



**Estudio preliminar de la técnica de Fitorremediación en vertimientos relacionados con  
aguas residuales industriales**

**Jorge Iván Díaz Recio  
María Lupe Ospina Vargas**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD  
CEAD Palmira**

**2019**



**Estudio preliminar de la técnica de Fitorremediación en vertimientos relacionados con  
aguas residuales industriales**

**Jorge Iván Díaz Recio  
María Lupe Ospina Vargas**

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental**

**Dirigido por:  
Milton Cesar Ararat Orozco  
Ingeniero Agrónomo Ph. D.**

**Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD  
CEAD Palmira**

**2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente de Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Palmira, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo principalmente al Altísimo Señor por ser el creador de la vida, y quien me ha dotado de capacidad, aptitudes, inteligencia y perseverancia para llegar a este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por ser el pilar esencial, quienes me inculcaron principios y valores para hacer de mí una persona de bien, pero más que nada, por su amor. A mis hermanos por estar conmigo y creer en mis capacidades, los quiero mucho. A mi esposa que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme con su amor incondicional. A mis hijos que son la meta visionaria para alcanzar mis ideales de superación. A mi compañera, Lupe Ospina porque gracias a ella podemos culminar con éxitos este gran proyecto.*

*¡Dios los Bendiga siempre!*

**Jorge Iván Díaz Recio.**

## **DEDICATORIA**

*Esta lucha y este trabajo se lo dedico a mis padres Jaime Alberto y María Ismenia, siempre me inculcaron valores y me dieron un apoyo incondicional. A Juan Diego Ospina, esposo, amigo, compañero de vida y un amor eterno. A mis hermanos Laura y Cristian, mi ejemplo de vida y mi anhelo de seguir sus pasos. A mi sobrina Alison, siempre quise ser el mejor ejemplo para ti, perdón por la ausencia. A mi abuelita Aurora, mujer guerrera y motor de una familia. A mi compañero Jorge Díaz, un gran compañero de estudio desde el inicio de la carrera. Finalmente a Dios por permitirme tenerlos conmigo y cumplir este gran sueño. Todos y cada uno de ellos me han brindado sus fuerzas y me han motivado a cumplir este sueño.*

*¡Los amo!*

**María Lupe Ospina Vargas.**

## AGRADECIMIENTOS

*Al Ingeniero Milton Cesar Ararat Orozco, por ser un apoyo fundamental, y por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento profesional, para guiarme durante el desarrollo de este proyecto.*

*Al Doctor Marceliano Larrearte, por colocar la suma de sus conocimientos a favor de mi causa, porque cuando todo parecía perdido puso su mejor esfuerzo por darle un giro a la historia, con su ayuda tengo la dicha de lograr todo lo que me he propuesto.*

*Al Licenciado Edgar Mayor, por su ayuda recibida durante la etapa electiva de mi carrera, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, por haberme permitido ser parte de ella y abierto las puertas para lograr adelantar el programa de Ingeniería Ambiental, así como también a los diferentes tutores que me brindaron sus conocimientos y ayuda para seguir adelante día a día.*

*Al Empresario Rudy Aníbal Rodríguez, por su apoyo incondicional, especialmente por brindarme su confianza y permitirme crecer en diferentes aspectos de mi vida personal y laboral.*

*A mi prima María Eugenia, a mis sobrinos Juan Sebastián y Jonathan, por sus aportes, por su inmensa bondad y especialmente por haberse tomado el tiempo de ayudarme, lo que hicieron por mí fue algo muy significativo ante lo complicado que parecía lograr esta meta.*

*A todos mis familiares y amigos, por su constante apoyo moral, motivación y por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr los objetivos propuestos.*

***“Si te aferras a tu propósito lograrás hacer lo que nunca has hecho, y entonces todo fracaso o error será transformado en entendimiento y progreso”***

***Bernardo Stamateas***

**Jorge Iván Díaz Recio.**

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento al Ingeniero Milton Cesar Ararat Orozco, por mostrar un gran interés en nuestro proyecto y guiarnos de manera exitosa en este proceso.*

*Al Ingeniero Erwin Millán, más sinceros agradecimiento por dedicar gran parte de su tiempo a compartirme sus conocimientos, permitiéndome crecer profesionalmente y llegar a este punto de mi carrera. Le debo este logro.*

*A los Licenciados y esposos Laura Ospina y Leandro Loaiza, por el apoyo incondicional y la enseñanza transmitida, son los mejores docentes de inglés.*

*A todas y cada una de las personas que de una u otra manera aportaron ese granito de arena en toda mi carrera y en el proyecto, estoy eternamente agradecida.*

**María Lupe Ospina Vargas.**

 <b>UNAD</b> Universidad Nacional Abierta y a Distancia	<b>FORMATO ACTA DE SUSTENTACIÓN Y CALIFICACIÓN          OPCION DE TRABAJO DE GRADO</b>	<b>CÓDIGO:</b> F-7-9-8
	<b>PROCEDIMIENTO RELACIONADO: OPCIONES          TRABAJO DE GRADO</b>	<b>VERSIÓN:</b> 1-18-12-2017
		<b>PAGINAS:</b> Página 1 de 1

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
 ECAPMA**

El día 04/04/2019 se reunieron las personas que se relacionan a continuación:

Cargo	NOMBRE	IDENTIFICACION
Director/Asesor	MILTON CESAR ARARAT OROZCO	94325950
Jurado 1	CAROLINA HERNANDEZ RIVERA	67030482
Jurado 2 (opcional)		

Para escuchar la sustentación del trabajo de grado presentado por los estudiantes:

Identificación	94329449	Nombre	JORGE IVAN DIAZ RECIO
Programa	Ingeniería Ambiental	Centro	Palmira

Identificación	1053803611	Nombre	MARIA LUPE OSPINA VARGAS
Programa	Ingeniería Ambiental	Centro	Palmira

**Estudio preliminar de la técnica de fitorremediación en vertimientos relacionados con  
 aguas residuales industriales**

La reunión con el estudiante se realizó de forma:

<input checked="" type="checkbox"/>	Presencial, en la ciudad de	Palmira
<input type="checkbox"/>	Virtual, mediante	(Web conferencia, Skype, ...)

Realizada la sustentación, se emite la nota de la opción de trabajo de grado así:

Proyecto aplicado	X	Monografía	Porcentaje	Nota
Diplomado de profundización		(Nombre del diplomado de profundización)		
Documento o producto final			75%	4.6
Sustentación			25%	4.6
Calificación definitiva				4.6

Para constancia se firma:



JURADO 1  
**CAROLINA HERNANDEZ RIVERA**  
 CC 67030482

N/A

JURADO 2 (OPCIONAL)  
 Nombre y C.C segundo Jurado



Director/asesor de la opción de grado  
**MILTON CESAR ARARAT OROZCO**  
 CC 94325950

## RESUMEN

El estudio está encaminado a demostrar la eficiencia que pueda tener un sistema de Fitorremediación en vertimientos industriales, en cuanto a la disminución de la carga contaminante de las aguas residuales provenientes de la empresa QBCo S.A.S. sección fábrica de salsas; estas aguas finalmente son dispuestas en una acequia adyacente a la empresa que a su vez vierte sus aguas al Rio Cauca, que es una de las fuentes hídricas más contaminadas del Departamento debido al desarrollo de diferentes actividades industriales. Como elemento descontaminante se empleó plantas de la especie *Acrostichum aureum* (Helecho de playa).

Los helechos al igual que las demás plantas cumplen funciones medioambientales diversas. Algunos helechos que se han caracterizado por su utilización en el control medioambiental incluyen a *Dennstaedtia glauca*, que se utiliza como fertilizante en las vertientes húmedas andinas, el género *Azolla*, que se utiliza como abono, para nutrir de Nitrógeno a las tierras aledañas de los cultivos, los géneros *Pteris* (como *P. vittata*) y *Pityrogramma*, que se utilizan como Fitorremediadores para controlar la contaminación del agua, por medio de la absorción de arsénico y selenio, etc. (Rathinasabapathi *et al.*, 2006).

“Las técnicas de Fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable, que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente” (EPA, 1996). En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales (Peña, 2013).

El desarrollo de la actividad se realizó dentro de las instalaciones de la empresa, mediante la respectiva caracterización en cuatro pasos básicos: colecta de muestras y medición de parámetros, preservación y transporte de muestras, análisis de las muestras en laboratorio y procesamiento de la información. Posteriormente se realizaron los respectivos estudios fisicoquímicos y microbiológicos para definir el nivel de descontaminación que se presenta en el agua antes y después del procedimiento; los resultados demuestran la eficiencia del sistema, como también determinan el uso de esta agua después de haberse realizado el tratamiento.

**PALABRAS CLAVE:** Fitorremediación, Vertimientos, Industriales, Agua, *Acrostichum Aureum*, Helecho de playa.

## ABSTRACT

The study is aimed at demonstrating the efficiency of Phytoremediation system in industrial discharges, in terms of the reduction of the polluting load given by wastewater coming from the company QBCo S.A.S. sauces factory section; these waters will finally be disposed in a ditch adjacent to the company that in turn pours its waters into the Cauca River, which is one of the most polluted water sources in the Department due to the development of different industrial activities. As an unpolluting agent, plants of the species *Acrostichum aureum* (beach fern) will be used.

Ferns, like other plants, have diverse environmental functions. Some ferns that have been characterized by their use in environmental control include *Dennstaedtia glauca*, which is used as fertilizer in the humid Andean slopes, the genus *Azolla*, which is used as fertilizer, to nourish Nitrogen to the surrounding lands of crops, the genera *Pteris* (such as *P. vittata*) and *Pityrogramma*, which are used as Phyto-remediators to control water pollution, through the absorption of arsenic and selenium, etc. (Rathinasabapathi *et al.*, 2006).

“Phytoremediation techniques are characterized by being a passive and aesthetically pleasing cleaning practice, which take advantage of plant capacity and solar energy for the treatment of a wide variety of environmental pollutants” (EPA, 1996). In this technique the plants act as traps or biological filters that decompose the contaminants and stabilize the metallic substances present in the soil and water by fixing them in their roots and stems, or metabolizing them as microorganisms do to finally turn them into less dangerous compounds and more stable, such as carbon dioxide, water and mineral salts (Peña, 2013).

The development of the activity is carried out within the company's facilities, through the respective characterization in four basic steps: collection of samples and measurement of parameters, preservation and transport of samples, analysis of samples in the laboratory and processing information. Subsequently, the respective physicochemical and microbiological studies will be carried to define the level of decontamination that occurs in the water before and after the procedure; the results show the efficiency of the system, as they also determine the use of this water after the treatment has been carried out.

**KEY WORDS:** Phytoremediation, Shedding, Industrial, Water, *Acrostichum aureum*, Beach fern.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	6
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	9
4.1    Objetivo General .....	9
4.2    Objetivos Específicos .....	9
<b>5. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO</b> .....	10
5.1    Composición de las Aguas Residuales.....	10
5.2    Definición de los Parámetros .....	12
5.3    Características Físico-Químicas del Agua .....	14
5.3.1 Físicos .....	15
5.3.2 Químicos .....	15
5.3.3 Gases disueltos .....	16
5.3.4 Biológicos .....	16
5.3.5 Materia orgánica .....	16
5.3.6 Materia inorgánica.....	17
5.3.7 Gases.....	17
5.4    Marco Legal .....	19
5.5    Remoción de la Contaminación .....	21
5.6    Fitorremediación Concepto y Mecanismos.....	21
5.6.1 Fitoestabilización.....	22
5.6.2 Rizofiltración.....	22
5.6.3 Fitoextracción .....	23
5.6.4 Fitovolatilización.....	24
5.6.5 Fitodegradación .....	24
5.6.6 Fitoinmovilización.....	24
5.7    Efectos de la Fitorremediación en Agua .....	25
5.8    Características de la Especie Fitorremediadora.....	25
5.8.1 Plantas hiperacumuladoras .....	25
5.8.2 <i>Acrostichum aureum</i> .....	26
5.8.2.1 Producción de semillas y establecimiento.....	26

5.8.2.2	Proceso de propagación.....	30
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	<b>31</b>
6.1	Caracterización Temporal del Agua Residual No Domestica con Carga Contaminante .....	31
6.1.1	Localización geográfica y características generales de la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S. ....	31
6.1.2	Determinación general de las producciones en la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S. ....	32
6.1.3	Diagrama de flujo de producción .....	32
6.1.4	Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales no domesticas .....	33
6.1.5	Toma de muestras y caracterización de parámetros .....	35
6.1.6	Preservación y transporte de muestras.....	35
6.1.7	Análisis de muestras en laboratorio.....	35
<b>7.</b>	<b>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	<b>37</b>
7.1	Identificación Botánica de la Especie Vegetal Implicada en la Fitorremediación. ....	37
7.1.1	Clasificación biológica .....	37
7.1.2	Nombres comunes .....	38
7.1.3	Origen y distribución.....	38
7.1.4	Bio indicadora de suelos salinos y ácidos .....	38
7.1.5	Descripción botánica .....	39
7.1.5.1	Forme de vida .....	39
7.1.7.2	Raiz.....	39
7.1.7.3	Tallo.....	40
7.1.6	Estructura fisiológica dual.....	41
7.1.6.1	Frondas .....	41
7.1.6.2	Reproducción.....	42
7.1.6.3	Crecimiento.....	43
7.1.6.4	Ciclo de vida.....	43
7.1.7	Ecología .....	43
7.1.7.1	Habitat y condición invasora .....	43
7.1.7.2	Tolerancia a la salinidad .....	44
7.1.8	Histología y Organografía .....	44

