiento de aguas residuales del municipio Pijiño del Carmen (sur del Magdalena) en la ciénaga del Palmar.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización física y fisicoquímica del vertimiento del municipio de Pijiño y del sector receptor en la ciénaga, mediante levantamiento de información física en campo y análisis de muestras del agua.
- Analizar los posibles efectos del vertimiento de aguas residuales en la ciénaga con base en la caracterización física y fisicoquímica del vertimiento y la ciénaga.

3. Descripción metodológica

La metodología establecida para el desarrollo del proyecto se describe en la Figura 1.

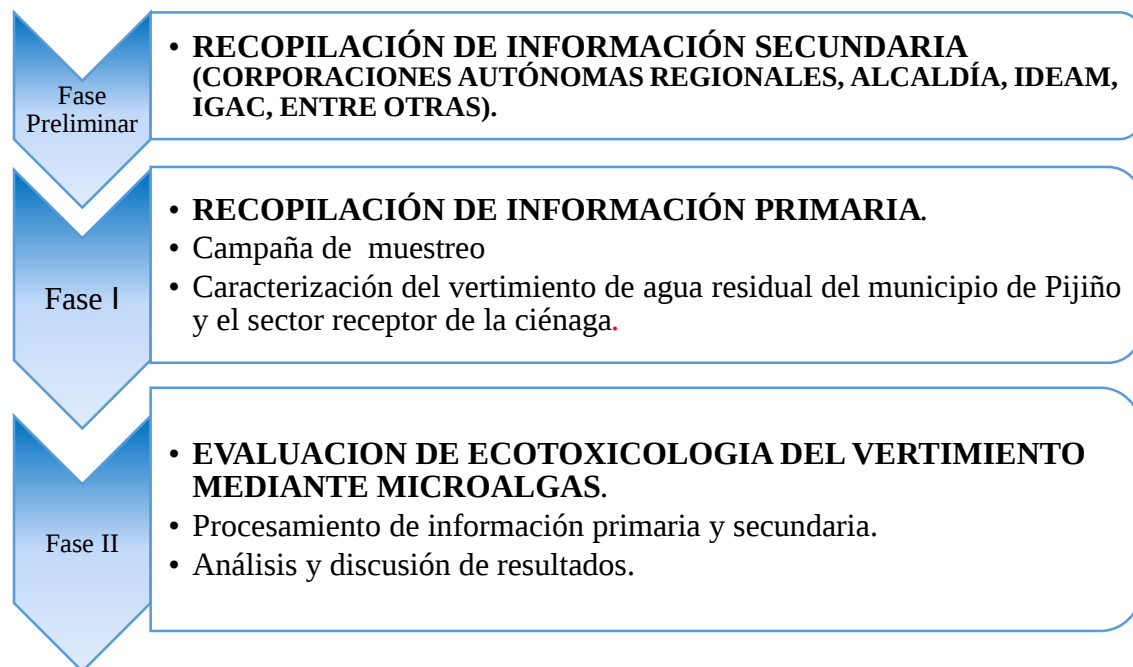


Figura 1. Metodología general

3.1 Recopilación de información secundaria.

Se solicitó a la Alcaldía de Pijiño del Carmen, al IDEAM y a la Corporación Autónoma Regional del Magdalena, información respecto al nivel de la ciénaga, puntos de vertimientos de agua, captación de agua y usos autorizados sobre el recurso hídrico en inmediaciones del municipio de Pijiño del Carmen Magdalena en los últimos diez años.

3.2 Recopilación de información primaria

Inicialmente se llevó a cabo reconocimiento de la zona de estudio en la ciénaga el Palmar, donde se lograron identificar los diferentes puntos de vertimiento, se monitoreo el caudal de vertimiento. Y por inspección visual se evaluó el estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Pijiño del Carmen.

3.2.1 Campaña de muestreo Se seleccionaron parámetros físico-químicos y microbiológicos como el caudal, temperatura, demanda biológica de oxígeno 5 (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables totales (SSSED), pH, grasas y aceites (GyA), oxígeno disuelto (OD), coliformes fecales (Col. F), coliformes totales (Col. T), por estar establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena como objetivos de calidad para el periodo (2013-2023), obedeciendo a la resolución 2428 del 12 de diciembre del año 2012 expedida por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena .

Se llevó a cabo el monitoreo del caudal de vertimiento, de 4 am a 10 pm con frecuencia muestral de 1 hora, estableciéndose con el método volumétrico.

La toma de muestra en el punto de vertimiento se llevó a cabo en las horas de mayor caudal. Para la ciénaga se diseñó un esquema de muestreo con puntos a diferentes radios desde el punto de vertimiento (0,5-0,7-1,5 y 2 km). Otros puntos fueron considerados teniendo en cuenta su uso actual en actividades de recreación. Las muestras tomadas en la ciénaga fueron muestras puntuales. La realización de la toma de datos y preservación se realizó sin dificultades en una época de transición de invierno a verano (ver Figura A. 2 del anexo A). En ambos casos se aplicaron los

protocolos recomendados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Guía IDEAM, 2004).

3.2.2 Caracterización del vertimiento de agua residual del municipio de Pijiño y el sector receptor de la ciénaga. Las muestras preservadas y refrigeradas (DBO5, Grasas y Aceites, Coliformes fecales, coliformes totales), se entregaron al Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales – (CEIAM), y las otras muestras (SST, SSSED, agua residual) fueron llevadas al Laboratorio del Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía para su previo estudio. Los métodos analíticos empleados para el análisis de cada parámetro y el respectivo laboratorio donde se realizó el análisis se describen en el anexo A en la Tabla A. 2.

En la Figura A. 3 y Figura A. 5 del Anexo A, se muestra la metodología empleada en el laboratorio para el análisis de sólidos sedimentables (SSSED) y sólidos suspendidos totales, respectivamente.

Se generaron mapas de la Ciénaga del Palmar con la ayuda del programa ArcGIS utilizando la herramienta ArcMap10.5 aplicando la distancia inversa ponderada (IDW) como método de Interpolación, de esta manera se generó un modelo de concentración esperada de cada parámetro en toda la superficie de la Ciénaga, a partir de los puntos analizados.

3.2.3 Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas El procedimiento experimental se realizó en base a la metodología utilizada para prueba de toxicidad con microalgas (Aidar et al., 1999), a continuación se describe la metodología implementada para la prueba.

Se seleccionó la cepa *Chlorella Vulgaris* UTEX 1803 sugerida por (ASTM, 2015).

El proceso de esterilización y preparación del medio de cultivo se detalla en los anexos B en la Figura B. 1 y Tabla B. 1.

Se tomó una muestra del cultivo madre estabilizado, se cuantificó su densidad celular por conteo utilizando la cámara Neubauer y usando la ecuación (1) se calculó el volumen del inóculo requerido para garantizar una densidad celular de 15000 células/mL en cada recipiente de 500 mL. Se aprecia la ecuación (1) y el cálculo para el volumen del inóculo.

ECUACIÓN (1)	$V_{in} = \frac{(C_{exp}) * (V_{exp})}{(C_{in})}$
V_{in} = Volumen del inóculo	
C_{in} = Densidad celular del inóculo	$V_{in} = \frac{(15000cl/ml) * (500ml)}{16800.000cel/ml} = 0,446ml$
C_{exp} = Densidad celular del experimento	
V_{exp} = Volumen del experimento	

Para el montaje del experimento se implementaron 18 Erlenmeyer de 500 mL con 6 concentraciones diferentes de agua residual, realizando pruebas por triplicado de cada concentración (0%, 0,01%, 0,1%, 1%, 10%, 100%). Las botellas se acoplaron a un sistema 12h luz: 12h oscuridad, utilizando aireación por burbujeo constante con bombas de aire aportando de esta manera una fuente de carbono (Co₂), reduciendo la sedimentación de los microorganismos, y manteniendo así homogenizado el cultivo. La temperatura osciló de 20 °C a 26 °C y el pH de 6 a 8.

Para cuantificar la variación de la densidad celular los ensayos se sometieron a agitación de 150 (rpm) durante 5 minutos y se tomaron 4 ml de cada ensayo durante 96 horas cada 24 horas

partiendo desde la hora cero, luego de cada monitoreo se llevó a cabo el conteo con la cámara Neubauer.

4. Resultados y Discusión

4.1 Recopilación de información secundaria

Ante la solicitud de información a IDEAM y CORPAMAG respecto al nivel de agua, puntos de vertimiento, puntos de captación de agua y usos autorizados del recurso hídrico de la ciénaga del Palmar, no se obtuvo respuesta. Por su parte, la Alcaldía de Pijiño del Carmen aportó información general del municipio.

4.2 Recopilación de información primaria

4.2.1 Campaña de muestreo. Como resultado de la campaña de muestreo en la zona de estudio se determinó la situación actual del sector receptor, encontrándose que el municipio de Pijiño del Carmen anteriormente contaba con un sistema de lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas servidas, pero actualmente no cuenta con ningún tipo de tratamiento. El agua residual se almacena en un tanque de concreto para luego ser bombeada al suelo y por medio de una escorrentía es finalmente vertida en la ciénaga (ver Figura 2).

a)-Vertimiento Punto 1**b) Escorrentía de Agua Residual****c) LagunadeOxidación: Inactiva****d) Vertimiento Antiguo a la Ciénaga**

Figura 2. Estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de Pijiño del Carmen

También se obtuvo la información del caudal de vertimiento, como se aprecia en la Figura

3.