7.1.8.1	Caracterización e identificación de tejidos .....	44
7.1.9	Resultados histológicos .....	44
7.1.9.1	Caracterización epidérmica .....	44
7.1.9.2	Caracterización parenquimática y mecánica .....	45
7.1.9.3	Caracterización peciolar .....	46
7.1.9.4	Caracterización xilemática y floemática.....	47
<b>8.</b>	<b>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO .....</b>	<b>49</b>
8.1	Comparar Parámetros Químicos del Agua de Vertimiento con la Técnica de Fitorremediación .....	49
8.1.1	Materiales y métodos.....	49
8.1.1.1	Materiales .....	49
8.1.1.2	Metodología.....	50
8.1.1.3	Pasó a paso del montaje.....	50
8.1.1.4	Muestreo de agua.....	52
8.1.1.5	Comparación de parámetros .....	53
8.1.1.6	Análisis de los resultados del proyecto.....	57
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>11.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>76</b>
<b>12.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>94</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parametros fisicoquimicos a monitorear. Fuente: Minambiente .....	20
<b>Tabla 2.</b> Metodos para análisis utilizados en el laboratorio. Fuente: Empresa multipropósito de Calarcá S.A.S. ESP .....	36
<b>Tabla 3.</b> Materiales para el montaje. Fuente: Autores .....	49
<b>Tabla 4.</b> Control pH y temperatura. Fuente: Autores.....	52
<b>Tabla 5.</b> Valores iniciales y finales del muestreo. Fuente: Autores.....	54
<b>Tabla 6.</b> Valores del porcentaje de remocion. Fuente: Autores .....	56
<b>Tabla 7.</b> Valores de DQO. Fuente: Autores .....	62
<b>Tabla 8.</b> Valores de DBO <sub>5</sub> . Fuente: Autores .....	63
<b>Tabla 9.</b> Valores típicos de la DBO <sub>5</sub> . Fuente: Autores .....	64
<b>Tabla 10.</b> Valores de SST. Fuente: Autores.....	65
<b>Tabla 11.</b> Valores Grasas y aceites. Fuente: Autores.....	66
<b>Tabla 12.</b> Valores de Nitrógeno Total. Fuente: Autores .....	68
<b>Tabla 13.</b> Valores de Fosforo Total. Fuente: Autores.....	70

## INDICE DE GRAFICAS

<b>Grafica 1.</b> Resultado análisis inicial. Fuente: Autores.....	58
<b>Grafica 2.</b> Resultado análisis final. Fuente: Autores .....	58
<b>Grafica 3.</b> Porcentajes de remoción de contaminantes. Fuente: Autores.....	59
<b>Grafica 4.</b> Resultado del comportamiento del pH. Fuente: Autores.....	60
<b>Grafica 5.</b> Resultado DQO. Fuente: Autores .....	62
<b>Grafica 6.</b> Resultado DBO <sub>5</sub> . Fuente: Autores .....	63
<b>Grafica 7.</b> Resultado SST. Fuente: Autores .....	65
<b>Grafica 8.</b> Resultado Grasas y aceites. Fuente: Autores .....	67
<b>Grafica 9.</b> Resultado Nitrógeno total. Fuente: Autores .....	68
<b>Grafica 10.</b> Resultado Fosforo Total. Fuente: Autores.....	70

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Resultados físico – químicos del agua de procesos varios. Fuente: Romero <i>et al</i> .....	18
<b>Figura 2.</b> Imagen del <i>Acrostichum aureum</i> (Helecho de playa). Fuente: Autores.....	27
<b>Figura 3.</b> <i>Acrostichum aureum</i> en manglar de agua dulce. Fuente: Hernández, S. M.....	28
<b>Figura 4.</b> <i>Acrostichum aureum</i> establecido en sedimentos de playa. Fuente: Hernández, S. M.	29
<b>Figura 5.</b> <i>Acrostichum aureum</i> proceso de propagación. Fuente: Autores .....	30
<b>Figura 6.</b> Ubicación geográfica de la empresa QBCo S.A.S. Fuente: Google Earth.....	31
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de producción en la planta QBCo S.A.S. Fuente: Autores .....	33
<b>Figura 8.</b> Toma de muestra simple en la bomba. Fuente: Autores .....	34
<b>Figura 9.</b> Agua residual – vertimientos de la empresa QBCo S.A.S Fuente: Autores .....	34
<b>Figura 10.</b> Raíces adventicias. Fuente: @lupafilotaxia .....	40
<b>Figura 11.</b> Tallos con crecimiento indefinido. Fuente: @lupafilotaxia.....	40
<b>Figura 12.</b> Pinnas de frondas. Fuente: @lupafilotaxia.....	41
<b>Figura 13.</b> Zona apical fronda y descripción del envés reproductivo. Fuente: @lupafilotaxia ...	42
<b>Figura 14.</b> Sección transversal de fronda y ubicación de la epidermis cutinizadas y alargadas <i>Acrostichum aureum</i> . Fuente: @lupafilotaxia .....	45
<b>Figura 15.</b> Estomas anomocíticos y forma del aparato estomático hipostomático <i>Acrostichum aureum</i> . Fuente: @lupafilotaxia .....	46
<b>Figura 16.</b> Sección transversal del peciolo y epidermis de forma hexagonal y haz vascular <i>Acrostichum aureum</i> . Fuente: @lupafilotaxia .....	47
<b>Figura 17.</b> Sección transversal raíz adventicia, epidermis, corteza esclerenquimática, médula, haz vascular (Xilema y Floema), cámaras arenquimáticas <i>Acrostichum aureum</i> . Fuente: @lupafilotaxia.....	48
<b>Figura 18.</b> Construcción del sistema, posteriormente se controla pH. Fuente: Autores.....	50
<b>Figura 19.</b> Sistema de tratamiento en funcionamiento. Fuente: Autores.....	51
<b>Figura 20.</b> Control semanal del pH y la Temperatura inicial, durante y finalizado el proceso de tratamiento. Fuente: Autores.....	51
<b>Figura 21.</b> Agua de salida del sistema de tratamiento. Fuente: Autores.....	60

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultados de laboratorio análisis inicial.....	94
<b>Anexo 2.</b> Resultados de laboratorio análisis final .....	95
<b>Anexo 3.</b> Acreditación del laboratorio encargado de realizar los estudios.....	96
<b>Anexo 4.</b> Registro fotográfico. ....	98
<b>Anexo 5.</b> Cronograma.....	100

## 1 INTRODUCCIÓN

Según Becerril (2009) el agua es fundamental en los procesos industriales, ya sea como vehículo energético, de transporte, disolvente, en operaciones de lavado, intercambiadores de calor, etcétera. De esta forma, la contaminación industrial es la más diversa y a pesar de constituir fuentes generalmente puntuales, los vertimientos comúnmente no se tratan, de hecho, el 70 por ciento de los residuos industriales son vertidos sin tratamiento previo. La presión que genera la industria sobre el agua está más relacionada con los impactos de las descargas de aguas residuales, que con la cantidad de agua requerida en los procesos de producción.

La contaminación industrial se caracteriza por su variedad de contaminantes, puede aportar contaminantes orgánicos, pero también industrias como la del petróleo, el acero y la minería representan el mayor riesgo en la liberación de metales pesados o compuestos tóxicos, sustancias persistentes y bioacumulables, que son transportadas a través del agua o la atmósfera, que además del peligro que representa para la salud humana y el ecosistema, se han encontrado alojadas en el tejido de peces y otras especies dulceacuícolas de importancia comercial, relevantes para la alimentación (Becerril, 2009).

La empresa QBCo S.A.S durante la elaboración de productos alimenticios genera una carga contaminante con un caudal máximo de vertimiento de 0,56 L/s, esta agua residual en su mayor parte proviene principalmente de la limpieza de equipos, máquinas, uso doméstico, procesos de producción, materias primas y aseo en general; por lo que contienen restos de productos alimenticios y productos químicos (ácidos, detergentes, desinfectantes, etc.) (QBCo S.A.S., 2018).

Si no se recupera de forma adecuada esta agua, las sustancias presentes se convierten en un mayor problema debido a la introducción de contaminantes por vertimientos incontrolados de uso industrial, ocasionando un impacto a corto y largo plazo sobre el Rio Cauca como fuente receptora, por la generación de problemas Ambientales como la alteración en las fuentes hídricas y problemas de salubridad como enfermedades digestivas y aparición de vectores, que por su acumulación se convierten en impactos graves para la salud y el medio ambiente (QBCo S.A.S., 2018).

Este proyecto hace parte de las actividades del semillero de investigación SIPAS (Semillero investigación en producción agropecuaria sostenible) de la ECAPMA.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia, Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2001), el vertimiento incontrolado de residuos líquidos ha ocasionado el deterioro de los principales ríos y cuerpos de agua del país. Son diferentes las fuentes que contribuyen al incremento constante de la contaminación hídrica, pero los principales son los sectores agropecuario, industrial y doméstico, que en conjunto generan aproximadamente 9.000 toneladas diarias (ton/d) de materia orgánica contaminante, en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Según el primer Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (WWDR), la utilización del agua en los procesos de fabricación, a menudo en grandes cantidades, es muy corriente (para lavar, cocinar, enfriar, etc.). Luego, se devuelve a los sistemas locales. Ahora bien, el agua vertida por las industrias puede ser de muy mala calidad y, a no ser que se la trate de forma adecuada, es una amenaza para las aguas superficiales y subterráneas en las que se vierte. La industria puede constituir una amenaza crónica debido al vertido constante de efluentes, o bien una amenaza crítica si, por un fallo accidental, se genera una contaminación intensa en un período corto.

En uno de los informes presentados en el Segundo Foro Mundial del Agua realizado en el año 2000 en La Haya, señala que al entorno natural se descargan casi 4.500.000 m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas e industriales, y la mayoría de los municipios no cuentan con plantas para su

tratamiento, donde puntualmente, en la capital Colombiana se cuenta con una planta de tratamiento que solo procesa el 20% de lo que producen los habitantes (Beleño, 2011).

Según estudio realizado en el año 2010 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), denominado Estudio Nacional de Agua que se realiza cada cuatro años, la mayor parte del sistema hídrico andino colombiano se ha alterado debido al transporte de sedimentos y sustancias tóxicas, con una incidencia marcada de los corredores industriales ubicados en las cuencas de los corredores Bogotá–Soacha, Medellín–Itagüí, Cali–Yumbo, Sogamoso–Duitama–Nobsa, Barranquilla–Soledad y Cartagena–Mamonal, lo que afecta gravemente la calidad del líquido en los ríos Magdalena, Medellín, Bogotá y Cauca (Beleño, 2011).

Un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de  $67\text{m}^3/\text{s}$ , en donde Bogotá representa más del 15.3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas, y marca una tendencia de impacto en las regiones (Minambiente, 2004).

Según la Corporación Autónoma Regional del Valle - CVC (2010) al Río Cauca lo mata de a poco la contaminación. Por lo menos 4000 viviendas y negocios instalados sobre su margen de protección tiran directamente sus desechos a su cauce, según datos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, organizaciones como la Fundación Río Cauca (dedicada a rastrear los males que aquejan al río) estiman que son dos metros cúbicos por segundo de vertimientos los que caen al afluente sin ningún control. Eso, haciendo cuentas, equivale a 2000 litros de

podredumbre, compuesta por nitrito, fósforo y metales que resultan de actividades agrícolas, de porcicultura, de transformación de plástico y reciclaje, que le roban el oxígeno y la vida al Cauca en los 30 kilómetros de camino entre el corregimiento de El Hormiguero hasta la desembocadura del Río.

### 3 JUSTIFICACIÓN

En Colombia, la calidad de los vertimientos ha cambiado últimamente, de una forma acelerada con la llegada de la industrialización. Como resultado de la gran variedad de procesos industriales, se ha iniciado la producción de aguas residuales de diverso tipo, lo que requiere tratamientos más complejos que han ido apareciendo sucesivamente. El tratamiento de aguas residuales actualmente conlleva a múltiples procesos, equipos y operaciones unitarias. El concepto de operaciones unitarias, desarrollado fundamentalmente en la ingeniería a lo largo de los últimos 50 años, constituye la llave de la aproximación científica a los problemas de diseño que se encuentran en el tratamiento de aguas residuales (Romero, 2004).

Según Rodríguez (2011) una de las preocupaciones de carácter nacional e internacional es el mal manejo de los residuos descargados en los cuerpos de agua sin ningún tratamiento, lo que ha disminuido la calidad de la oferta hídrica en las diferentes localidades y por ende desmejorado las condiciones de vida de la población por la inadecuada recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales domésticas.

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. Un inadecuado manejo de los vertimientos trae como consecuencias impacto ambiental localizados, generalizados en el recurso hídrico, en su biota:

flora, fauna, microflora, microfauna; impacto en la salud pública, degradación del paisaje por su alteración visual y olfativa (Rodríguez, 2011).