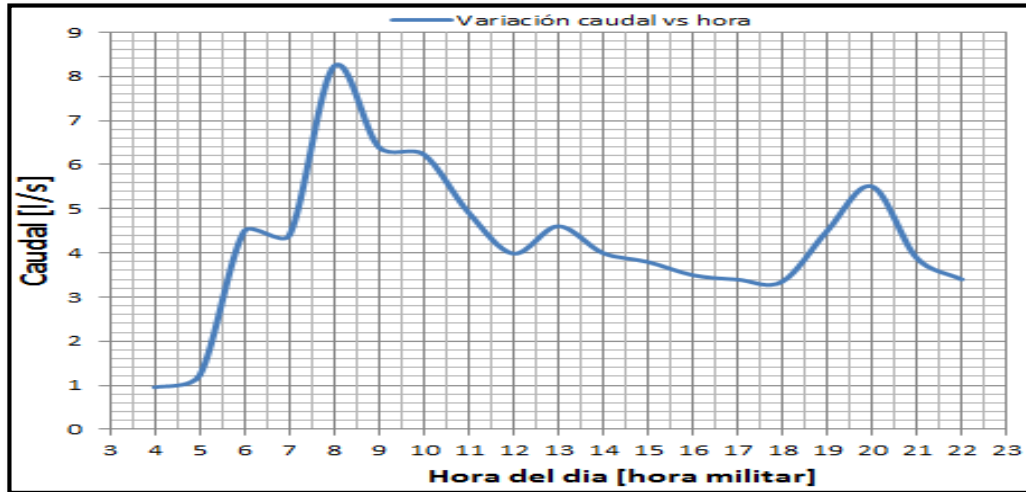


Figura 3. Variación del caudal vs hora

Finalmente, se establecieron los puntos de muestreo dentro de la ciénaga, designándose los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 por encontrarse a distancias de 0,5 km, 0,7 km, 1,5 km, 1,5 km y 2 km respectivamente del punto de vertimiento, el punto 7 por ser una zona muerta de antiguo vertimiento y el punto 8 por ser una zona recreativa del municipio (ver Tabla A. 1. Inventario de Coordenadas puntos de monitoreo y justificación. Se definieron los parámetros a estudiar, recolectándose información valiosa para el desarrollo del proyecto, como muestras de agua, valores de parámetros medidos en campo, y actividades realizadas sobre el recurso hídrico. En la Figura 4 se aprecian la ubicación de los puntos de muestreo en la ciénaga el palmar.

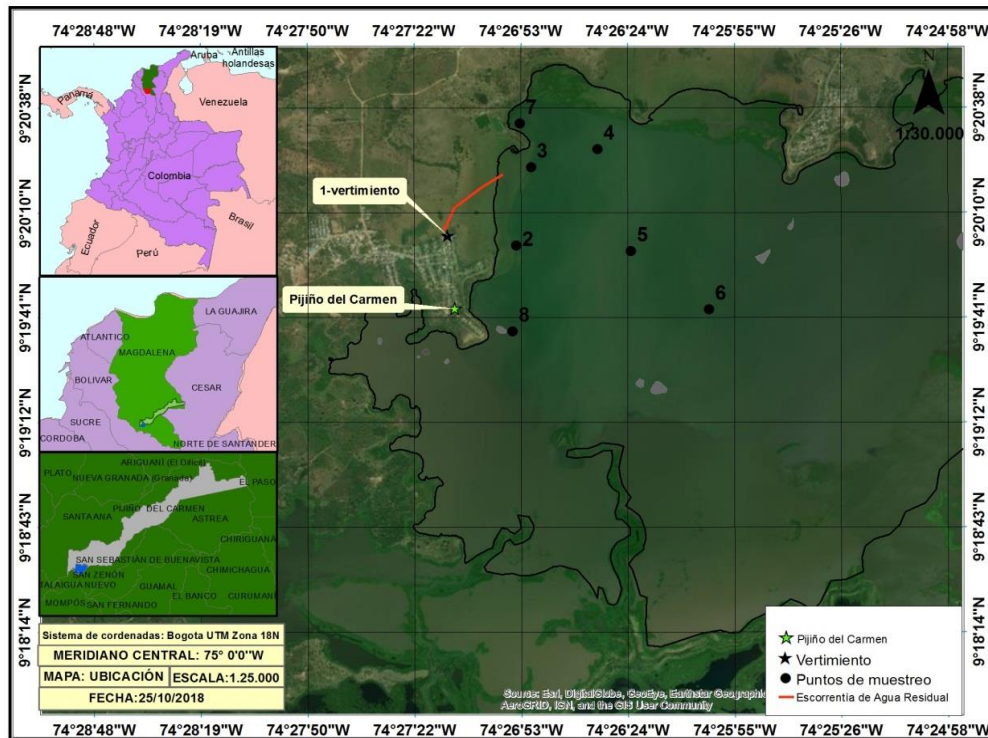


Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo en la ciénaga del Palmar

4.2.2 Caracterización del vertimiento. Como resultado de la caracterización del vertimiento de agua residual del municipio de Pijiño y el sector receptor de la ciénaga se generó el informe general de los análisis de cada parámetro estudiado. En la Tabla 3 se aprecian los resultados generales de los análisis. En el Anexo A, de la Figura A. 7 a la Figura A. 14 se presentan los resultados reportados por los laboratorios.

Tabla 3.

Resultado de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetros	Puntos									
	8am	1pm	8pm	2	3	4	5	6	7	8
Demanda Biológica DBO5 [mg/L]	109	192	318	8	10	8	5	4	8	6
Grasas y aceite (GyA) [mg/L]	29	103	118	10	10	10	10	10	10	10
Sólidos sedimentables (SSED) [ml/L]	1,6	4,2	6,7	0,1	0,05	0,1	0	0	0,2	0,2
Sólidos totales (SST)[mg/L]	194	354	387	51	28	26	52	65	124	112
pH	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6
% de oxígeno [%]	0	0	0	115	145,3	118,9	111	114,3	170	80,6
Oxígeno Disuelto (OD)[mg/L]	0	0	0	8,2	10,12	8,38	7,74	7,88	11,4	5,78
TEMPERATURA [°C]	31,58	32,18	30,11	33,84	34,66	34,04	35,05	34,08	34,06	32,78
Col. Totales (NMP/100mL)	30800000	57900000	155000000	30500	488000	1050000	92100	309000	318000	222000
Col. Fecales (NMP/100mL)	166600000	29100000	5790000	2	<1	9,8	<1	1	13.2	2

Para el análisis de los resultados del vertimiento de agua residual se hizo una estimación de la carga contaminante aportada a la ciénaga, por la DBO5 y los SST, teniendo en cuenta el caudal de vertimiento durante 1 hora de operación y el valor de los parámetros censados en sus distintas horas de actividad (ver Tabla 4).

Ecuación (2) estimación para la carga contaminante DBO5 y SST, del decreto 3100 del 2003.

$$CC = Qm * C * Fc * \frac{t}{24}$$

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Qm = Caudal promedio, en litros por segundo (L/s)

C = Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/L)

0.0864 = Factor de conversión de unidades

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

Tabla 4.

Resultados obtenidos para la estimación de la carga contaminante

Hora	Caudal [L/s]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]	F- Conversión	Horas de operación monitoreadas	CC- DBO5 [Kg/día]	CC-SST [Kg/día]
07;30:00	6						
08;00:00	8,2	109	194		1		
08;30:00	7,4						
Q PROM	7,079	109	194	0,0864	1	2,778	4,944
Hora	Caudal [L/s]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]	F- Conversión	Horas de operación monitoreadas	CC- DBO5 [Kg/día]	CC-SST [Kg/día]
12;30:00	4,2						
13;00	4,6	192	354		1		
13;30:00	4,8						
Q PROM	4,519	192	354	0,0864	1	3,123	5,759
Hora	Caudal [L/s]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]	F- Conversión	Horas de operación monitoreadas	CC- DBO5 [Kg/día]	CC-SST [Kg/día]
19;30	5						
20;00	5,6	318	387		1		
20;30	5,6						
Q PROM	5,384	318	387	0,0864	1	6,164	7,50

Como se puede apreciar en la Tabla 4 el valor estimado de las cargas contaminantes aportadas por el vertimiento a la ciénaga durante periodos de 1 hora de operación, presentan variaciones con respecto al caudal, el cual está relacionado con la actividad del servicio de alcantarillado, siendo las cargas contaminantes más altas las vertidas a las 8 pm, con un estimado de 6,16 kg/día para la DBO5 y 7,50 kg/día para los SST. A continuación con respecto a la Tabla 5 se valora y analiza el cumplimiento de la norma para vertimientos con una carga menor a 650 kg/día DBO5 según la resolución 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, teniendo en cuenta que la mayor carga contaminante DBO5 en el vertimiento aportada en una hora es 6,16 kg/día DBO5. En esta norma se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de aguas superficiales.

Tabla 5.

Valores permitidos vs valores monitoreados en el punto de vertimiento

Parámetro	Punto de Monitoreo			NORMA 0631	Concepto
	1				
	8 am	1pm	8 pm		
pH	7	7	7	6-9	cumple
DBO5 [mg/L]	109	192	318	90	No cumple
SST [mg/L]	194	354	387	90	No cumple
SSED [ml/L]	1,6	4,2	6,7	5	Se cumple por periodos de tiempo
G y A [mg/L]	29	103	118	20	No cumple
OD [mg/L]	0	0	0	-----	Análisis y reporte
Col. Totales (NMP/100ml)	3,08x10 ⁷	5,79x10 ⁷	1,55x10 ⁸	-----	Análisis y reporte
Col. Fecales (NMP/100ml)	1,66x10 ⁷	2,91x10 ⁷	5,79x10 ⁶	.-----	Análisis y reporte

La DBO5 y los SST no cumplieron con los valores establecidos por la norma en las horas monitoreadas, excediendo los valores máximos. Las grasas y aceites oscilan con valores de 29 a

118 mg/L, en ninguna de las horas monitoreadas las grasas y aceites cumple con la norma. El oxígeno disuelto como los coliformes fecales y totales no son parámetros de cumplimiento obligatorio para la resolución 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se establece que se deben analizar y reportar, sin embargo el grado absoluto de desoxigenación del agua vertida relacionado con el alto valor de las grasas y aceites, DBO5 y coliformes totales indican altas concentraciones de materia orgánica. Con respecto al valor de los coliformes fecales el agua presenta un alto grado de contaminación por materia fecal. Los sólidos sedimentables cumplen la norma por periodos de tiempo. El pH cumple con un valor de 7 en todas las horas monitoreadas.