Según la Corporación Autónoma Regional del Valle - CVC (2007) en Colombia el Río Cauca es la segunda arteria fluvial, tributaria del Río Magdalena que a su vez entrega sus aguas al mar Caribe. Tiene una longitud aproximada de 1360 Km. y atraviesa 9 departamentos del país, Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar. En la cuenca del Río Cauca se encuentran localizados un gran número de centros poblados y también se lleva a cabo actividad industrial, agrícola, pecuaria y minera con alta incidencia en la economía del país y en el deterioro de la calidad del agua.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca afirma, que al Río Cauca y sus afluentes descargan aguas residuales domésticas de todas las poblaciones ubicadas a lo largo de su recorrido. El crecimiento industrial también contribuye con una alta cuota al deterioro ambiental. Pese a disposiciones legales, tanto las industrias oficiales como privadas, continúan descargando en los ríos toneladas de basura, aguas negras, desechos industriales y pesticidas residuales. Los efectos de esta contaminación sobre la biota acuática son impresionantes, como lo demuestra la frecuente muerte de peces originada en la zona industrial Cali-Yumbo, sector en donde se encuentra el mayor número de fábricas (CVC., 2007).

Según la Corporación Autónoma Regional del Valle - CVC (2007) el Río Cauca ha sido eje de desarrollo del departamento del Valle del Cauca, constituyéndose en una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para las diferentes actividades; que igualmente vierten volúmenes

significativos de aguas residuales, las cuales afectan la calidad, limitando su uso y deteriorando el valor ecológico del recurso hídrico.

En octubre de 1969 EMCALI entregó un estudio sobre la composición de los desechos industriales vertidos al sistema de alcantarillado de Cali. El estudio concluyó que la contribución total de la industria llegaba al 30 % de la contaminación generada por los habitantes de la ciudad (Corporación Autónoma Regional del Valle - CVC. 2007). Este deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. (Geneviève, 2008).

Contar con un estudio de Fitorremediación es importante porque permite la determinación de métodos que pueden garantizar un medio ambiente apto para las comunidades. Desde este punto de vista personal y profesional el proyecto es de gran conveniencia, porque posibilita la exposición real de procedimientos sencillos, no muy costosos y amigables con el ambiente, mediante la aplicación de conocimientos, habilidades, talentos y capacidades, ante una problemática ambiental considerable, realizando un gran aporte social.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Implementar la técnica de Fitorremediación en vertimientos relacionados con aguas residuales industriales, con el fin de identificar la adaptabilidad de una especie vegetal y la relación con la remoción de contaminantes.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Caracterización temporal de la calidad de las aguas residuales industriales provenientes de procesos alimenticios, para obtener valores exactos y comparar en los correspondientes monitoreos.
- Identificación botánica de la especie vegetal implicada en la Fitorremediación para precisar la compatibilidad, crecimiento y desarrollo con el ambiente donde se adelanta el proceso.
- Comparar parámetros físico - químicos del agua de vertimiento con la técnica de Fitorremediación, para estimar una aproximación a la eficiencia del procedimiento en cuanto a la remoción de los contaminantes.

## 5 MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

### 5.1 Composición de las Aguas Residuales

Según QBCo S.A.S. (2018) los contaminantes habituales 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 natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (QBCo S.A.S., 2018).

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética. La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia extractable con hexano (QBCo S.A.S., 2018).

Según QBCo S.A.S. (2018) las aguas residuales domesticas tienen características y composición propia, estas han sido ampliamente estudiadas, por lo que se puede saber de antemano que componenetes se deben analizar para cuantificar su magnitud y por ende, su potencial poder contaminante; entre los componentes más relevantes encontramos: DBO, DQO, SST, Grasas y aceites, así como también se encuentran en cantidades considerables compuestos de Fosforo y Nitrógeno.

En cuanto a las aguas residuales industriales, su composición es muy variable, y depende directamente de la naturaleza del proceso que la origina, así por ejemplo, en el efluente de una planta de sacrificio, se espera encontrar gran cantidad de materia orgánica, mientras en un proceso de fabricación de cemento lo más relevante pueden ser los sólidos y el pH. Esta variabilidad en cuanto a las sustancias de interés sanitario para cada empresa se encuentra contemplado en la legislación colombiana mediante el Código CIU (Espigares, s.f).

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2009) el código CIU es la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (revisión 4 adoptada para Colombia) que tiene como propósito agrupar todas las actividades económicas similares por categorías, permitiendo que todos los empresarios puedan clasificarse dentro de las actividades muy específicas que facilitan el manejo de la información para el análisis estadístico y económico empresarial.

## 5.2 Definición de los Parámetros

**pH:** es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua (Lenntech., s.f).

**DQO:** “determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo” (Vives., s.f).

**DBO<sub>5</sub>:** es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, determinar la cantidad de oxígeno requerido con el propósito de estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Garay *et al.*, 2003).

**SST:** “hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual” (Pedraza *et al.*, 2017).

**Solidos Sedimentables:** “materia en el agua residual que no permanece en suspensión durante un período predeterminado, por ejemplo 1 hora, sino que se deposita en el fondo” (Garay *et al.*, 2003).

**Grasas y Aceites:** “las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo” (Rodier, 1981).

**Cloruros:** “son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje” (Garay *et al.*, 2003).

**Sulfatos:** son las sales o los ésteres del ácido sulfúrico. Es la sal que se obtiene a partir del Ácido sulfúrico y un radical mineral u orgánico. Contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno (Pedraza *et al.*, 2017).

**Cadmio:** “puro es un metal blando de color plateado. El cloruro de cadmio y el sulfato de cadmio son solubles en agua” (Garay *et al.*, 2003).

**Cinc:** “los minerales del cinc más significativos son la esfalerita ( $ZnS$ ) y smithsonita ( $ZnCO_3$ ). Estos compuestos van a parar al agua cuándo se encuentran cercanos minerales de este tipo” (Pedraza *et al.*, 2017).

**Cobre:** “derivado de reacciones de corrosión/lixiviación del material de las cañerías, destacándose la importancia de algunos parámetros de calidad de aguas como pH, dureza y contenido de materias orgánicas naturales en estos procesos” (Rodier, 1981).

**Mercurio:** en el agua, se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos,

puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como peces, aves rapaces e incluso al hombre (Garay *et al.*, 2003).

**Plomo:** “su presencia en aguas superficiales generalmente proviene es consecuencia de vertidos industriales. En instalaciones antiguas, la mayor fuente de plomo en el agua de bebida proviene de las tuberías de abastecimiento y de las uniones de plomo” (Pedraza *et al.*, 2017).

### 5.3 Características Físico-Químicas del Agua

El agua natural, al estar en contacto con diferentes agentes (aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc.), incorporan parte de los mismos por disolución o arrastre, o incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio. A esto es preciso unir la existencia de un gran número de seres vivos en el medio acuático que interrelacionan con el mismo mediante diferentes procesos biológicos en los que se consumen y desprenden distintas sustancias. Esto hace que las aguas dulces pueden presentar un elevado número de sustancias en su composición química natural, dependiendo de diversos factores tales como las características de los terrenos atravesados, las concentraciones de gases disueltos, etc. Entre los compuestos más comunes que se pueden encontrar en las aguas dulces están: como constituyentes mayoritarios los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos, como constituyentes minoritarios los fosfatos y silicatos, metales como elementos traza y gases disueltos como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. El agua de lluvia presenta los cationes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  los aniones:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y dióxido de carbono, oxígeno, ozono, nitrógeno, argón, etc. (Andre *et al.*, s.f)

Según Andre *et al.*, (s.f) la composición química natural de las aguas puede verse alterada por actividades humanas: agrícolas, ganaderas e industriales, principalmente. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertidos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados. Estas incorporaciones ocasionan la degradación de la calidad del agua provocando diferentes efectos negativos como la modificación de los ecosistemas acuáticos la destrucción de los recursos hidráulicos, riesgos para la salud incremento del coste del tratamiento del agua para su uso daño en instalaciones (incrustaciones, corrosiones, etc.) destrucción de zonas de recreo. Las aguas contaminadas presentan compuestos diversos en función de su procedencia: pesticidas, tensoactivos, fenoles, aceites y grasas, metales pesados, etc. La composición específica de un agua determinada influye en propiedades físicas tales como densidad, tensión de vapor, viscosidad, conductividad, etc. Los parámetros de control se pueden agrupar de la siguiente manera:

### **5.3.1 Físicos**

“Características organolépticas, color, olor, sabor, elementos flotantes, temperatura, sólidos, conductividad y radioactividad” (Andre *et al.*, s.f).

### **5.3.2 Químicos**

“Materia Orgánica (Carbono orgánico total, COT), pH, DBO, DQO, nitrógeno y compuestos derivados (amoníaco, nitratos, nitritos, etc.), fósforo y compuestos derivados (fosfatos), aceites y grasas, hidrocarburos, detergentes, cloro y cloruros, fluoruros, sulfatos y sulfuros, fenoles, cianuros, haloformos, metales, pesticidas” (Andre *et al.*, s.f).

### 5.3.3 Gases disueltos

“Oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, Metano, Ácido sulfhídrico” (Andre *et al.*, s.f).

### 5.3.4 Biológicos

“Coliformes totales y fecales, Estreptococos fecales, Salmonellas, Enterovirus” (Andre *et al.*, s.f).

Es claro que las aguas residuales cuentan con una carga orgánica elevada y se considera primordial la determinación de los parámetros físicos y químicos de la misma. El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: (1) la materia orgánica, (2) la medición del contenido orgánico, (3) la materia inorgánica, y (4) los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas (Barrenechea, s.f).

Según Barrenechea (s.f) “algunos parámetros se consideran más representativos que otros en la caracterización de aguas residuales realizado tanto por el método cualitativo como cuantitativo, ya que demuestran claramente el nivel de contaminación contenido en el análisis”.

### 5.3.5 Materia orgánica

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en

determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60 por 100), hidratos de carbono (25-50 por 100), y grasas y aceites (10 por 100). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes (Montalvo *et al.*, 2008)

### **5.3.6 Materia inorgánica**

Según Chalen (2017) son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua.

### **5.3.7 Gases**

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el amoníaco (NH<sub>3</sub>), y el metano (CH<sub>4</sub>). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se

encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Lizarazo *et al.*, 2013)

La adecuada caracterización de los parámetros físicos y químicos, permiten al investigador determinar el posible tratamiento al cual debe ser sometida el agua residual, ya que se cuentan con diferentes métodos y especies vegetales pero cada uno con limitaciones y exigencias, con el fin de garantizar un adecuado tratamiento del agua seleccionada (Andre *et al.*, s.f).

A continuación, se muestra la Caracterización de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PRODAL, Cuba

<b>Análisis</b>	<b>Residual de procesos varios</b>
pH	6,45
DQO (mg/L)	5 737
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	3 200
NTK (mg/L)	92,4
PT (mg/L)	23,3
Grasas y aceites (mg/L)	372

**Figura 2.** Resultados físico – químicos del agua de desecho procedente de la planta de procesos varios (Romero *et al.*, 2004).

Lo que se puede observar en los análisis físico-químicos realizados a las aguas residuales que fluyen al exterior después del proceso de producción, muestran que algunos parámetros son más elevados a los límites permisibles expuestos en la Resolución 0631 de 2015, especialmente la Demanda Química Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO) Y Grasas y Aceites.

#### **5.4 Marco Legal**

El ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 reglamenta la Norma de Vertimientos, actualiza el Decreto 1594 de 1984 (vigente desde hace 30 años) para ejercer el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua, vertidas como consecuencia de 73 actividades productivas, agrupadas en ocho sectores económicos del país (Minambiente, 2015).

**ARTÍCULO 12. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS A MONITOREAR Y SUS VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES EN LOS VERTIMIENTOS PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS (ARND) A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES DE ACTIVIDADES ASOCIADAS CON ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y BEBIDAS.** Los parámetros fisicoquímicos que se deberán monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales No Domésticas (ARnD) de las actividades de elaboración de productos alimenticios y bebidas a cumplir, serán los siguientes:

Alimentos y bebidas:

**Tabla 1**  
**Tabla de Parámetros fisicoquímicos a monitorear.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Norma</b> <i>Resolución 631 / 2015 Art. 12</i>
<b>Generales</b>		
Temperatura	C°	40,00
pH Mínimo	Unidades de pH	6,00
pH Máximo	Unidades de pH	9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	550,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	300,00
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	300,00
Solidos Sedimentables	mg/L	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	40,00
HTP	mg/L	10,00
Cloruros	mg Cl - /L	500,00
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	250,00
Cadmio	mg Cd /L	0,05
Cinc	mg Zn /L	3,00
Cobre	mg Cu /L	1,00
Cromo	mg Cr /L	0,50
Mercurio	mg Hg /L	0,01
Níquel	mg Ni /L	0,50
Plomo	mg Pb /L	0,20

Información para actividades asociadas a la elaboración de alimentos y bebidas (Minambiente, 2015)

## 5.5 Remoción de la Contaminación

Las plantas generalmente diseñadas para este fin, son capaces de metabolizar compuestos orgánicos o bien de acumular mayor cantidad de contaminantes inorgánicos. Generalmente, la Fitorremediación es una función conjunta entre la planta y los microorganismos de la rizósfera. Algunas especies de bacterias degradan, de manera selectiva, ciertos compuestos que son tóxicos para las plantas. Los productos metabólicos del proceso microbiano son asimilados y convertidos, por las especies vegetales, en compuestos menos tóxicos. Por lo tanto, las modificaciones genéticas de los microorganismos presentes en la rizósfera representan una posibilidad en el mejoramiento de las técnicas fitocorrectivas, además, la introducción de microorganismos generalmente asegura que los cambios se limiten a los consorcios bacterianos presentes en la raíz y que estos no se encuentren en el suelo circundante (Singh *et al.*, 2009).

## 5.6 Fitorremediación Concepto y Mecanismos

Según Delgadillo *et al.*, (2011) la Fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas.

Según Delgadillo *et al.*, (2011) las tecnologías de Fitorremediación se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. A continuación, se presenta la descripción de los diferentes mecanismos:

### 5.6.1 Fitoestabilización

Permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizósfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. La Fitoestabilización es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica. Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. Esta tecnología tiene como ventajas, sobre otros métodos de remediación de suelos, que es de menor costo, fácil de aplicar y estéticamente agradable. Algunas plantas empleadas con fines de Fitoestabilización son: *Hyparrhenia hirta* (Pb); *Zygophyllum fabago* (Zn); *Lupinus albus* (Cd,As); *Anthyllis vulneraria* (Zn, Pb, Cd); *Deschampsia cespitosa* (Pb, Cd, Zn); *Cardaminopsis arenosa* (Cd, Zn); *Horedeum vulgare*, *Lupinus angustifolius* y *Sécale cereale* (As); *Lolium italicum* y *Festuca arundinaceae* (Pb, Zn); y *Brassica júncea* (Cd, Zn, Cu, Mn, Fe, Pb) (Conesa *et al.*, 2007).

### 5.6.2 Rizofiltración

Utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la Rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan

y se disponen para su uso final. Existe una gran cantidad de estudios relacionados con la capacidad de acumulación de contaminantes de diversas plantas acuáticas, algunos ejemplos de ellas son: *Scirpus lacustris* (Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr), *Lemna gibba* (Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn), *Azolla caroliniana* (Hg, Cr Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt), *Elatine Manda* (As), *Wolffia papulifera* (Cd), *Polygonum punctatum* (Cu, Cd, Pb, Se, As, Hg, Cr, Mn) y *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia palustris* y *Mentha aquatic* (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni) (Li *et al.*, 2007).

### 5.6.3 Fitoextracción

Según Zhuange *et al.*, (2007) consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. El primer paso para la aplicación de esta técnica es la selección de las especies de planta más adecuada para los metales presentes y las características del emplazamiento. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. La Fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables. Algunas plantas empleadas para esta técnica fitocorrectiva son: *Thlaspi caerulescens* (Cd); *Sedum alfredii*, *Viola baoshanensis* y *Vertiveria zizanioides* (Zn, Cd, Pb); *Alyssum múrale*, *Trifolium nigriscens*, *Psychotria douarrei*, *Geissois pruinosa*, *Homalium guillainii*, *Hybanthus floribundus*, *Sebertia acuminata*, *Stackhousia tryonii*, *Pimelea leptospermoides*, *Aeollanthus biformifolius* y *Haumaniastrum robertii* (Ni); *Brassica júncea*, *Helianthus annuus*, *Sesbania drummondii* (Pb); *Brassica napus* (Cu, Pb, Zn); y *Pistia stratiotes* (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

#### **5.6.4 Fitovolatilización**

Se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera (Prasad & Freitas., 2003). Mediante este proceso se han eliminado contaminantes como: compuestos orgánicos volátiles (benceno, nitrobenceno, tolueno, etilbenceno y *m*-xileno), As, Se y Hg. Las plantas *Salicornia bigelovii*, *Brassica júncea*, *Astragalus bisulcatus* y *Chara canescens* se han empleado para la remediación de sitios contaminados con Se (Shrestha *et al.*, 2006).

#### **5.6.5 Fitodegradación**

Según Zhang *et al.*, (2007) las plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos, o bien, mineralizarlos hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas como la dehalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación. Según Singh y Jain (2003) “la Fitodegradación se ha empleado para la remoción de explosivos como el TNT, hidrocarburos halogenados, Bisfenol A, PAHs y pesticidas organoclorados y organofosforados”.

#### **5.6.6 Fitoimmobilización**

“Provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación” (Carpena *et al.*, 2007).

## **5.7 Efectos de la Fitorremediación en Agua**

En lo referente a los procesos de Fitorremediación en cuerpos de agua son muchos los estudios e investigaciones que se han realizado cuando los contaminantes son principalmente aguas residuales o dado el caso metales pesados. No obstante, cuando nos referimos a aguas contaminadas con hidrocarburos la cantidad de publicaciones disminuyen drásticamente; esto puede ser, debido a la particularidad en lo referente la composición de dichas sustancias, puesto que en casos de derrames en cuerpos de agua estos pueden ser retirados de forma manual, por medio de adición de químicos (aparentemente más rápidos) que en la mayoría de los casos son más tóxicos que los propios hidrocarburos, como en el caso del Golfo de México (2010). También puede ser debido a que los cuerpos de agua presentan la particularidad del movimiento como ríos o mares, dificultando de dicha forma la plantación de especies vegetales, además de ser un proceso que puede tardar desde meses hasta años. En los últimos 10 años, se ha venido investigando la capacidad de las microalgas para biotransformar y biodegradar contaminantes orgánicos como hidrocarburos, plaguicidas; las microalgas y cianobacterias proveen carbono reducido y nitrógeno a la microbiota presente en los ecosistemas acuáticos, lo que incrementa el potencial de degradación y eliminación de contaminantes (Ferrera *et al.*, 2006).

## **5.8 Características de la Especie Fitorremediadora**

### **5.8.1 Plantas hiperacumuladoras**

Según Marrero *et al.*, (2012) las plantas que pueden crecer y desarrollarse en suelos con altas concentraciones de metales pesados pertenecen a una flora especializada, que coloniza suelos originarios de serpentina o ultramáficos ricos en Ni y calamina (mineral que contiene altas

concentraciones de Zn y Cd), naturales o contaminados por la actividad antrópica como la actividad minera. Esas plantas son seleccionadas naturalmente por su alta tolerancia a un determinado metal (hipertolerancia). Se han identificado alrededor de 415 especies de plantas hiperacumuladoras distribuidas en 45 familias botánicas con capacidad para acumular selectivamente alguna sustancia. Los hiperacumuladores son especies capaces de acumular metales a niveles de 100 veces más que aquellos típicamente medidos en retoños de plantas no acumuladoras comunes. Un hiperacumulador concentrará más de 10  $\mu\text{g/g-1}$  Hg; 100  $\mu\text{g/g-1}$  Cd; 1000  $\mu\text{g/g-1}$  Co, Cr, Cu, y Pb; 10 000  $\mu\text{g/g-1}$  Zn y Ni.

### 5.8.2 *Acrostichum aureum*

Especie conocida también como Helecho de playa, esta planta es de fácil crecimiento, encontrándose en diferentes lugares del mundo de continua reproducción, es una especie que se establece fácilmente en áreas contaminadas, realizando la recuperación de la zona por medio de la Fitorremediación, esta especie puede ser común en muchas partes de su rango, de hecho puede estar aumentando ya que coloniza fácilmente áreas despejadas. Es muy difícil de erradicar en situaciones donde sobrepasa a los sistemas de manglares anteriores, puede colonizar áreas abiertas. Es un helecho pantropical de 1 – 3 m de altura, con las hojas pinnadas, formando grupos densos; requiere buena iluminación y una humedad del sustrato constante, puede incluso vivir con el rizoma sumergido; sus raíces pequeñas y enredadas en forma de cerebro son las encargadas de realizar la retención del agua y la absorción de compuestos químicos provenientes del uso de pesticidas, aguas residuales, hidrocarburos, radioactividad, entre otros (Sánchez, s.f).



**Figura 2.** Imagen del *Acrostichum aureum* (Helecho de playa). Foto: Tomada en el Municipio de Buga – Valle del Cauca (Autores, 2018).

Según Ellison *et al.*, (2010) esta especie se encuentra en la zona estuarina intermedia en la región intermareal alta. No está restringido a los sistemas de manglar y puede crecer en otras áreas en ambientes de agua dulce y en marismas. Esta es una especie que es oportunista y coloniza las áreas alteradas. Es de rápido crecimiento y muy robusto, es un gran helecho herbáceo. Esta especie está muy extendida y es común. No hay grandes amenazas para esta especie. Es robusto, de crecimiento rápido y, a menudo se apodera de los manglares perturbados. Está listado como preocupación Menor. Esta especie tiene una distribución muy amplia. Se encuentra en el Caribe, en el sur y sudeste de Asia, en Australasia y en África oriental y occidental. No existen medidas de conservación específicas para esta especie, pero su rango puede incluir algunas áreas protegidas marinas y costeras.



**Figura 3.** *Acrostichum aureum* sumergido en manglar de agua dulce (Hernández, S. M., 2016).

#### **5.8.2.1 Producción de semillas y establecimiento.**

La producción de semillas es anual, y va de abundante a prolífica. Las semillas pueden ser vivíparas o no; y poseen una elevada capacidad germinativa, pudiendo permanecer viables durante largos períodos. *Rhizophora* y *Bruguiera* son vivíparas (sus semillas germinan antes de caer) y *Avicennia* es semivivípara; otras no. La dispersión de las «semillas» es de ordinario mediante el agua. Se ha observado el acodo natural en *Laguncularia*, y los chirpiales son comunes en *Avicennia* y *Rhizophora*, aunque para este segundo género sólo con brinzales jóvenes. Algunas especies de manglar producen buenos brotes de cepa, sobre todo en su juventud (Ellison *et al.*, 2010).



**Figura 4.** *Acrostichum aureum* establecido en rocas y sedimentos de playa (Hernández, S. M., 2016).

Según Huberman (s.f) en los claros amplios, el helecho *Acrostichum aureum* encuentra excelentes condiciones para su desarrollo pudiendo ocupar dilatados espacios. Los frondes pueden alcanzar alturas de 1,8 a 3,7 m., y las grandes masas de rizomas y raíces, así como los frondes muertos y desprendidos, dificultan el asentamiento y germinación de las semillas; en cambio, otras veces este helecho puede ofrecer una protección a los brinzales establecidos contra el perjuicio que pudieran causarles las ramas desprendidas y el movimiento de los desechos flotantes de explotación forestal, con frecuencia muy perniciosos para el establecimiento inicial de las semillas transportadas por el agua. En la zona occidental, la invasión de zonas más áridas por la planta gigante *Acrostichum aureum* puede ser lo suficientemente grave para exigir la quema de los helechos durante los meses más secos de enero a abril, seguida por dos cortas con machetes, distanciadas varios meses entre sí, para preparar el terreno para la plantación o para la diseminación natural durante las mareas altas en septiembre y octubre.

### 5.8.2.2 *Proceso de propagación.*

En algunos lugares en que las condiciones hidrológicas favorables permiten el asentamiento de las semillas, la regeneración natural puede establecerse con todo éxito en menos de un año. Las mareas altas ordinarias pueden cubrir sólo parte de la superficie, mientras que la combinación de las mareas mayores en septiembre y octubre, que de ordinario cubren dilatadas zonas, junto con la abundancia de semillas desprendidas, puede conducir a una excelente regeneración. Sin embargo, el movimiento de las aguas puede no sólo depositar las semillas, sino también arrastrarlas consigo antes de que enraícen. En los períodos de marea menor suelen existir abundantes albuferas y esteros que no siempre son los mejores lugares para el buen establecimiento. Esto ha tratado de explicarse por varias razones: la elevada temperatura del agua debida a la radiación solar o la concentración salina de las aguas pueden ser lo suficientemente elevadas para redundar en perjuicio de los pies de semilla. Se ha obtenido un éxito positivo en la plantación de tales zonas con *Rhizophora*, pero no así con otras especies de manglar (Huberman, s.f).



**Figura 5.** *Acrostichum aureum* proceso de propagación. Foto: Tomada en el Municipio de Buga – Valle del cauca (Autores, 2018).

## 6 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

### 6.1 Caracterización Temporal del Agua Residual No Domestica con Carga Contaminante

#### 6.1.1 Localización geográfica y características generales de la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S.

La realización de este proyecto se llevó a cabo en el año 2018, en la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S., ubicada en la carretera central salida norte Km 1 vía Buga – Tuluá en el Departamento del Valle del Cauca, cuyas coordenadas geográficas son Latitud  $3^{\circ} 56' 05,47''$  N – Longitud  $76^{\circ} 16' 58,58''$  O.