4.2.3 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del sector receptor de la ciénaga.

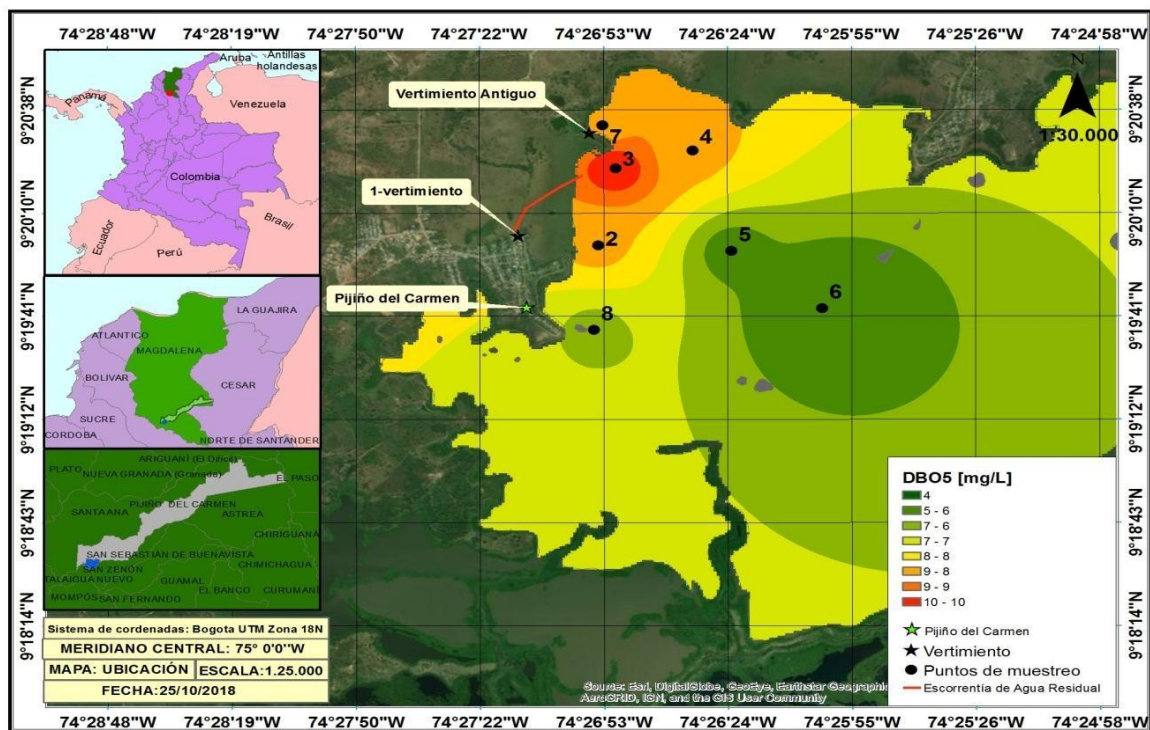


Figura 5. Concentración de la demanda biológica de oxígeno –DBO5, en la ciénaga.

En la Figura 5 se ilustra que el punto vertimiento y su salida a la ciénaga, siendo la línea roja la escorrentía del agua residual, ubicándose el sector de contacto con la ciénaga próximo al punto 3. Además se evidencia que el sector del punto 3 registro la mayor concentración de la DBO5 (10 mg/L), y el punto 6 la menor concentración registrando un valor de 4 mg/L, la variación de la DBO5 posiblemente esté relacionada con la actividad del vertimiento de agua residual y la capacidad de dilución de la ciénaga, teniendo en cuenta que en el sector del punto 3 se desarrollan actividades de descarga de agua residual. El rango de concentraciones de 5-6 mg/l es el de mayor superficie de agua. Por otra parte, el agua de la ciénaga en su mayoría de sectores no cumple con el valor de <5 mg/L para el parámetro DBO5 establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena.

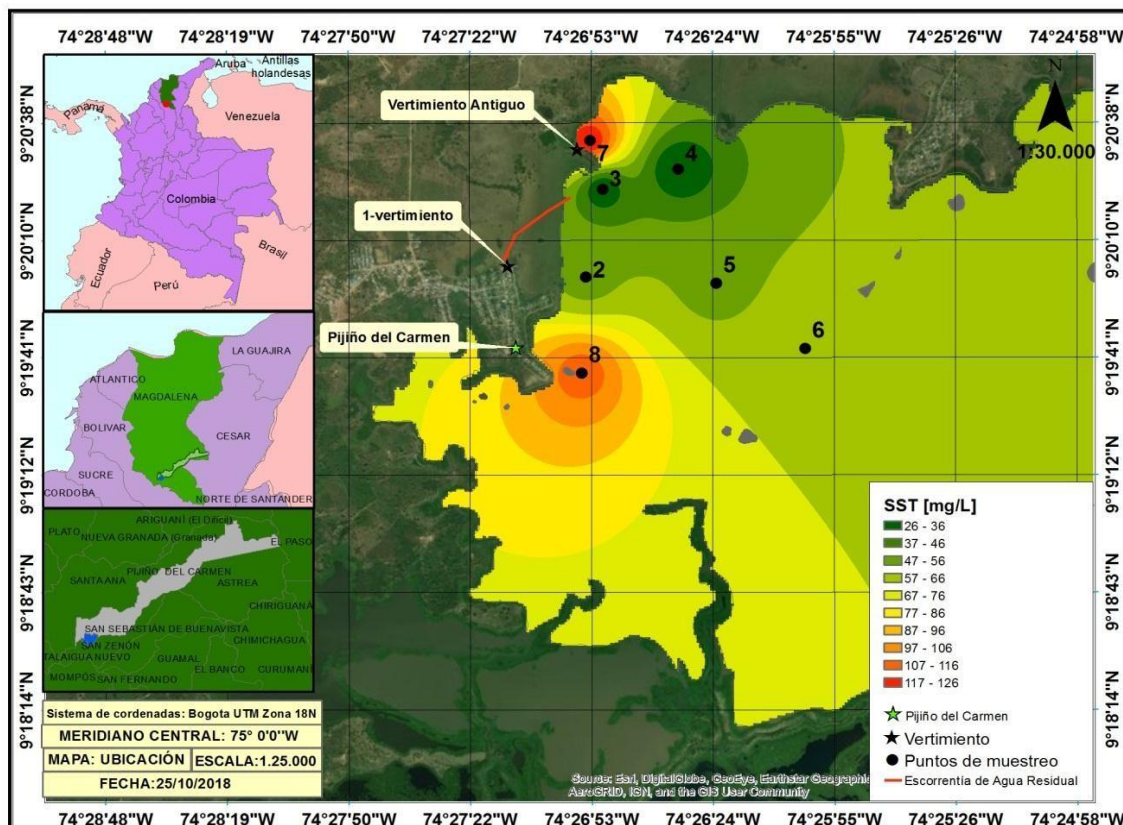


Figura 6. Concentración de los sólidos suspendidos totales en la Ciénaga del Palmar

En la Figura 6 se puede apreciar que el rango de valores de los puntos 7 y 8 para los SST es el más alto monitoreado con un valor de 117-126 mg/L. En el punto 7 este alto valor posiblemente esté relacionado con las actividades de vertimiento de agua residual en ese sector, y en el punto 8 con actividades humanas en la zona de recreación. Por otra parte, el agua de la ciénaga en toda la superficie no cumple con el valor de <20 a <25 mg/L para el parámetro SST establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena.

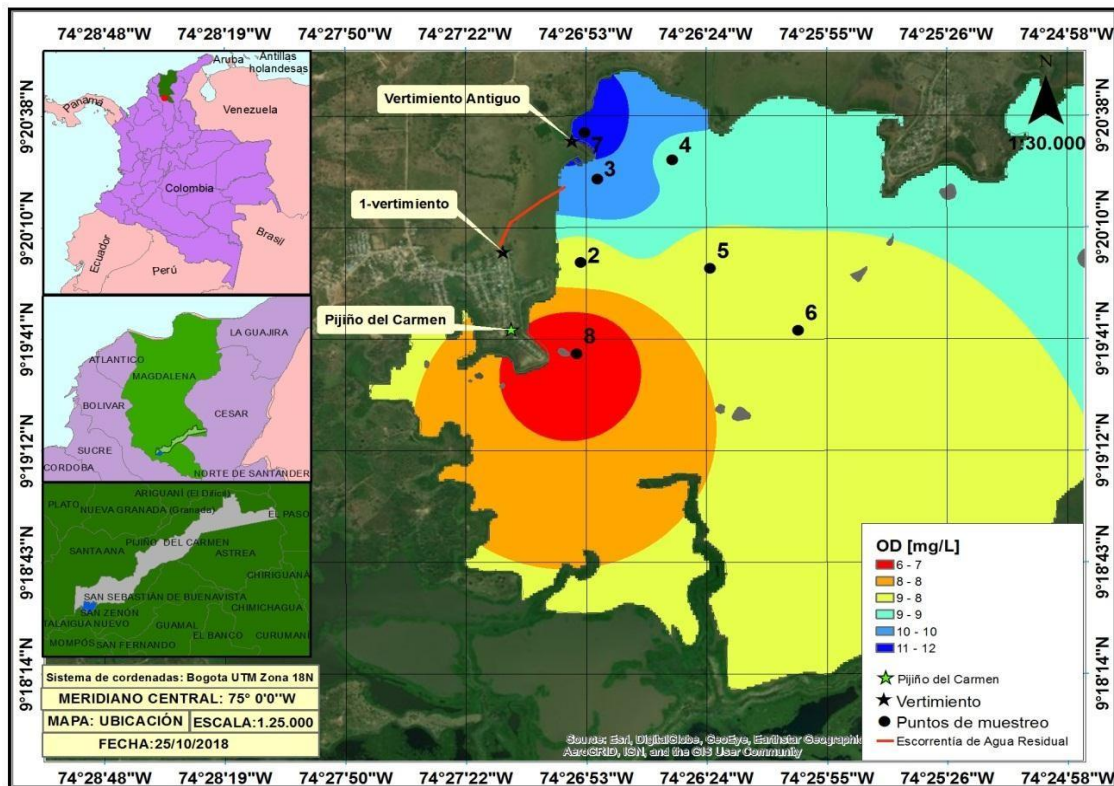


Figura 7. Concentración del oxígeno disuelto en la Ciénaga del Palmar

En la Figura 7 se ilustran las concentraciones de OD presentes en la ciénaga, la mayor concentración de OD se aprecia en el punto 7 con un rango de 11-12 mg/L. El punto 8 posiblemente presente valores bajos de OD por las actividades humanas en la zona de recreación. Por otra parte,

el agua de la ciénaga en todos los sectores cumple con el valor de >5 mg/L para el parámetro OD establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena.

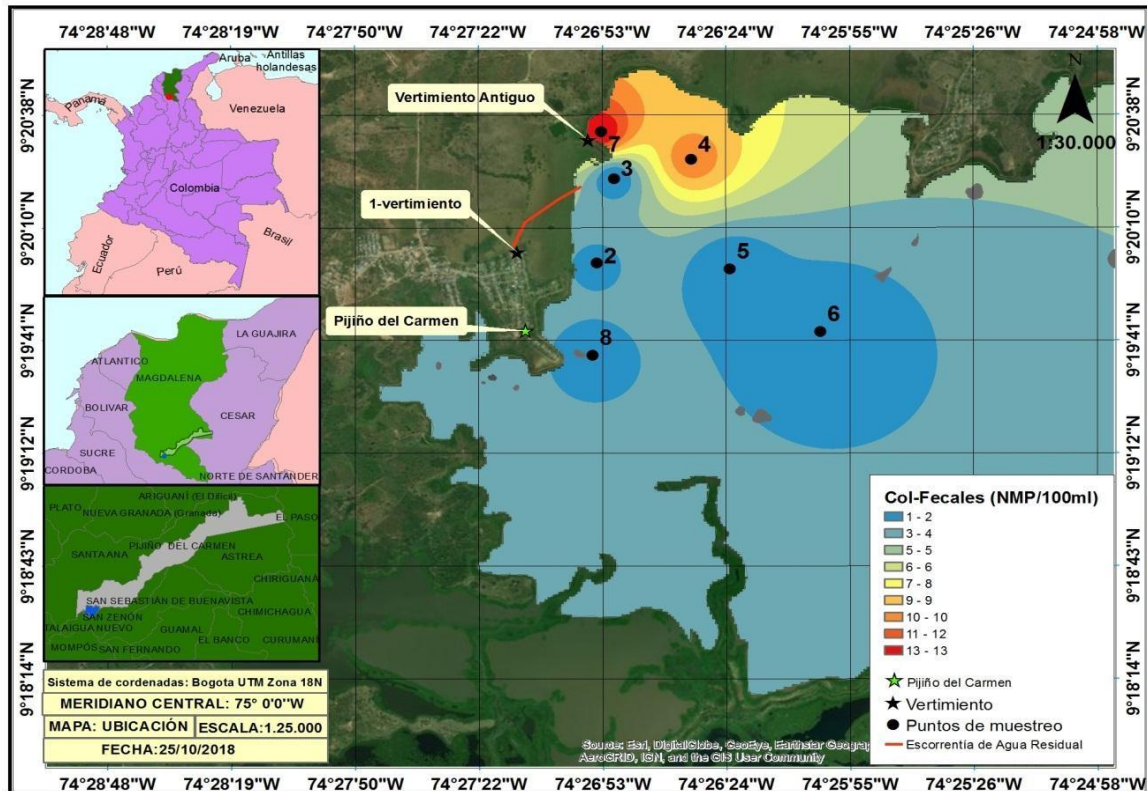


Figura 8. Concentración de coliformes fecales en la ciénaga del Palmar

En la Figura 8 se observan las concentraciones de coliformes fecales presentes en la ciénaga, se puede notar la mayor concentración de coliformes fecales en el punto 7 con un rango de 12-13 NMP/100mL, por lo cual se evidencia un grado significativo de contaminación por materia fecal en los puntos 7 y 4 con respecto a los demás puntos monitoreados, lo anterior probablemente se relacione con las actividades de vertimiento de agua residual desarrolladas anteriormente en el sector 7. Sin embargo, los coliformes fecales en la Ciénaga no sobrepasan las concentraciones recomendadas por los organismos reguladores internacionales, como la Agencia de Protección

Ambiental en EE.UU (USEPA), y el ministerio de salud de Canadá (Health Canadá), los cuales establecen como valores máximos 126 NMP/100mL y 200 NMP/100mL respectivamente (Molina-Bolívar & Jiménez-Pitre, 2017). Por otra parte, el agua de la ciénaga en su totalidad de sectores cumple con el valor de <1000-2000 NMP/100mL para el parámetro coliformes fecales establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. Con respecto a los criterios de calidad establecidos en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura para uso recreativo y potabilización el agua es apta con respecto al parámetro coliformes fecales cumpliendo con un valor bastante menor de 13 NMP/100mL al establecido de 2000 NMP/mL.

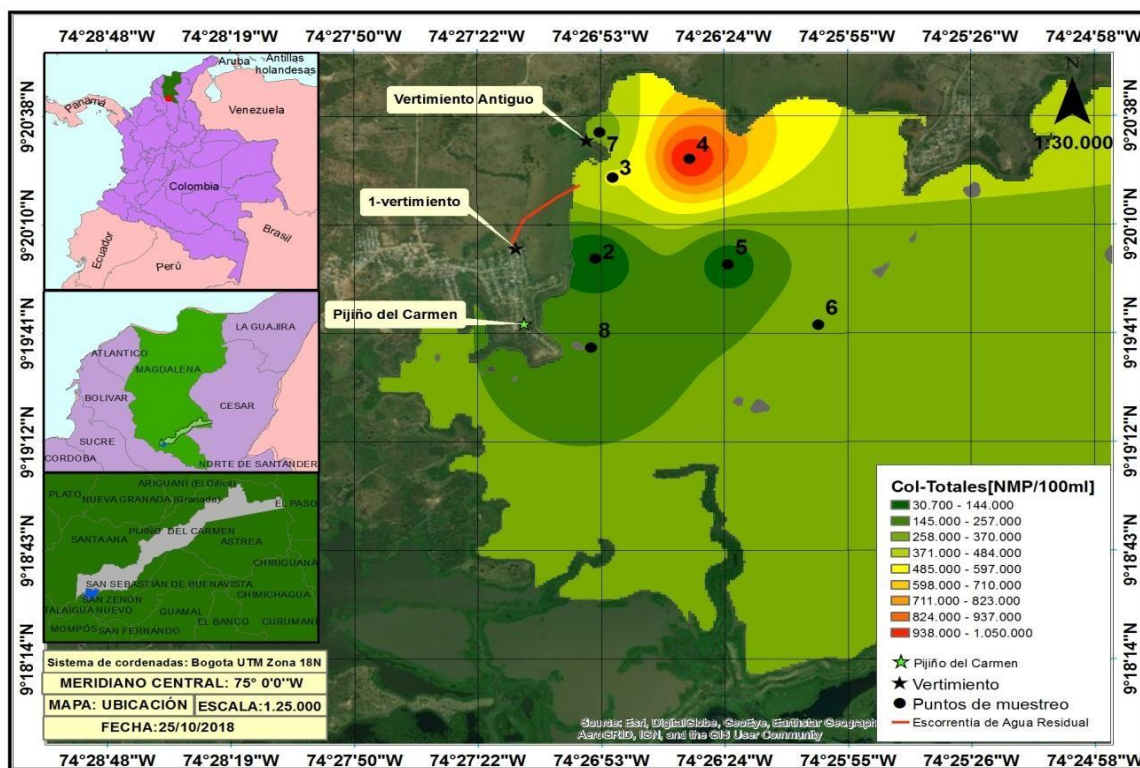


Figura 9. Concentración de coliformes totales en la ciénaga del Palmar

Se aprecia en la Figura 9 que la mayor concentración de coliformes totales está presente en el punto 4 con un rango de 938.000-1.050.000 NMP/100mL posiblemente por las actividades llevadas a cabo anteriormente en ese sector de vertimiento de agua residual. La menor concentración de coliformes totales se observan en el punto 8 posiblemente por encontrarse alejado del sector de vertimiento de agua residual. El agua de la ciénaga en la totalidad de Sectores no cumple con el valor de 5.000-20.000 NMP/100mL para el parámetro coliformes totales establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. Con respecto a los criterios de calidad establecidos en el decreto 1594 del 26 de junio de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura para uso recreativo y potabilización el agua no es apta con respecto al parámetro coliformes totales incumpliendo en su totalidad de sectores el valor establecido de 20000 NMP/mL para potabilización y 1000 para recreación NMP/mL.