**Figura 6.** Ubicación geográfica de la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S. (Google Earth 2018).

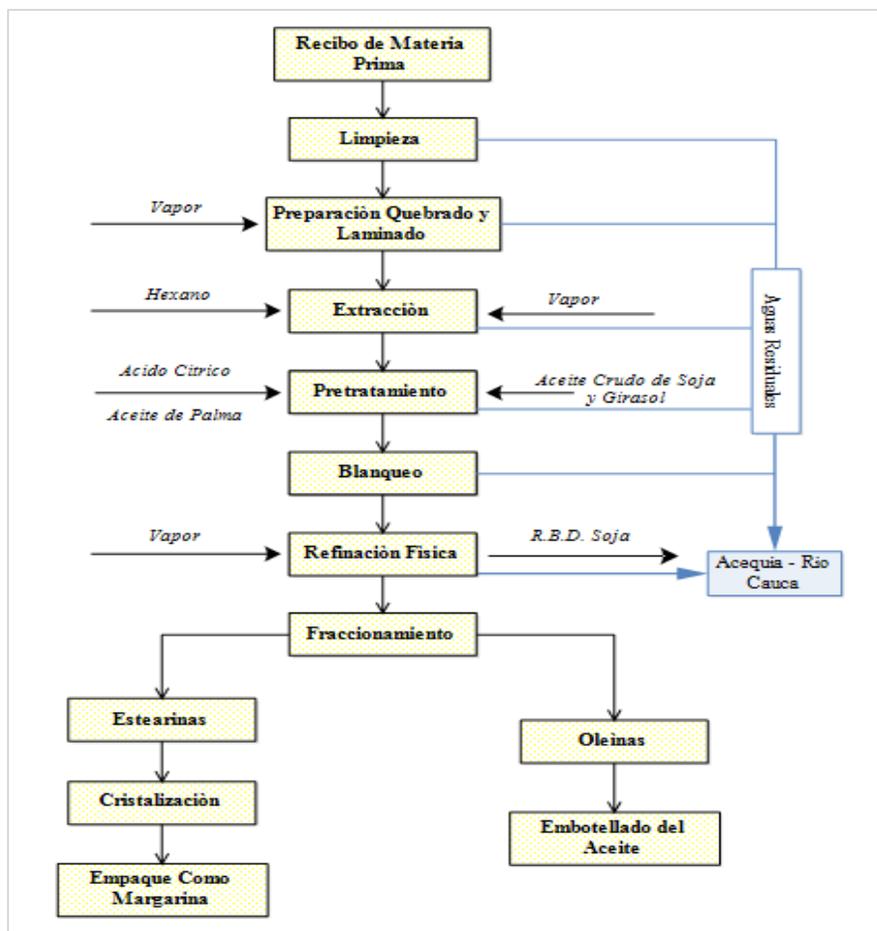
La actividad económica fundamental que se llevan a cabo es la producción de grasas, aceites y salsas para consumo humano, la empresa cuenta con 2 fuentes de abastecimiento de agua; de pozo y acueducto municipal de Buga. El establecimiento está conformado por un área con una extensión de 43.343 m<sup>2</sup>, distribuidos en secciones como: planta de extracción, refinería, planta de envasado, bodega de envasado, planta de salsas, bodega de salsas, oficinas, parqueaderos y patios (QBCo S.A.S., 2018).

### **6.1.2 Determinación general de las producciones en la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S.**

El proceso productivo de la empresa consiste en la elaboración de aceites comestibles, empleándose como materias primas las semillas vegetales, así como reactivos y adictivos el ácido fosfórico, soda cáustica, tierra de blanqueo, catalizadores, hidrógeno, antioxidante, nitrógeno, leche, sal, agua y preservantes (QBCo S.A.S., 2018). Según Domínguez *et al.*, (2014) los solventes orgánicos son usados para obtener el 100% de aceite desde los suministros. El proceso no se detiene con la refinación del aceite, sino que luego es blanqueado y desodorizado para remover los ácidos grasos y otras impurezas que están adicionadas, y producen en el aceite olores y una apariencia desagradable, que puede en algunos casos ser peligroso para la salud. Cuenta con un variado equipamiento tecnológico (90% tecnología holandesa y portuguesa) instalado en la planta que actualmente está en producción.

### **6.1.3 Diagrama de flujo de producción**

En el esquema se muestra los procesos que se realizan en la planta de producción y la forma como los residuos generados van al punto de vertimiento.



**Figura 7.** Diagrama de flujo de producción en la planta de la empresa procesadora de alimentos QBCo S.A.S. (Autores, 2018).

#### 6.1.4 Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales no domesticas

El análisis de las aguas residuales se desarrolló por medio de una toma de muestra simple, la cual se realizó en la bomba que conduce toda el agua residual de producción hasta los pozos de almacenamiento. También se revisaron y analizaron los resultados obtenidos por el IDEAM en los controles realizados anualmente a los vertimientos de la empresa QBCo S.A.S. de los últimos 10 años, para darle un rigor académico al proyecto. Todos estos análisis se efectuaron utilizando los métodos descritos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition - 2017.



**Figura 8.** Toma de muestra simple en la bomba que conduce toda el agua residual de producción hasta los pozos de almacenamiento (Autores, 2018).



**Figura 9.** Agua residual – vertimientos del proceso de producción productos alimenticios de la empresa QBCo S.A.S. (Autores, 2018).

### **6.1.5 Toma de muestras y caracterización de parámetros**

Mediante esta caracterización se evaluaron los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, entre los cuales se encuentran: pH, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SSED), grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno (detergentes o tenso activos), fosfatos, fósforo, acidez, alcalinidad, dureza cálcica, dureza total, color real, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, cloruros, sulfatos, cadmio, plomo, recuento de coliformes totales y fecales.

### **6.1.6 Preservación y transporte de muestras**

Una vez se recolectaron las muestras por el encargado de esta actividad, fueron preservadas y transportadas hacia el Laboratorio Multipropósito de Calarcá, cumpliendo con una cadena de frío y de acuerdo a los protocolos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition – 2017.

### **6.1.7 Análisis de muestras en laboratorio**

Las muestras se recibieron en el Laboratorio Multipropósito de Calarcá el cual se encuentra actualmente acreditado por el IDEAM, se constata el buen estado del rotulo y se codifican según los procedimientos; posteriormente se verificó la preservación de la muestra y se llevó una rigurosa cadena de custodia. Las muestras se procesaron de acuerdo a los protocolos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition – 2017.

Los diferentes métodos utilizados por el Laboratorio acreditado para el estudio de los parámetros a trabajar, se muestran en la tabla 2 a continuación:

**Tabla 2**  
**Tabla de Métodos para análisis utilizados en el laboratorio**

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Incubación a 5 días SM-5210 B
Dureza total	Volumétrico – EDTA SM-2340C
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Reflujo cerrado micro y espectrofotométrico SM-5220 D
Dureza Cálcica	Volumétrico – EDTA SM-3500-Ca B
Cloruros	Argentométrico SM-4500-CI-B
Alcalinidad	Volumétrico – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SM-2320B
Sulfatos	Nefelométrico – SM-4500-SO42-E
Solidos Suspendidos Totales (SST)	Secado a 103°C SM-4540 D
Solidos sedimentables	Volumétrico SM-2540 F
SAAM	Fotométrico-Azul de Metileno SM 5540 C
Fosfatos	Espectrofotométrico SM-4500 P – E
Color aparente	Comparación Visual SM 2120 B
Acidez	Volumétrico SM 2310 B
Nitritos	Colorimétrico SM 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B
Nitratos	Espectrofotométrico SM 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B
Cadmio	Espectrofotometría de absorción atómica Llama aire – Acetileno SM-3111B
Plomo	Espectrofotometría de absorción atómica Llama aire – Acetileno SM-3111B
Fósforo total	Espectrofotométrico SM-4500 P – E
Turbiedad	Nefelométrico- SM 2130 B
Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C
Coliformes totales	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B
Coliformes fecales NMP	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet SM-5520 D
Amonio	Electro Selectivo- SM-4500-NH <sub>3</sub> D
pH	Potenciométrico SM- 4500-H+B

Métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de cada parámetro presente en las muestras de agua (Empresa multipropósito de Calarcá S.A.S. ESP, 2018)

## 7 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

### 7.1 Identificación Botánica de la Especie Vegetal Implicada en la Fitorremediación

La selección de la especie vegetal estuvo orientada a la búsqueda de información sobre algunas especies de plantas nativas de quebradas y ríos cercanos a la zona donde se adelantó el estudio, que por sus características tuviesen potencial para ser utilizados en el proceso de Fitorremediación para este tipo de vertimientos.

*Acrostichum aureum*, no es una macrófita acuática verdadera, sin embargo, se le puede ubicar en esta categoría, puesto que convive en los ecosistemas acuáticos, en condiciones similares que las macrófitas, tales como; sistema radicular arenquimático tolerante a la inundación, adaptabilidad de crecer en sustratos húmedos, capacidad de extraer elementos minerales en aguas dulces y salinas (Paz., s.f).

Según Paz (s.f) “estas condiciones de similitud, han permitido que se designe al *Acrostichum aureum*, como una macrófita, aun cuando realmente es un helecho tipo halófito, de allí, el motivo de categorizarlo como macrófita acuática halófito”.

Paz (s.f) afirma: “Ahora bien, existen características y comportamientos del *Acrostichum aureum*, como por ejemplo, su capacidad de prosperar en aguas salinas y pH ácido, que convierten a este helecho, en una especie Bio-indicadora (...).

#### 7.1.1 Clasificación biológica

– **Reino:** Plantae

– **División:** Pteridophyta

- **Clase:** Pteridopsida
- **Orden:** Polypodiales
- **Familia:** Pteridaceae
- **Género:** *Acrostichum*
- **Especie:** *A. aureum*

### 7.1.2 Nombres comunes

“En los países africanos, se le designa como Helecho de cuero, en Florida Estados Unidos Helecho de cuero dorado, en México y Venezuela se le llama, Helecho de playa u Helecho de pantano” (Adams, 1979).

### 7.1.3 Origen y distribución

“La especie *Acrostichum aureum*, es originaria de manglares tropicales de África y Asia, este helecho presenta perfil geográfico Pantropical, se encuentra ampliamente distribuido en el Caribe y Suramérica, específicamente en regiones que exhiben manglares, pantanos y ciénagas salobres” (Adams, 1979).

El género *Acrostichum*, tiene cuatro especies, dos se encuentran en la zona biogeográfica neotropical, entre estas; *A. Aureum* y *A. danaeifolium*, en relación a Venezuela *A. danaeifolium*, crece más en suelos húmedos y zonas costeras de los estados orientales, mientras que *A. Aureum*, es común encontrarlo, en ecosistemas acuáticos salobres de mangles, pantanos y ciénagas, ubicadas en la región occidental y llanera del país (Vareschi, 1969).

### 7.1.4 Bio indicadora de suelos salinos y ácidos

El Helecho de pantano, como se le conoce en las zonas productoras agro-pecuarias del Sur del Lago de Maracaibo - Venezuela, es una macrófita acuática de tipo halófito, esto nos indica, que

prolifera en suelos anegados ricos en materia orgánica, con alta salinidad y pH ácido (Lloyd & Buckley, 1986).

Según Lloyd & Buckley (1986) la aparición de *Acrostichum aureum*, en zonas húmedas dedicadas a la actividad agrícola y pecuaria, es un indicador de suelos con pérdida de fertilidad, por la presencia de valores altos de sales, que impiden el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos, además de obstaculizar la ganancia de biomasa en especies poaceae, utilizadas para la alimentación animal.

“Ahora bien, esta condición halófila del *Acrostichum aureum*, lo convierte en la principal macrófita acuática, reguladora y extractora de sales disueltas en mangles, pantanos y ciénagas, que presentan elevados valores de salinidad en sus aguas, actuando como una macrófita desalinizadora” (Lloyd & Buckley, 1986).

### **7.1.5 Descripción botánica**

#### **7.1.5.1 *Forme de vida.***

“El *Acrostichum aureum*, es una macrófita acuática del grupo de las Enraizadas emergentes, de ecosistemas halófitos, es decir, que prospera fenológicamente en aguas con altas concentraciones salinas” (Paz., s.f).

#### **7.1.5.2 *Raíz.***

“Exhibe raíces de morfología homogénea, de origen adventicio con aparición en nudos y base de las hojas” (Paz., s.f).



**Figura 10.** Raíces adventicias (Fuente: @lupafilotaxia).

### **7.1.5.3 Tallo.**

“Presenta tallos, con distribución horizontal exclusivamente rizomáticos, subterráneos y de crecimiento indefinido” (Paz., s.f).



**Figura 11.** Tallos con crecimiento indefinido (Fuente: @lupafilotaxia).

## 7.1.6 Estructura fisiológica dual

### 7.1.6.1 Frondas.

“*Acrostichum aureum*, posee organográficamente una estructura fisiológica dual, llamada FRONDA, que le permite llevar a cabo la fotosíntesis y reproducción” (Li & Ong, 1998).

Morfología foliar: La estructura laminar fotosintética de *Acrostichum aureum*, se encuentra constituida por; peciolo, lámina compuesta de morfología pinnada, gruesa, ligeramente lignificada (coriáceas), color verde-amarillo en la región basal y dorado en la zona apical, márgenes ondulados, ápice acuminado y puede medir aproximadamente entre 1 m de largo y unos 50 cm de ancho (Paz., s.f).



**Figura 12.** Se observa pinnas de Frondas (Fuente: @lupafilotaxia).

Morfología reproductiva: “La región del envés de la fronda, representa la estructura fértil y reproductiva del *Acrostichum aureum*, específicamente en el área apical, dónde emergen los esporangios” (Paz., s.f).



**Figura 13.** A la derecha, se aprecia zona apical de Fronda de *Acrostichum aureum*, izquierda, se aprecia descripción del envés reproductivo (Fuente: @lupafilotaxia).

#### 7.1.6.2 Reproducción.

Según Eakle (1975) la reproducción del *Acrostichum aureum*, ocurre de forma similar que el resto de las Pteridophytas, con la diferencia, que el segmento meristemático generador de los esporangios, se ubica en la cara abaxial (envés) de los folíolos u pinnas reproductivas exclusivamente apicales, dónde consecutivamente producen la germinación de esporas, originándose nuevos individuos.