En el análisis del pH se aprecia en la Figura A. 15 anexos A, el pH se mantiene constante con un valor de 6 en toda la superficie de la Ciénaga. Esto se debe a que el agua de la ciénaga no tiene aportes significativos alcalinos o ácidos por parte del vertimiento que produzcan la variación de pH. El agua de la ciénaga no cumple con el valor de 6.5-9 establecido como objetivo de calidad por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena. El agua de la ciénaga cumple con respecto al parámetro pH para uso recreacional con un valor de 6 estando en el rango de 5-9 establecido por el decreto 1594 de 1984.

En la Figura A. 16 de los anexos A se observa que las grasas y aceites se mantienen constante con un valor de <10 mg/L en toda la superficie de la Ciénaga. Por otra parte, el agua de la ciénaga cumple con el valor de < 10 mg/L para uso agropecuario, con respecto a usos de consumo humano y abastecimiento de acueducto el agua de la ciénaga no cumple con los objetivos de calidad establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena.

4.3. Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas

Se seleccionó la cepa *Chlorella Vulgaris* UTEX 1803 por ser una especie de agua dulce muy común en las fuentes hídricas de Colombia, recomendada por (ASTM, 2015) quien sugiere utilizar la *Chlorella Vulgaris* en este caso.

El montaje de la prueba con los 18 ensayos propuestos se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. Montaje de la prueba de ecotoxicología

El monitoreo del crecimiento celular durante 96 horas se llevó a cabo con la cámara Neubauer, teniéndose en cuenta posteriormente para calcular la concentración letal media (CL_{50}).

Los resultados de las densidades celulares obtenidas en los diferentes tratamientos, con cada concentración probada, para cada ensayo se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.

Densidad celular de la chlorella vulgaris en los diferentes tratamientos

Prueba de ecotoxicología del vertimiento p1 x Chlorella Vulgaris						
Fecha del experimento sept/2018						
prueba: 24/sept/2018 (vertimiento P1: duración del experimento 96 horas)						
CONTEO BRUTO						
Inóculo	Control 0%	0,01%	0,10%	1%	10%	100%
15000	21666,66	43333,33	20000	20000	26666,66	14166,66
	43333,33	73333,33	60000	50000	46666,66	16666,66
	268333,33	390000	255000	344166,67	470000	76666,66
	435000	580000	665833,33	783333,33	655000	132500
	1502666,66	1833333,33	2357500	1500000	1642500	268333,33
CONTEO LIQUIDO (Bruto-inóculo)						
	6666,66	28333,33	5000	5000	11666,67	0
	28333,33	58333,33	45000	35000	31666,67	1666,66
	253333,33	375000	240000	329166,67	455000	61666,66
	420000	565000	650833,33	768333,33	640000	117500
	1487666,67	1818333,33	2342500	1485000	1627500	253333,33
MEDIA	439200					
% MEDIA DE SUPERVIVIENCIA						
	CONTROL	0,01%	0,10%	1%	10%	100%
L						
		6,45	1,13	1,13	2,65	0
		13,28	10,24	7,96	7,21	0,379
		85,38	54,64	74,94	103,59	14,04
		128,64	148,18	174,93	145,71	26,75
		414,01	533,35	338,11	370,56	57,68
MEDIA		129,55	149,51	119,42	125,94	19,77
% DE MORTALIDAD						
	Control	0,01%	0,10%	1%	10%	100%
		0	0	0	0	81
MEDIA DE MORTALIDADES POR NUMERO DE REPLICAS						
	CONTROL	0,01%	0,10%	1%	10%	100%
		0	0	0	0	243

Con los resultados obtenidos en los ensayos de toxicidad aguda del vertimiento con *Chlorella Vulgaris* de la Tabla 6 se construyó la Tabla 7, la cual se aprecia a continuación.

Tabla 7.

Datos para el análisis probit

Concentración del agua residual (%v/v)	Log ₁₀ de la concentración (X)	Porcentaje de mortalidad (P)	Probit empírico (PE)
0	--	0	0
0,01	-2	0	0
0,1	-1	0	0
1	0	0	0
10	1	0	0
100	2	81	5,88

A partir de los datos de la Tabla 7 se obtienen realiza el análisis estadístico. Se elabora la gráfica, Log [Concentración de Agua Residual Vs unidades Probit] como se ilustra en la Figura 11. Colocando en el eje X el logaritmo de la concertación de agua residual y en el eje Y Probit empírico.

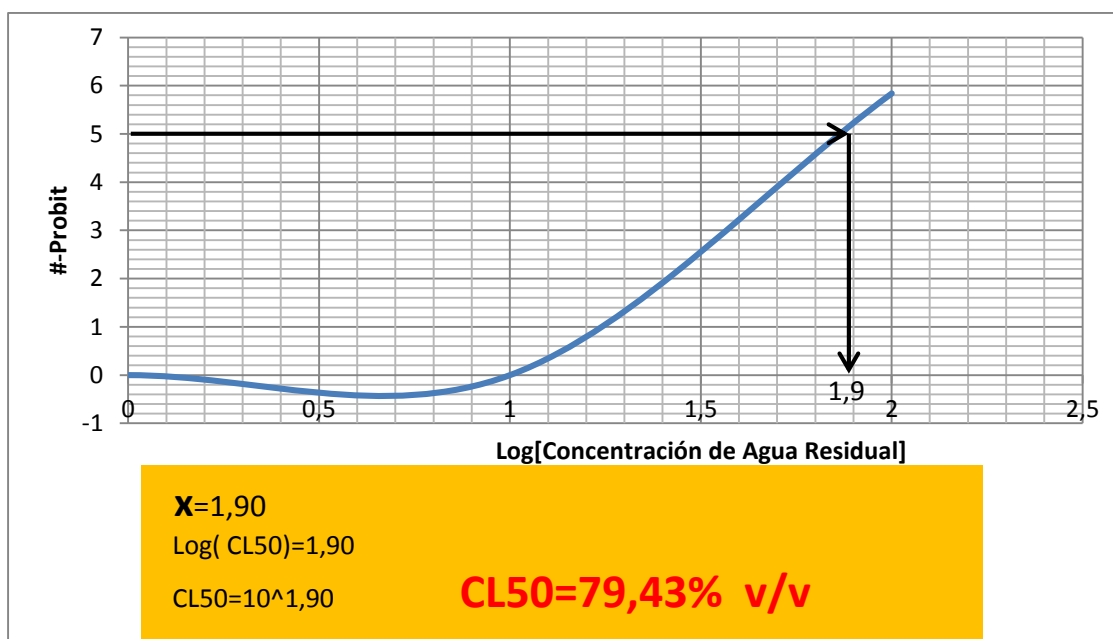


Figura 11. Log [Concentración de Agua Residual Vs unidades Probit]

En la Figura 11 se traza una línea vertical a partir del probit 5,0 donde estadísticamente se define la muerte del 50% de los microorganismos del ensayo realizado, hasta cortar el modelo generado por los datos experimentales, el valor correspondiente en el eje X le denomina x y el antilogaritmo de este valor corresponde a la contracción letal media (CL_{50}).

Según los resultados obtenidos en el análisis Probit aplicado a los datos experimentales, el valor de la concentración en donde se estableció el 50% de mortalidad de los microorganismos en un tiempo de exposición de 96 horas al agua residual, fue del 79,43% en volumen de agua residual, por lo tanto se puede inferir que la concentración letal media CL_{50} es de 79,43% en volumen.

El ensayo con mayor tasa de mortalidad fue el de 100% en volumen de agua residual, con un 81% de microorganismo muerto respecto al control. Sin embargo los ensayos con concentraciones de 0,01%, 0,1%, 1%, 10%, presentaron porcentajes de supervivencia del 129,5%, 149,5%, 119,4% y 125,9% respectivamente (ver Tabla B. 2), esto respecto al ensayo control de 0% de agua residual. Se puede afirmar que la *Chlorella Vulgaris* expuestas a soluciones diluidas de agua residual presenta un efecto favorable en su crecimiento y desarrollo. Y esta misma expuesta a soluciones concentradas de agua residual presenta efectos negativos de crecimiento y desarrollo.

5. Conclusiones

- El punto de vertimiento de agua residual del municipio de Pijiño del Carmen Magdalena solo cumple para el parámetro pH con un valor de 7. Por lo tanto el vertimiento no cumple con la resolución 0631 del 17 de marzo del año 2015 expedida por el Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para vertimientos con una carga contaminante menor que 650 kg/día.
- El agua de la ciénaga del Palmar solo cumple con los objetivos de calidad oxígeno disuelto y coliformes fecales, para los otros parámetros no cumple. Por lo tanto el agua no cumple con la Resolución N°2428 del 12 de diciembre del año 2012 expedida por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena y no es apta para el Abastecimiento de acueducto, Consumo Humano, uso Agropecuario.
- A una concentración de 79,43% v/v y un tiempo de exposición de 96 horas al agua residual se estableció el 50% de mortalidad de microorganismos, lo que permite inferir que esta es la concentración letal media CL50, Solo si el volumen de agua residual vertido supera el 80% sería altamente

Recomendaciones

- Llevar a cabo la toma de muestras en diferentes estaciones del año invierno y verano, teniendo en cuenta que el nivel de la ciénaga presenta variación en estas épocas
- Desarrollar la prueba de ecotoxicología utilizando un rango de concentraciones entre 60 y 80 por ciento en volumen de agua residual, cercanas a concentración letal media CL50
- Es importante que la administración municipal profundice más sobre el estado ambiental actual del cuerpo de agua estudiado, teniendo en cuenta que la ciénaga del Palmar es de vital importancia para el ecosistema soportado en esta y para el municipio de Pijiño del Carmen Magdalena.
- Es importante que la administración municipal de Pijiño del Carmen gestione una planta de tratamiento de aguas residuales en la cual se priorice la remoción de las altas concentraciones de materia orgánica y agentes patógenos, con el objetivo de disminuir el efecto negativo generado a la ciénaga del Palmar

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Medio Ambiente. (1998). Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante., 1–30. <https://doi.org/10.1097/PAS.0b013e3181788516>
- Aidar, E., Sigaud-Kutner, T. C. S., Bicega, M. C., Schinke, K. P., Giancesella, S. M. F., & Braga, E. S. (1999). Evaluation of produced water toxicity from an oil maritime terminal through *Skeletonema costatum* toxicity tests. *Brazilian Journal of Oceanography*, 47(2), 137–144. <https://doi.org/10.1590/S1679-87591999000200003>.
- Alcaldía Municipal Pijiño del Carmen Magdalena. (2018). Nuestro municipio - Alcaldía Municipal de Pijiño Del Carmen en Magdalena. Retrieved November 15, 2018, from <http://www.pijinodelcarmen-magdalena.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.
- Andersen, R. A. (2005). Algal Culturing Techniques. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series* (Vol. 52). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- Capó, M. M. A. (2009). Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>.
- Colombia. Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM. Guía para el Monitoreo de vertimientos, Agua superficiales y Agua Subterráneas. Bogotá D.C.: El instituto. 2002. p. 9-28.
- Colombia. Ministerio de Agricultura y Salud. Decreto 1594 (26, junio de 1984). Por el cual se reglamenta 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 de agua y residuos líquidos. Bogotá D.C.: EL MINISTERIO. En Diario Oficial No. 36700. p. 1-52.
- Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Decreto 3930 (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 09 de 1979, así como el capítulo II del título IV- Parte III-Libro II del Decreto- Ley 2011 de 1974 en cuanto a usos

del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El Ministerio. En Diario Oficial No. 47837.p. 1-29.

Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo Territorial. Resolución 0631 (17, marzo, 2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado públicos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: EL MINISTERIO. P. 1-62.

Constitución Política De Colombia 1991 Actualizada con los Actos Legislativos a 2016. (2016).

Corporación Autónoma Regional Del Magdalena. Resolución 2428(12, diciembre, 2012). Por medio de la cual se establecen objetivos de calidad para el periodo de (2013-2023). Que el director general de la Corporación Autónoma Regional de Magdalena en ejercicio de sus funciones legales conferidas por la ley 99 de 1993. SANTA MARTA.: LA CORPORACION. EN Diario Oficial No.48.839.

Esclapés, M. 1999. Protocolos estándares para bioensayos de toxicidad con especies acuáticas y terrestres. Versión 2.0. PDVSA. INTEVEP. 213pp.

Figuerola, M. J. (2007). Estudio sobre los vertimientos de aguas residuales domésticas generadas en el municipio de Charalá. Universidad Industrial de Santander.

Gómez-Rojas, Catalina; Ramírez-Riveros, E. (2008). Tesis determinación de la dosis letal 50 en *Daphnia* - UNISALLE, 208.

Gonzalez Gonzalez, L. M. (2010). Influencia de la deficiencia de nitrógeno y fósforo en las interacciones competitivas entre *Chlorella vulgaris* Y *Scenedesmus acutus*.

Gutierrez, D. L. R. (2015). Evaluación integrada de vertidos urbanos, industriales y portuarios a estuarios y zonas costeras mediante análisis químicos y medidas de efectos biológicos (una propuesta para la Directiva Marco del Agua) PhD.

Levin SA, Harwell MA, Kelly JR, Kimball KD (1989) Ecotoxicología: problemas y enfoques. En: Levin SA, Kelly JR, Harwell MA, Kimball KD (eds) Ecotoxicología: problemas y enfoques. Texto Avanzado Springer en Ciencias de la Vida. Springer, Nueva York, NY.

- Molina-Bolívar, G., & Jiménez-Pitre, I. (2017). Analysis of contamination by thermotolerant Coliform Bacteria in the estuary of the Rancheria River, La Guajira (Colombia). *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 21(2), 41–50. <https://doi.org/10.17151/bccm.2017.21.2.3>.
- Orjuela Gutiérrez, M. I., & Lizarazo Becerra, J. M. (2013). *Sistemas De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales En Colombia*. Universidad Nacional de Colombia Facultad.
- Reish, D.J and Oshida, O.S. (1987) *Manual of Methods in Aquatic Environment Research*. Part 10, Short Term Static Bioassay. *FAO Fish Tech. Pap.*, 47-52.
- Torres, G. (2014). *Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Apéndices

Apéndice A. Recopilación de información primaria



Figura A. 1. Registro fotográfico de la medición del caudal en el Punto de vertimiento



Figura A. 2. Registro fotográfico campaña de muestreo

Tabla A. 1. Inventario de Coordenadas puntos de monitoreo y justificación.

Puntos	Latitud	Longitud	Altitud	Justificación
1	9°20'03" N	74°27'12" W	18 m	Vertimiento
2	9°20'05" N	74°26'54" W	21 m	0,5 km del vertimiento
3	9°20'22" N	74°26'50" W	22 m	0,7 km del vertimiento
4	9°20'27" N	74°26'32" W	26 m	1.5 km del vertimiento
5	9°19'59" N	74°26'23" W	19 m	1.5 km del vertimiento
6	9°19'43" N	74°26'02" W	14 m	2 km del vertimiento
7	9°20'34" N	74°26'53" W	16 m	Zona recreativa
8	9°19'37" N	74°26'55" W	6 m	Vertimiento-antiguo

Análisis sólidos sedimentables.

La Figura A. 3 muestra la metodología empleada en el laboratorio para el análisis de los sólidos SSED y en la Figura A. 4 su registro fotográfico respectivamente.

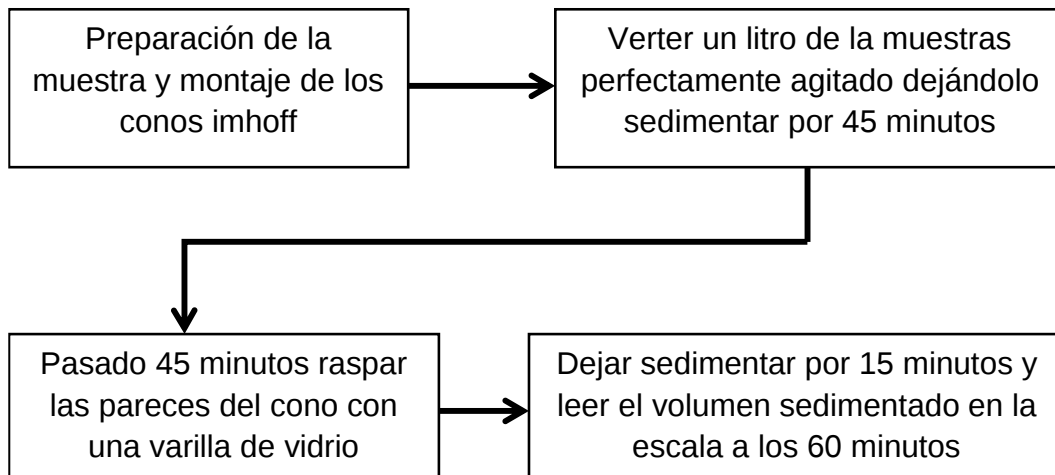
**Figura A. 3.** Metodología empleada en el análisis de SSED



Figura A. 4. Registro fotográfico análisis SSSED

Análisis de sólidos suspendidos totales.

La Figura A. 5 muestra la metodología empleada en laboratorio y la Figura A. 6 su registro fotográfico respectivamente.

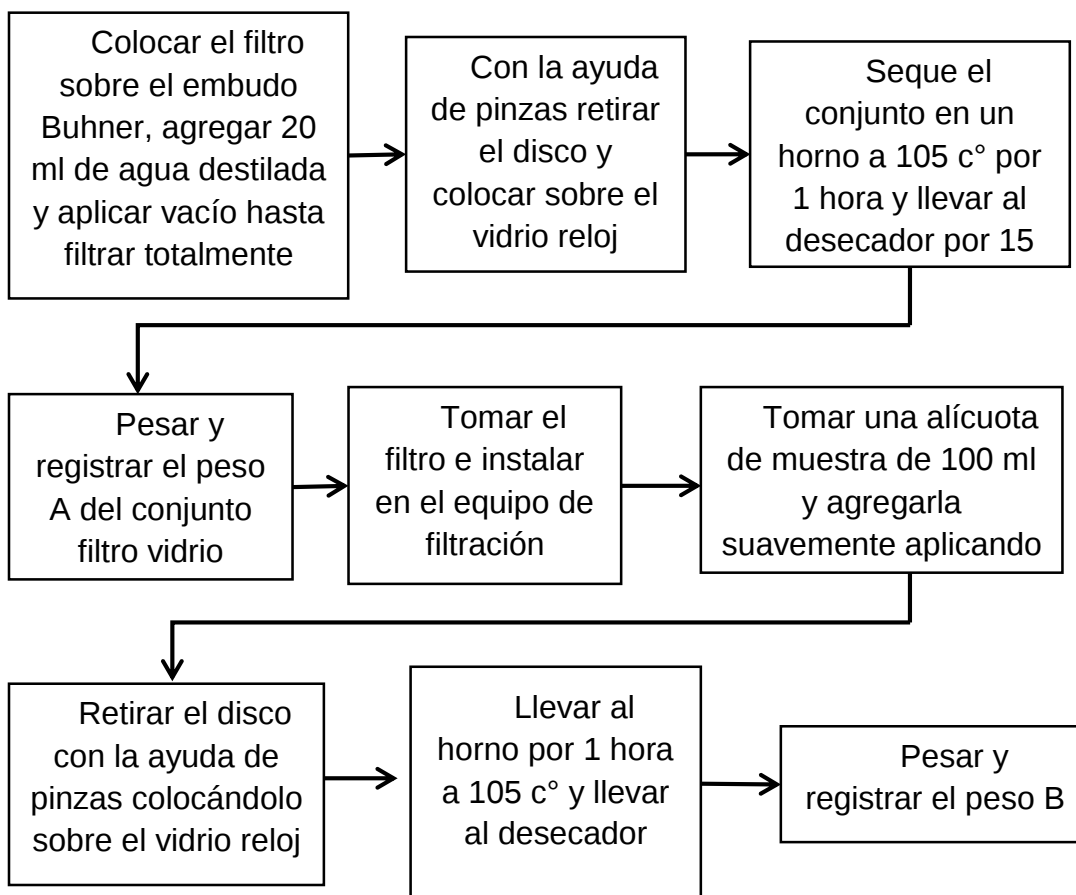


Figura A. 5. Metodología empleada en el análisis de SST.