“Además, de la reproducción y propagación por esporas, este Helecho de pantano, también puede multiplicarse vegetativamente, mediante emisión de individuos en los nudos del tallo rizomático” (Paz., s.f).

#### **7.1.6.3 Crecimiento.**

La macrófita acuática halófito *Acrostichum aureum*, ve favorecido su crecimiento y desarrollo a plena exposición solar, pudiendo alcanzar las frondas los 3 metros de altura, cuando reciben fotones de luz sin intersección arbórea, por lo que es común encontrarla, en ecosistemas acuáticos con ausencia de árboles, se estima que las frondas emiten aproximadamente 30 foliolos u pinnas, con peciolos de 1 metro de largo (Paz., s.f).

#### **7.1.6.4 Ciclo de vida.**

“El ciclo de vida de *Acrostichum aureum*, es perenne, claramente diferenciado en dos etapas, la primera esporofita conspicua, seguida de una gametofita inconspicua” (Paz., s.f).

### **7.1.7 Ecología**

#### **7.1.7.1 Hábitat y condición invasora.**

Según Lloyd y Buckley (1986) el Helecho de pantano, crece en hábitats pantropicales, generalmente en zonas con bajos niveles de agua y a orillas de manglares, pantanos y ciénagas, *Acrostichum aureum*, ha sido catalogado como una macrófita acuática invasora, al interferir y desplazar la flora arbórea autóctona.

### **7.1.7.2 Tolerancia a la salinidad.**

La condición de macrófita acuática halófila del *Acrostichum aureum*, le permite registrar un crecimiento favorable, en aguas con amplios rangos de salinidad, esta tolerancia salobre, desde el punto de vista biológico influye de manera positiva, en sus mecanismos de desarrollo reproductivo y vegetativo (Lloyd y Buckley, 1986).

### **7.1.8 Histología y Organografía**

“Para llevar a cabo el estudio microscópico, se colectaron frondas, peciolo, rizomas y raíces de *Acrostichum aureum*” (Paz., s.f).

#### **7.1.8.1 Caracterización e identificación de tejidos.**

Las preparaciones histológicas, se efectuaron realizando cortes transversales, longitudinales y tangenciales, obteniendo secciones epidérmicas, parenquimáticas, colenquimáticas, xilemáticas y floemáticas, que posteriormente fueron visualizadas con el microscopio óptico a 10x, logrando identificar la diferenciación y morfología celular de cada una de las estructuras organográficas evaluadas (Paz., s.f).

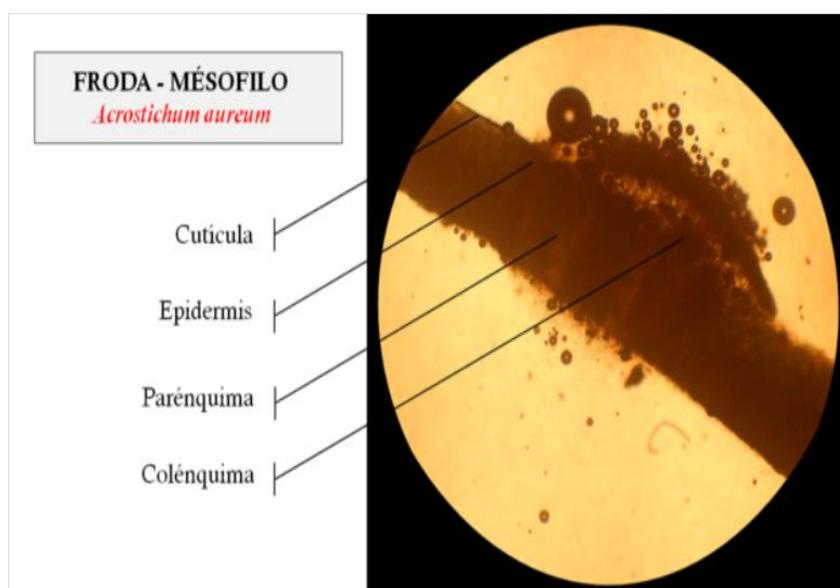
### **7.1.9 Resultados histológicos**

#### **7.1.9.1 Caracterización epidérmica.**

Según Paz (s.f) “las frondas de *Acrostichum aureum*, presenta células epidérmicas muy cutinizadas, con paredes sinuosas, de morfología alargada”.

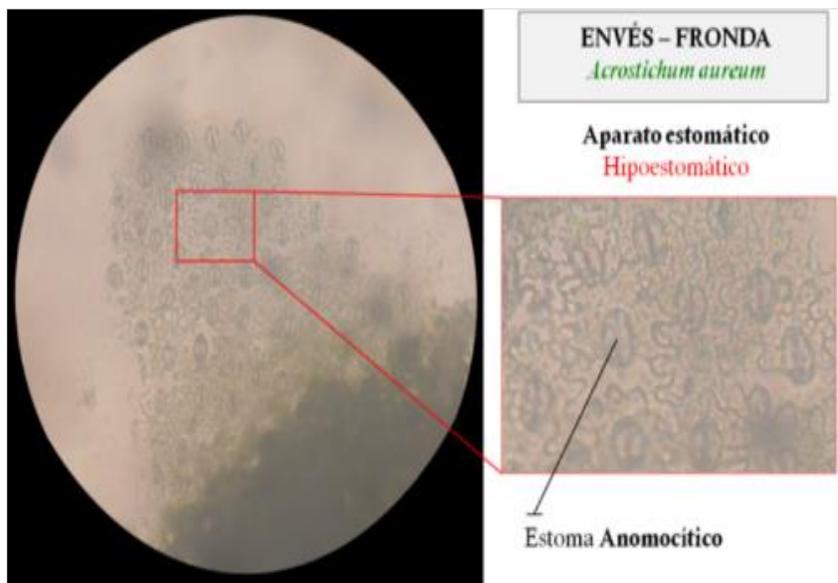
### 7.1.9.2 Caracterización parenquimática y mecánica.

La lámina media de las frondas de *Acrostichum aureum*, presentan una condición bifacial, observándose sobre el segmento superior, células hipodérmicas, seguidas de tejido mecánico (visiblemente colénquima), parénquima empalizada de aspecto alargado y bien ordenado, continuado por células de parénquima esponjoso con perceptibles espacios intercelulares (Paz., s.f).



**Figura 14.** Se detalla sección transversal de Fronda *Acrostichum aureum*, en el lado izquierdo se indica, la ubicación de la epidermis cutinizadas y alargadas (Fuente: @lupafilotaxia).

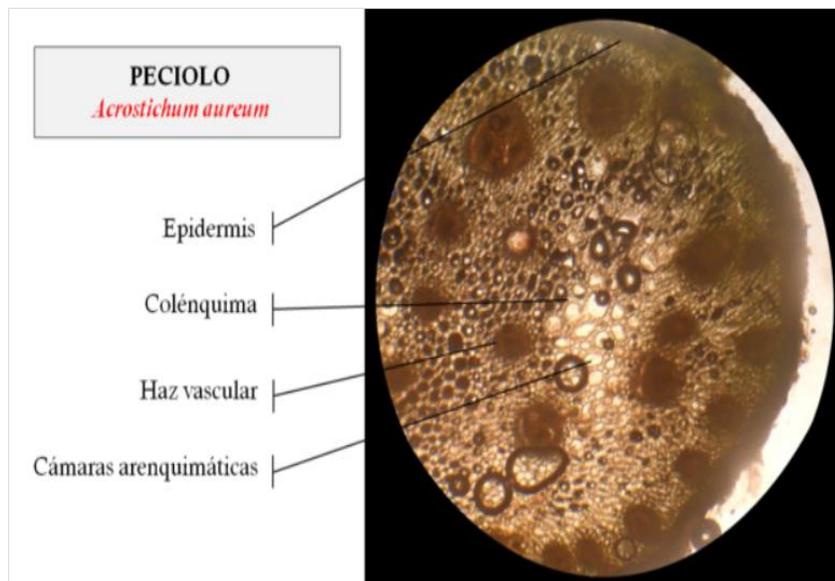
Respecto a los estomas, sólo se les encontró en la cara del envés, lo que indica que *Acrostichum aureum*, presenta estomas de tipo Hipoestomático, mientras que la organización de las células del aparato estomático, se pudieron visualizar en distribución Anomocítica, es decir, con más de tres células anexas u acompañantes rodeando sin orden aparente a las células oclusivas (Paz., s.f).



**Figura 15.** Del lado derecho, se observan Estomas Anomocíticos *Acrostichum aureum*, en el lado izquierdo se indica, la forma del aparato estomático Hipoestomático (Fuente: @lupafilotaxia).

### 7.1.9.3 Caracterización peciolar.

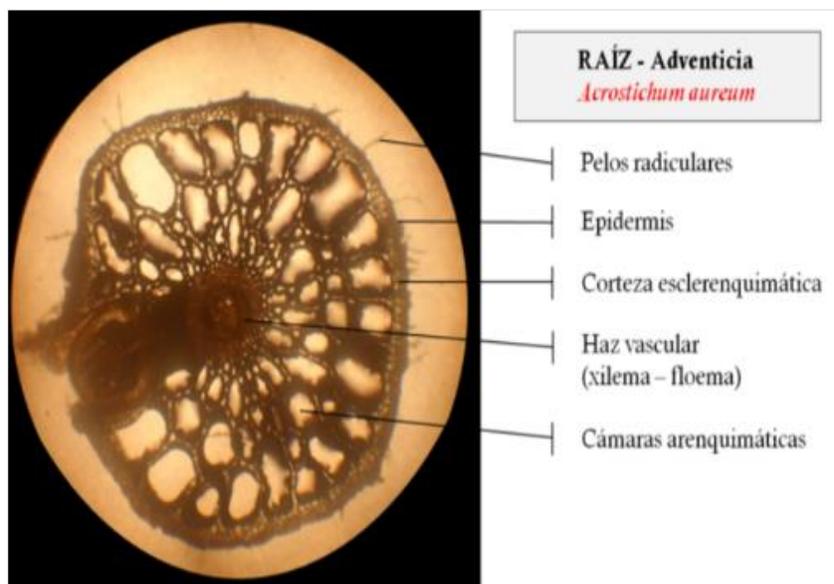
“El segmento microscópico del peciolo de *Acrostichum aureum*, permitió encontrar diferencias morfológicas respecto a las frondas, al apreciar células epidérmicas de geometría hexagonal y haces vasculares dispersos” (Paz., s.f).



**Figura 16.** Del lado izquierdo, se detalla sección transversal del peciolo *Acrostichum aureum*, en el lado derecho, epidermis de forma hexagonal y haz vascular (Fuente: @lupafilotaxia).

#### 7.1.9.4 Caracterización xilemática y floemática.

Según Paz (s.f) en la sección radicular de *Acrostichum aureum*, se logró detallar corteza esclerenquimática con apreciables cámaras arenquimáticas, seguida de una estela alrededor de la zona medular, en cuyo interior se constituye de células xilemáticas centrales y tejido floemático en disposición exarca, es decir de tendencia centrípeta.



**Figura 17.** Del lado izquierdo, se detalla sección transversal raíz adventicia de *Acrostichum aureum*, en el lado derecho, se identifican en orden los siguientes tejidos; epidermis, corteza esclerenquimática, médula, haz vascular (Xilema y Floema), cámaras arenquimáticas (Fuente: @lupafilotaxia).

Es una especie con potencialidad Bio-indicadora de salinidad y acidez en zonas agrícolas y pecuarias con problemas de fertilidad de suelos producto de periodos largos de inundación; es también una especie que tiene gran capacidad para ser utilizada como planta desalinizadora de ecosistemas acuáticos. “Por sus características organográficas e histológicas, permiten dilucidar la diferenciación morfológica de *Acrostichum aureum*, respecto a las macrófitas acuáticas verdaderas” (Paz., s.f).

## 8 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO

### 8.1 Comparar Parámetros Físico - Químicos del Agua de Vertimiento con la Técnica de Fitorremediación

El experimento se realizó en condiciones semicontroladas dentro de las instalaciones de la empresa QBCo S.A.S. por un lapso de dos meses, semanalmente se controló la temperatura y pH, con el fin de garantizar un ambiente propicio para que sobreviva la especie *Acrostichum aureum* encargada del proceso de Fitorremediación.