Figura A. 6. Registro fotográfico análisis SST

Tabla A. 2. Métodos utilizados para el análisis y laboratorio

ANÁLISIS	MÉTODO	LABORATORIO
pH	TIRILLAS INDICADORA pH	M-CAMPO
Oxígeno Disuelto	METODOELECTROMETRICO YSI556	M-CAMPO
TEMPERATURA	SENTOR DE TEMPERATURA YSI556	M-CAMPO
SST	METODO GRAVIMETRICO	CIDES
SSED	METODO VOLUMETRICO	CIDES
DBO5	STANDARD METHODS 5210 B, 45000-O G	CEIAM
G y A	EXTRACCION SOXHLET STANDARD METHODS 5520 D	CEIAM
COLIFORMES FECALES	STANDARD METHODS 9221 B, C	CEIAM
COLIFORMES TOTALES	STANDARD METHODS 9223 B, C	CEIAM

Informe de resultados Laboratorios

		LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 1 de 6
Elaborado por: Yaneth Quintero		Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

INFORME DE RESULTADOS			
TÍTULO: Análisis de aguas residuales y Naturales			
FECHA			PLAN DE MUESTREO No.: ----
DD	MM	AA	
29	09	2018	
INFORMACION DEL CLIENTE			
NOMBRE		DIRECCION	TELEFONO
Pablo Martines Cortina		—	—
MUESTRA			
TIPO DE MUESTRA:		Agua Residual y Natural	
NOMBRE DE LA MUESTRA:		Punto No.1. (8:57 am), Punto No.1 (02:00 pm), Punto No.1 (08:00 pm), Punto No.2 a 0,5 Km (10:26 am), Punto No.3 a 0,5 Km (10:47 am), Punto No.4 a 1,0 Km (11:03 am), Punto No.5 a 1,0 Km (11:25 am), Punto No.6 a 2,0 Km (11:49 am), Punto No.7 Antiguo a 1,45 Km (12:27 pm), Punto No.8 Recreacional a 1,0 Km (9:56 am)	
FECHA DE RECEPCIÓN		04 de Septiembre de 2018	
PROCEDENCIA:		Vertimientos no domésticos y agua natural	
CODIGO:		18-0121, 18-0122, 18-0123, 18-0124, 18-0125, 18-0126, 18-0127, 18-0128, 18-0129, 18-0130.	
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		PR-M-01	
COTIZACIÓN No.		081	
FECHA DE ANALISIS		04 - 24 Septiembre de 2018	
TOMA DE MUESTRA			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		Muestras traídas al laboratorio	
PUNTOS DE MUESTREO		—	
FECHA DE MUESTREO		—	
TIPO DE MUESTREO		—	
INTERVALO PARA LA TOMA DE MUESTRA PUNTUAL		—	

Figura A. 7. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-1)

 		LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS		CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 2 de 6	
FORMATO INFORME DE RESULTADOS					
Elaborado por: Yaneth Quintero		Revisado por: Patricia Pico		Aprobado por: Yaneth Quintero	
ANÁLISIS DE RESULTADOS					
Punto No.1. (8:57 am)					
CODIGO LAB.	PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	
18-0121	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	109	
18-0121	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	29	
18-0121	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	3,08x10 ⁷	
18-0121	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	1,86x10 ⁷	
Punto No.1 (02:00 pm)					
18-0122	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	192	
18-0122	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	103	
18-0122	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	5,79x10 ⁷	
18-0122	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	2,91x10 ⁷	
Punto No.1 (08:00 pm)					

Figura A. 8. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-2)

		LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS		CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 Nº. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 3 de 6	
FORMATO INFORME DE RESULTADOS		Elaborado por: Yaneth Quintero		Revisado por: Patricia Pico	
Aprobado por: Yaneth Quintero					
18-0123	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	318	
18-0123	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	118	
18-0123	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	1,55x10 ⁶	
18-0123	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	5,79x10 ⁶	
Punto No.2 a 0,5 Km (10:26 am)					
18-0124	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	8	
18-0124	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10	
18-0124	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	3,05x10 ⁴	
18-0124	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	2	
Punto No.3 a 0,5 Km (10:47 am)					
18-0125	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	10	
18-0125	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10	
18-0125	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	4,88x10 ⁶	

Figura A. 9. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-3)

		LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS		CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 4 de 6
FORMATO INFORME DE RESULTADOS				
Elaborado por: Yaneth Quintero		Revisado por: Patricia Pico		Aprobado por: Yaneth Quintero
18-0125	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	<1
Punto No.4 a 1,0 Km (11:03 am)				
18-0126	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	8
18-0126	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10
18-0126	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	1,05x10 ⁶
18-0126	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	9,8
Punto No.5 a 1,0 Km (11:25 am)				
18-0127	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	5
18-0127	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10
18-0127	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	9,21x10 ⁴
18-0127	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	<1
Punto No.6 a 2,0 Km (11:49 am)				
18-0128	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	4

Figura A. 10. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-4)

		LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS		CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 5 de 6
FORMATO INFORME DE RESULTADOS		Elaborado por: Yaneth Quintero		Revisado por: Patricia Pico Aprobado por: Yaneth Quintero
18-0128	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10
18-0128	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	3,09x10 ⁶
18-0128	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	1
Punto No.7 Antiguo a 1,45 Km (12:27 pm)				
18-0129	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	8
18-0129	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10
18-0129	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	3,18x10 ⁶
18-0129	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	13,2
Punto No.8 Recreacional a 1,0 Km (9:56 am)				
18-0130	*DBO ₅	Incubación a 5 días – electrodo de membrana Standard Methods 5210 B, 4500- O G	mg/L O ₂	6
18-0130	*Grasas y Aceites	Extraction Soxhlet Standard Methods 5520 D	mg/L	<10
18-0130	**Coliformes totales	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	2,22x10 ⁶
18-0130	**E. Coli	Sustrato Definido (COLILERT®)	(NMP/100mL)	2

Figura A. 11. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-5)

	LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES CEIAM - UIS FORMATO INFORME DE RESULTADOS	CÓDIGO: F-L-25 VERSIÓN: 6 No. 036 ELABORADO: 2012 APROBADO: 2018 Página 6 de 6
Elaborado por: Yaneth Quintero	Revisado por: Patricia Pico	Aprobado por: Yaneth Quintero

*Análisis acreditado

**Análisis subcontratados

Nota: estos resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas. No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.



CLAUDIA PATRICIA PICO
Profesional Químico P.Q.1742



YANETH QUINTERO LOPEZ
Directora laboratorio P.Q.1744

FIN DEL INFORME

"Laboratorio acreditado por el IDEAM para los parámetros Alcalinidad total, Acidez, Calcio Disuelto, Cloruros, Dureza total, Dureza Cálcica, DBO, DQO, Fenoles totales, Fósforo reactivo Total, Nitratos, Nitritos, sulfatos, Sólidos suspendidos Totales, Sólidos Totales, Dureza Magnésica, Fósforo Reactivo Soluble (Equivalente a Fósforo Soluble, Fosfato soluble, Ortofosfato Soluble, Ortofosfato), Nitrógeno Amoniacal, Sólidos Disueltos, toma de muestras simple: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Sólidos sedimentables, Oxígeno Disuelto, Caudal, toma de muestra Compuesta: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Sólidos sedimentables, Oxígeno Disuelto, Corrosividad en residuos Sólidos, Corrosividad en residuos líquidos, Corrosividad en residuos Sólidos y líquidos determinación Reserva Acido – Alcalí, Corrosividad en residuos Sólidos y líquidos Método de prueba de corrosión al acero, Punto de Inflamación en Residuos Líquidos, Muestreo. Numeral 1.6.1.1 Muestras de suelos recolectadas con espátula, pala o cuchara, Numeral 1.5.14.4. Tubos de descarga o puertos de muestreo, según Resolución N° 1565".