#### 8.1.1 Materiales y métodos

##### 8.1.1.1 Materiales.

**Tabla 3**  
*Materiales para el montaje*

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Acrostichum aureum	5	Plántula
2	Recipiente de 50 Litros	1	Unidad
3	Cabuya	2	Metro
4	Silicona plástica	1	Unidad
5	Tapabocas	10	Unidad
6	Guantes de látex	10	Par
7	Bisturí	1	Unidad
9	Agua de vertimiento	40	Litro

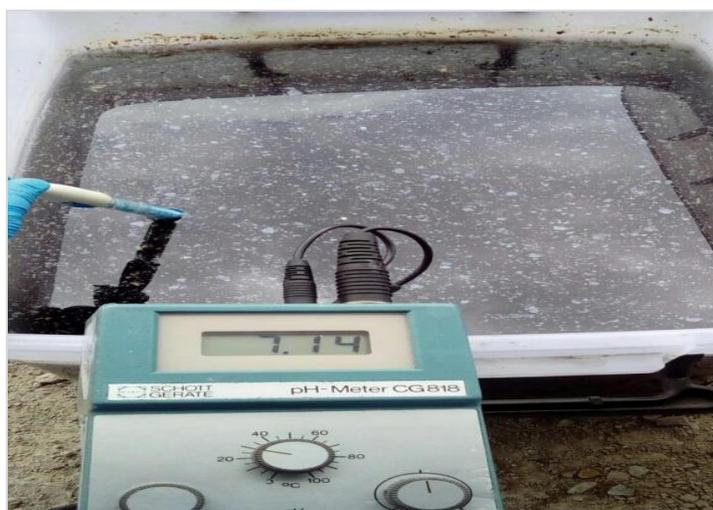
Descripción de los diferentes materiales empleados en el montaje experimental (Autores, 2018)

### 8.1.1.2 Metodología

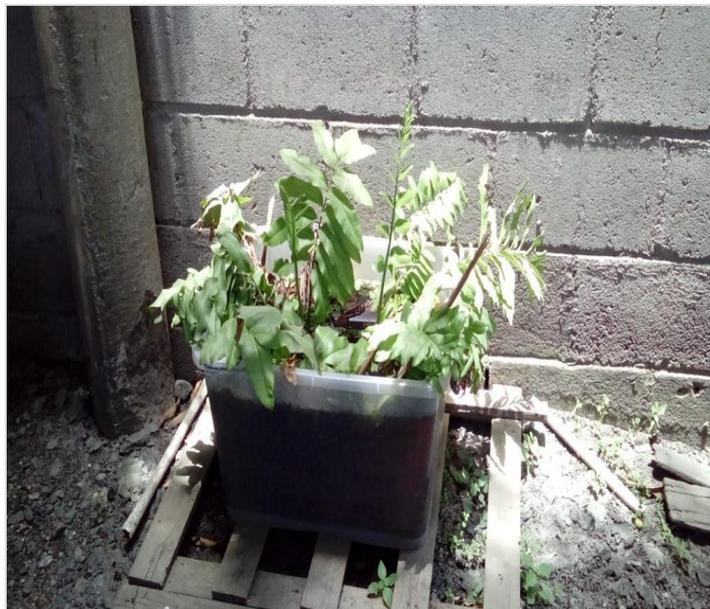
Para la experimentación se tomaron aproximadamente 40 litros del agua residual en un recipiente, a esta se le controla el potencial de Hidrogeno por medio de un pHmetro digital, con el fin de asegurar un ambiente propicio para la planta *Acrostichum aureum* mediante un pH neutro. El recipiente fue ubicado en un espacio abierto para simular condiciones naturales, y se le introdujeron aproximadamente 5 plantas de tamaño pequeño. Semanalmente se controló el pH y temperatura (Tabla 4), así como el comportamiento que tuvieron las plantas respecto a las concentraciones de los contaminantes del agua residual de la industria alimenticia.

Posteriormente al culminar el tiempo estipulado de 60 días, en el que la planta Fitorremediadora realizo el proceso natural, se tomó nuevamente una muestra simple al agua del recipiente donde se aplicó el tratamiento y se envió a su respectiva caracterización, con el fin de identificar la eficiencia de remoción de los contaminantes durante el tiempo que la planta estuvo en contacto con el agua contaminada.

### 8.1.1.3 Pasó a paso del montaje



**Figura 18.** Construcción del sistema, posteriormente se controla pH (Autores, 2018).



**Figura 19.** Sistema de tratamiento en funcionamiento; recipiente de 50 Lts con agua residual, más las 5 plantas de la especie *Acrostichum aureum* introducidas (Autores, 2018).



**Figura 20.** Control semanal del pH y la Temperatura inicial, durante y finalizado el proceso de tratamiento (Autores, 2018).

Los valores de pH y Temperatura obtenidos durante los 60 días que duro el proceso de tratamiento, gracias al control que se llevó durante 8 semanas, se observan a continuación (Tabla 4).

**Tabla 4**  
**Tabla control pH y Temperatura.**

D	Fecha		pH (UN)	Temperatura (°C)
	M	A		
28	07	2018	7,77	22,3
03	08	2018	6,72	23,0
10	08	2018	7,00	23,5
18	08	2018	7,19	24,0
25	08	2018	7,12	25,2
01	09	2018	7,23	26,8
08	09	2018	7,40	27,5
22	09	2018	7,33	28,3

Datos obtenidos en el estudio durante el control semanal de pH y Temperatura (Autores, 2018).

#### **8.1.1.4 Muestreo de Agua**

Se tomó una última muestra después de culminado el tiempo establecido para la Fitorremediación, donde se tuvieron en cuenta de nuevo los parámetros que fueron analizados anteriormente, con el fin de realizar la respectiva comparación con respecto a la remoción de los contaminantes, donde se incluyen pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), Solidos Suspendidos Totales (SST), Solidos Sedimentables (SSED), Sustancias activas al azul de metileno (detergentes o tensoactivos), Fosfatos, Fosforo, Acidez, Alcalinidad, Dureza cálcica, Dureza total, Color real, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, Cloruros, Sulfatos, Cadmio, Plomo y Recuento de coliformes totales y fecales.

### ***8.1.1.5 Comparación de parámetros***

Se efectuó a partir de la valoración del desempeño de la especie fitorremediadora en estos medios naturales, para lo cual se tuvieron en cuenta parámetros iniciales y parámetros finales, se realizaron los respectivos análisis estadísticos en comparación directamente con la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, la cual reglamenta la Norma de Vertimientos para procesamiento de productos alimenticios, actividad a la que se dedica la empresa. Estos análisis se desarrollaron por un laboratorio acreditado por el IDEAM en la NTC 17025, ubicado en la ciudad de Armenia.

Los análisis estadísticos se desarrollaron mediante gráficas, que permiten un estudio más detallado y representativo de las diferentes etapas realizadas durante el experimento, identificando el comportamiento físico y químico antes y después de la Fitorremediación, al igual que el tiempo que duro su proceso. Estos análisis se realizaron con la ayuda del programa Excel teniendo en cuenta los resultados finales del laboratorio.

Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio se muestran en la Tabla 5, en la que se pueden observar con mayor detalle las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual generada por la empresa QBCo S.A.S. durante la elaboración de productos alimenticios, así como los resultados después de la Fitorremediación.

**Tabla 5**  
*Tabla con valores iniciales y finales del muestreo.*

<b>Análisis Físicoquímico</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados Análisis Inicial</b>	<b>Resultados Análisis Final</b>	<b>Valor admisible Res.631/2015 Art. 12</b>
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	115,65	266,0	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	31,95	52,11	Análisis y reporte
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	262,75	4,72	500
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	45,43	292,3	Análisis y reporte
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	<6,6	27,940	250
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	300,0	<28,1	300
Sólidos sedimentables	mL/L	1,5	0,0	2
SAAM	mg/L	29,16	10,2	Análisis y reporte
Fosfatos	mg/L P-PO <sub>4</sub>	1,73	<0,1	Análisis y reporte
Color aparente	UPC	300	30	Análisis y reporte
Acidez	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	Análisis y reporte
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0,145	0,026	Análisis y reporte
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	0,988	0,241	Análisis y reporte
Cadmio	mg/L	<0,1	<0,1	0,05
Plomo	mg/L	<0,1	<0,1	0,20
Fosforo total	mg P/L	4,650	0,600	Análisis y reporte
Turbiedad	NTU	681,000	1,970	Análisis y reporte
Nitrógeno total	mg N/L	32,40	5,33	Análisis y reporte
Grasas y aceites	mg/L	108,00	46,00	40,0
Amonio	mg/L N-NH <sub>3</sub>	0,20	0,12	Análisis y reporte
pH	UN	6,90	7,90	6,00 a 9,00

<b>Análisis Físicoquímico Residual</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados Análisis Inicial</b>	<b>Resultados Análisis Final</b>	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	2048,0	<3,3	550
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	4265,0	<22,7	300
<b>Análisis Biológico</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados Análisis Inicial</b>	<b>Resultados Análisis Final</b>	
Coliformes totales	NMP/100mL	6 x 10 <sup>7</sup>	0,17	Análisis y reporte
Coliformes fecales NMP	NMP/100mL	<1,8	0,068	Análisis y reporte

Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual, datos obtenidos en el estudio del laboratorio (Autores, 2018).

Como se puede evidenciar son aguas con un alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fosforo total entre otros.

A continuación, se muestran el porcentaje de remoción de los diferentes parámetros después del Tratamiento (Tabla 6); se realizaron los respectivos cálculos para hallarlo mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{V_{pi} - V_{pf}}{V_{pi}} * 100$$

Donde,

$V_{pi}$  = Valor de Parámetro Inicial

$V_{pf}$  = Valor de Parámetro final

**Tabla 6**  
*Tabla con valores del porcentaje de remoción.*

<b>Análisis Fisicoquímico</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>% Remoción</b>
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-130,00
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-63,4
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	98,20
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-543,40
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	-423,23
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,63
Sólidos sedimentables	mL/L	100
SAAM	mg/L	65,02
Fosfatos	mg/L P-PO <sub>4</sub>	94,21
Color aparente	UPC	90
Acidez	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	82,06
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	76,60
Cadmio	mg/L	0
Plomo	mg/L	0
Fosforo total	mg P/L	99,98
Turbiedad	NTU	99,71
Nitrógeno total	mg N/L	83,54
Grasas y aceites	mg/L	57,40
Amonio	mg/L N-NH <sub>3</sub>	40
pH	UN	-14,5

<b>Análisis Físicoquímico Residual</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>% Remoción</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	99,83
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	99,46

<b>Análisis Biológico</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>% Remoción</b>
Coliformes totales	NMP/100mL	99,99
Coliformes fecales NMP	NMP/100mL	96,22

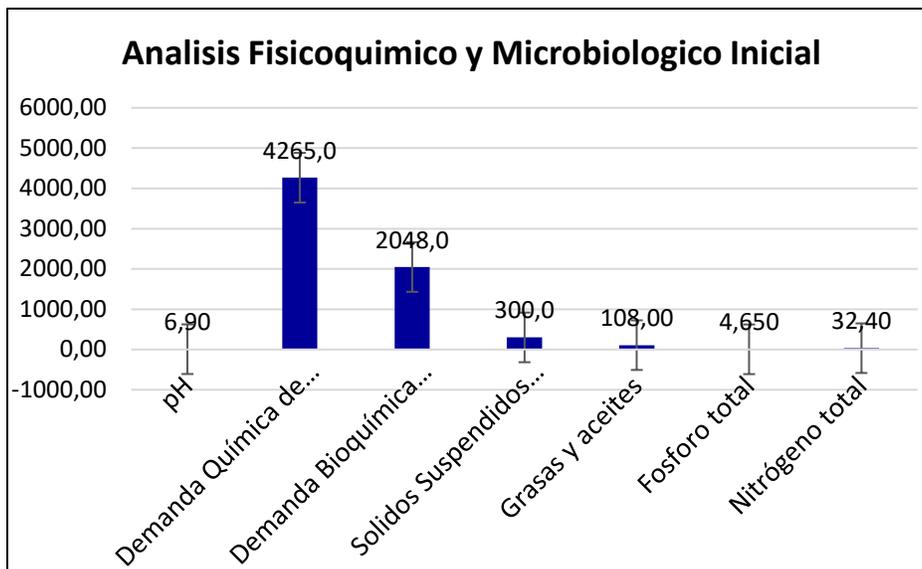
Resultados de los porcentajes de remoción de la carga contaminante, posteriores al proceso de Fitorremediación (Autores, 2018).

#### **8.1.1.6 Análisis de los resultados del proyecto**

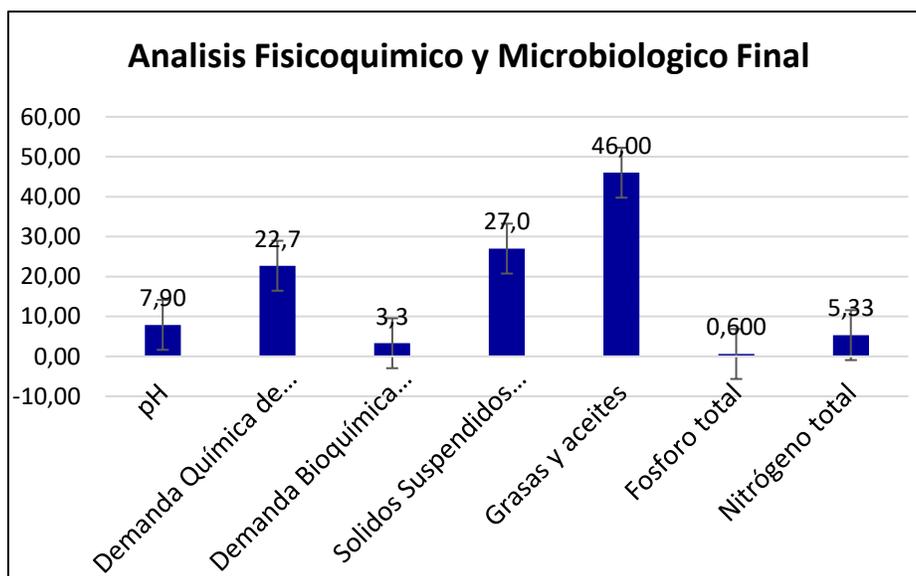
Los porcentajes de remoción de contaminantes obtenidos en el sistema de tratamiento de Fitorremediación en un tiempo de 60 días fueron los siguientes:

La Figura 21 muestra los resultados obtenidos luego del análisis realizado al agua de salida del proceso de tratamiento con la especie *Acrostichum aureum*. En ella se evidencia una importante remoción de los principales contaminantes de interés. Las imágenes son tomadas en lapsos de 20 días, durante los 60 días del tiempo objeto de la experimentación.