Figura A. 12. Informe de resultados de laboratorio CEIAM, (pag-6)

Centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía					
FORMATO DE INFORME DE RESULTADOS					
Título: análisis de Aguas Residuales y Domesticas					
Fecha de Recepción: 04 de Septiembre de 2018			Fecha de Análisis: 04-24 de Septiembre de 2018		
PUNTO		PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADO
1-HORA(8am)		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	194
1-HORA(2pm)		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	354
1-HORA(8pm)		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	387
2		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	51
3		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	28
4		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	26
5		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	52
6		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	65
7		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	124
8		SST	METODO GRAVIMETRICO	mg/l	112

Figura A. 13. Informe de resultados de laboratorio CIDES, (pag-1)

Centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía			Universidad Industrial de Santander	
FORMATO DE INFORME DE RESULTADOS			Fecha:	
Título: análisis de Aguas Residuales y Domesticas			Elaborado por: PABLO MARTINEZ	
Fecha de Recepción: 04 de Septiembre de 2018		Fecha de Análisis: 04-24 de Septiembre de 2018		
PUNTO	PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADO
1-HORA(8am)	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	1,6
1-HORA(2pm)	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	4,2
1-HORA(8pm)	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	6,7
2	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0,1
3	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0,05
4	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0,1
5	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0
6	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0
7	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0,2
8	SSED	METODO VOLUMETRICO	ml/l	0,2

Figura A. 14. Informe de resultados de laboratorio CIDES, (pag-2)

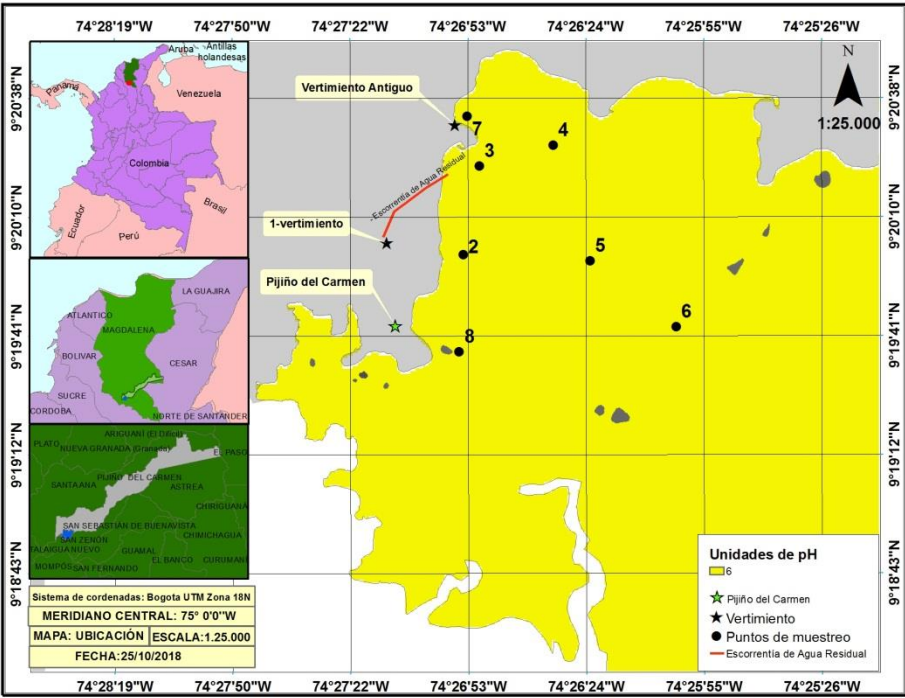


Figura A. 15. Medida del PH en la ciénaga del Palmar

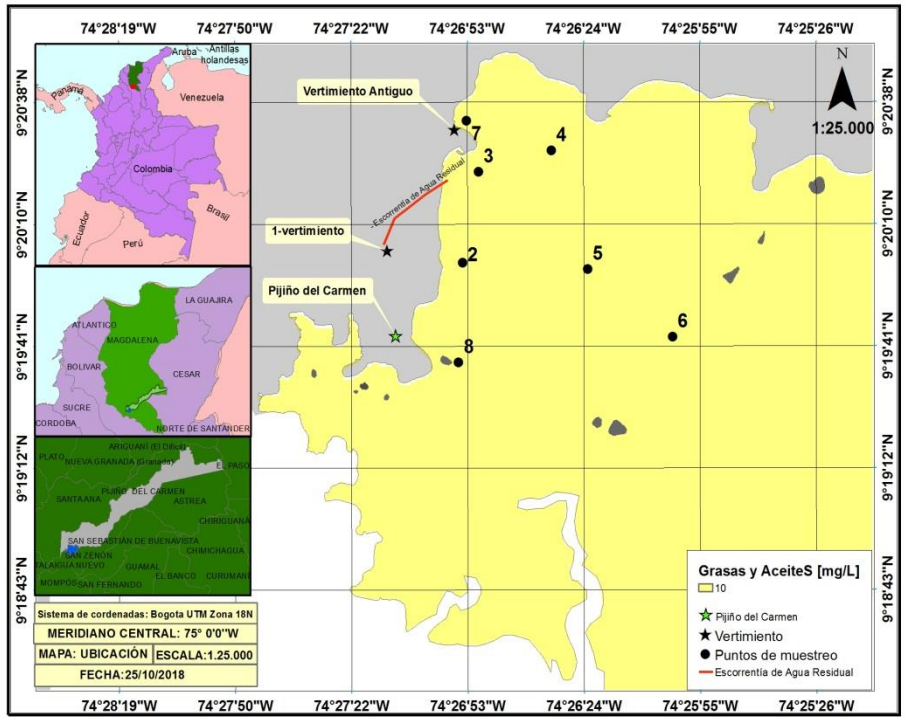


Figura A. 16. Concentración de Grasas y Aceites en la ciénaga del Palmar

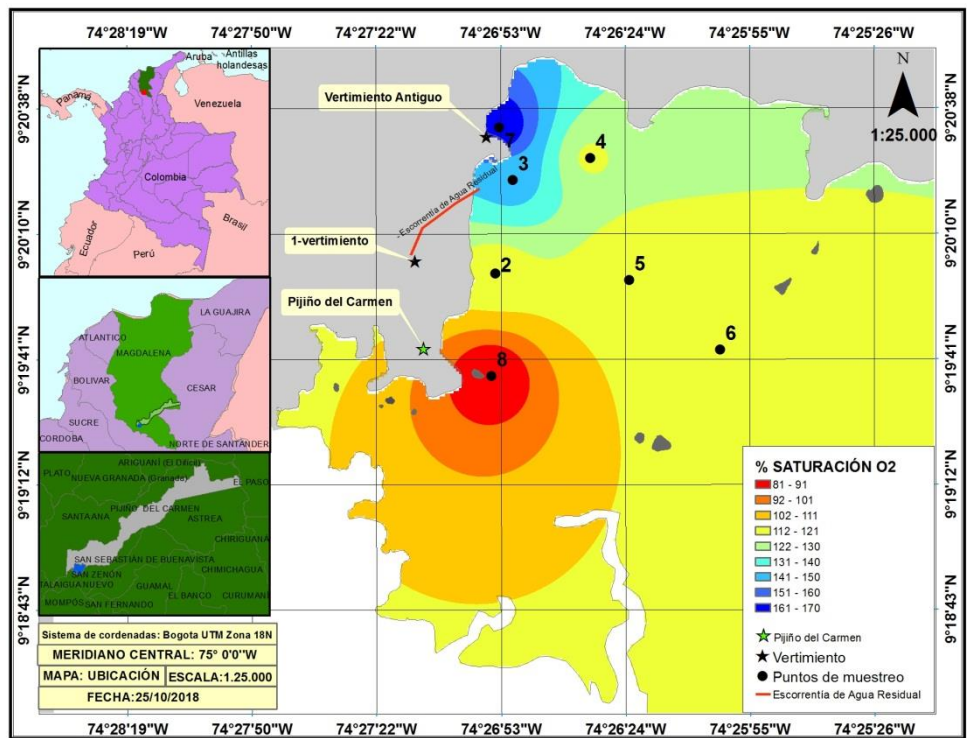


Figura A. 17. Porcentaje de saturación de oxígeno en la ciénaga del Palmar

Apéndice B. Evaluación de ecotoxicología del vertimiento mediante microalgas

Esterilización del material

Se lavaron todos los materiales (Erlenmeyer, varillas huecas, botellas, puntas), se forraron en papel aluminio y auto clavo a una temperatura de 121 °C por 90 minutos. En la Figura B. 1 se puede apreciar un registro fotográfico del proceso de esterilización.



Figura B. 1.Registro fotográfico proceso de esterilización.

Preparación del medio de cultivo

Para la preparación del medio de cultivo Bold Basal (MBB) se tomaron 10 soluciones stocks de las cuales se agregaron 10 ml de cada macronutrientes y 1 ml de cada micronutriente para luego aforar a 1 litro con agua cristal, se prepararon 9 litros de solución nutriente arrojando un pH de 6,7. Posteriormente se auto clavo siguiendo las recomendaciones de (Andersen, 2005). A

condiciones de temperatura de 121°C por 90 minutos. En la Tabla B. 1 se muestran los nutrientes utilizados.

Tabla B. 1. Micronutrientes y macronutrientes utilizados

Número de Solución Stock	Sustancia	Concentración solución Stock [g/L]	Concentración final en MBB [g/L]
Macronutrientes			
1	NaNO ₃	2,5X10 ⁻²	2,94X10 ⁻³
2	MgSO ₄ ·7H ₂ O	7,5X10 ⁻³	3,04X10 ⁻⁴
3	NaCl	2,5 X10 ⁻³	4,28X10 ⁻⁴
4	K ₂ HPO ₄	7,5X10 ⁻³	4,31X10 ⁻⁴
5	KH ₂ PO ₄	1,75X10 ⁻²	1,29X10 ⁻³
6	CaCl ₂ ·2H ₂ O	2,5 X10 ⁻³	1,70X10 ⁻⁴
Micronutrientes			
7	EDTA	5,0X10 ⁻²	1,71X10 ⁻⁴
	KOH	3,1X10 ⁻²	5,53X10 ⁻⁴
8	FeSO ₄ ·7H ₂ O	4,98X10 ⁻³	1,79X10 ⁻⁵
	H ₂ SO ₄	1,84X10 ⁻³	1,84X10 ⁻⁶
9	H ₃ BO ₃	11,42X10 ⁻²	1,85X10 ⁻⁴
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8,82X10 ⁻³	3,07X10 ⁻⁵
10	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,44X10 ⁻³	7,28X10 ⁻⁶
	MoO ₃	7,1X10 ⁻⁴	4,93X10 ⁻⁶
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	1,57X10 ⁻³	6,29X10 ⁻⁶
	Co (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	4,9X10 ⁻⁴	1,68X10 ⁻⁶

(Anders en, 2005).

Tabla B. 2. Porcentaje de mortalidad relacionado con el número probit

Table 3.2 Transformation of percentages to probits

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
—	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09