Los resultados más significativos obtenidos de este estudio (Grafica 1 y 2), así como los arrojados en la caracterización actual, fueron graficados contemplándose los parámetros pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, Grasas y aceites, Fosforo total y Nitrógeno total para el año 2018 respectivamente.

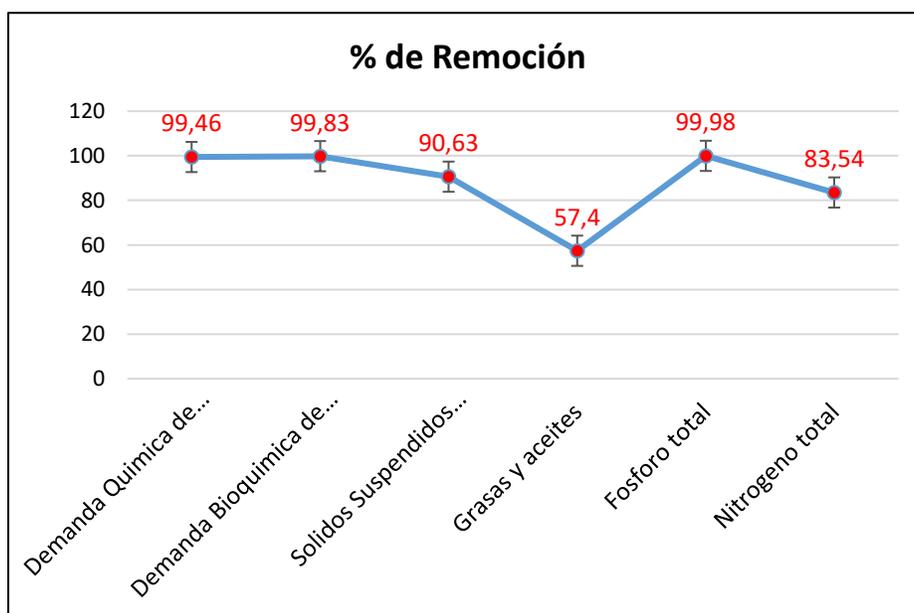


**Grafica 1.** Resultado análisis inicial. Se pueden observar parámetros con valores elevados, como el caso de la Demanda Química de Oxígeno 4265,0 mg/L O<sub>2</sub>, por encima de lo estipulado en la norma (550 mg/L O<sub>2</sub>), así como la Demanda Bioquímica de Oxígeno 2048,0 mg/L O<sub>2</sub>, por encima de lo estipulado en la norma (300 mg/L O<sub>2</sub>) (Autores, 2018).



**Grafica 2.** Resultado análisis final. Se puede observar la disminución importante del valor de algunos parámetros, como es el caso de la Demanda Química de Oxígeno 22,7 mg/L O<sub>2</sub>, está por debajo de los límites establecidos en la norma (550 mg/L O<sub>2</sub>) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 2048,0 mg/L O<sub>2</sub>, que también se encuentra por debajo de los límites establecidos en la norma. (300 mg/L O<sub>2</sub>) (Autores, 2018).

Cabe resaltar que aunque el tiempo fue corto, se encontraron variaciones importantes en los resultados finales en comparación con los iniciales, hasta en un porcentaje de remoción mayor al 90%.

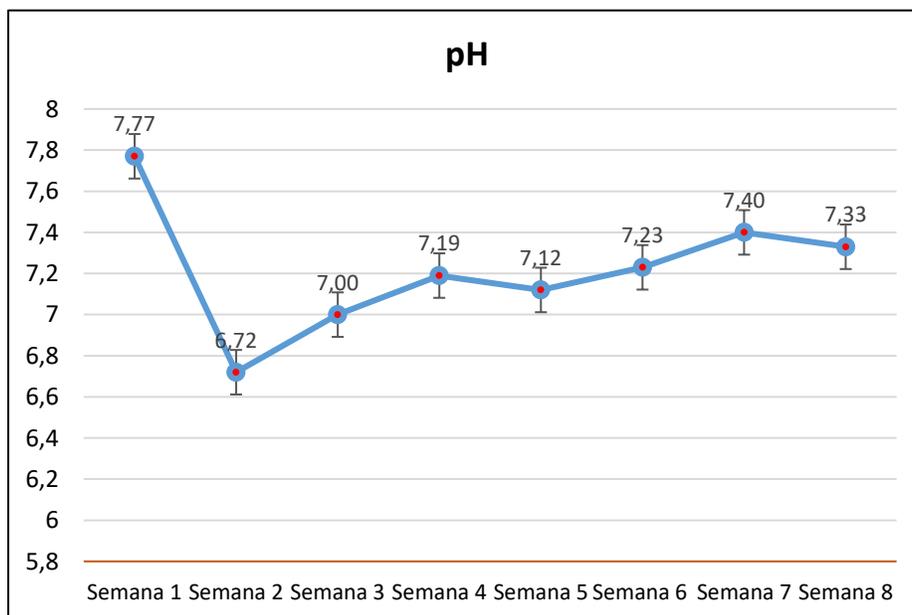


**Grafica 3.** Porcentajes de remoción de contaminantes adelantado el proceso de Fitorremediación con la especie *Acrostichum aureum* (Helecho de playa). Nótese una alta remoción de contaminantes como Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mayor al 99 %), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mayor al 99 %), Solidos Suspendidos Totales (SST) (mayor al 90 %), Fosforo Total (mayor al 99 %) y Nitrógeno Total (mayor al 83 %) (Autores, 2018).



**Figura 21.** Agua de salida del sistema de tratamiento. De izquierda a derecha: agua tras el tratamiento por 20 días A1, agua tras el tratamiento por 40 días A2 y finalmente agua tras el tratamiento por 60 días A3 (Autores, 2018).

A continuación, se muestra (Grafica 4) el comportamiento del pH durante todo el proceso de tratamiento.



**Grafica 4.** Resultado del comportamiento del pH. Nótese en la figura que este parámetro se mantuvo dentro de un rango neutro (7 unidades), brindando un ambiente ideal para que los microorganismos se desarrollen o sobrevivan en condiciones apropiadas (Autores, 2018).

El pH se mide a través de una escala que va de 0 a 14, siendo 7 un pH neutral. Esto significa que por debajo de 7 el agua se considera ácida, mientras que por encima es alcalina. Es una de las variables más importante que se debe controlar durante un proceso, especialmente si tiene peces o plantas. Cuando las plantas y animales que pertenecen a cierto ecosistema se adaptan a un pH específico que contiene unos valores dados para desarrollarse correctamente, y si este sobrepasa los límites, tanto unos como otros pueden enfermar, dejar de reproducirse, migrar, deteriorarse de forma rápida y morir, especialmente si los cambios de pH tienen lugar de forma brusca.

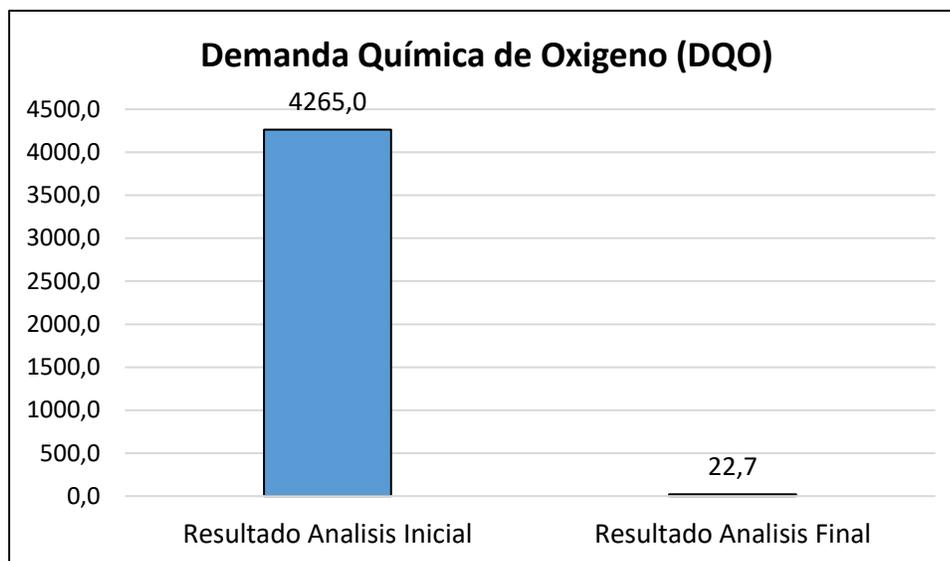
Algunas especies de zooplancton y fitoplancton necesitan un pH ácido, y otras especies requieren de un pH alcalino; aunque es posible mantener durante un tiempo los peces y las plantas con un pH diferente al necesario no es recomendable, porque a la larga algunos de ellos resultan ser sensibles a los cambios de pH.

En la caracterización de la muestra inicial el pH se encontraba dentro del límite permisible; y con la implementación del sistema Fitorremediador se ajustó entre 6.5 a 7.5 unidades, el cual se considera un rango apropiado para obtener valores confiables; creando un ambiente ideal ya que los microorganismos se desarrollan o sobreviven en condiciones favorables, hallándose este valor dentro de los límites permisibles que se encuentran estipulados en la norma.

**Tabla 7**  
**Tabla con valores de DQO.**

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados Análisis Inicial	Resultados Análisis Final	% Remoción
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	4265,0	<22,7	99,46

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de la DQO después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 5.** Resultado DQO (Autores, 2018)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos, que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido.

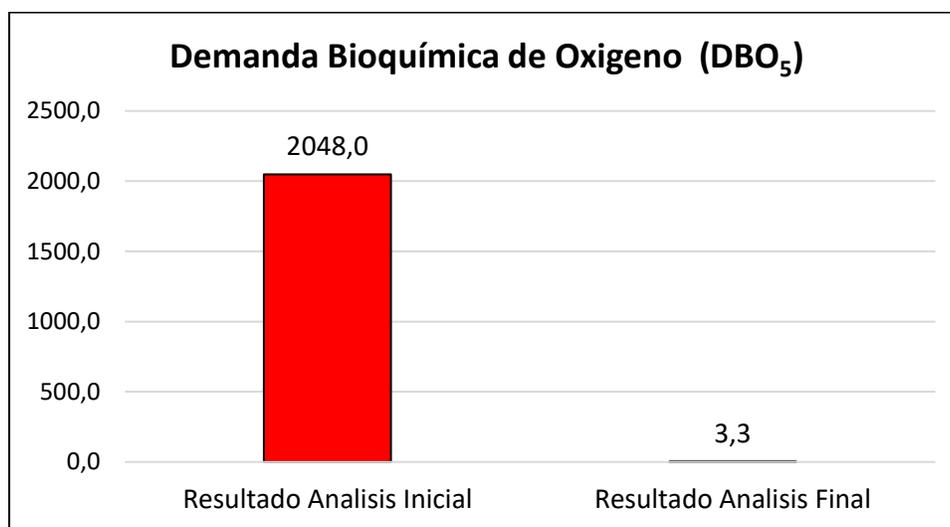
Como se puede observar en la gráfica el DQO disminuyó a 22,7 mg/L O<sub>2</sub> casi en un 99%, lo que permite demostrar que con la implementación del sistema Fitorremediador se logra obtener la demanda química de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica biodegradable que se encuentra presente en el agua.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables.

**Tabla 8**  
*Tabla con valores del DBO<sub>5</sub>.*

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados Análisis Inicial	Resultados Análisis Final	% Remoción
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	2048,0	<3,3	99,83

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 6.** Resultado, DBO<sub>5</sub> (Autores, 2018).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es el principal parámetro para medir la contaminación del tipo de agua que estamos trabajando, ya que permite generalizar el estudio de las diferentes sustancias presentes en el medio; de lo contrario sería muy complicado medir cada una de ellas de manera individual.

La eficacia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de tanto por ciento de disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), una medida de la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos para la oxidación de materia orgánica e inorgánica; para este caso podemos decir que procedimiento que se realizó a las aguas residuales funciono de manera positiva porque elimino el 99% o más de la  $DBO_5$  inicial, mejorando la calidad del agua porque disminuyo el nivel de materiales oxidables orgánicos e inorgánicos presentes, demostrando que se requiere baja cantidad de oxígeno para descomponer la metería orgánica contenida en el agua. A continuación, la Tabla 10 nos muestra los valores típicos Demanda Bioquímica de Oxigeno ( $DBO_5$ ) para aguas de diferente calidad:

**Tabla 9**  
*Valores típicos de la  $DBO_5$ .*

<b>Tipo de Agua</b>	<b><math>DBO_5</math> mg/L</b>
Agua pura	0 a 20
Agua levemente contaminada	20 a 100
Agua medianamente contaminada	100 a 500
Agua muy contaminada	500 a 3000
Agua extremadamente contaminada	3000 a 15000

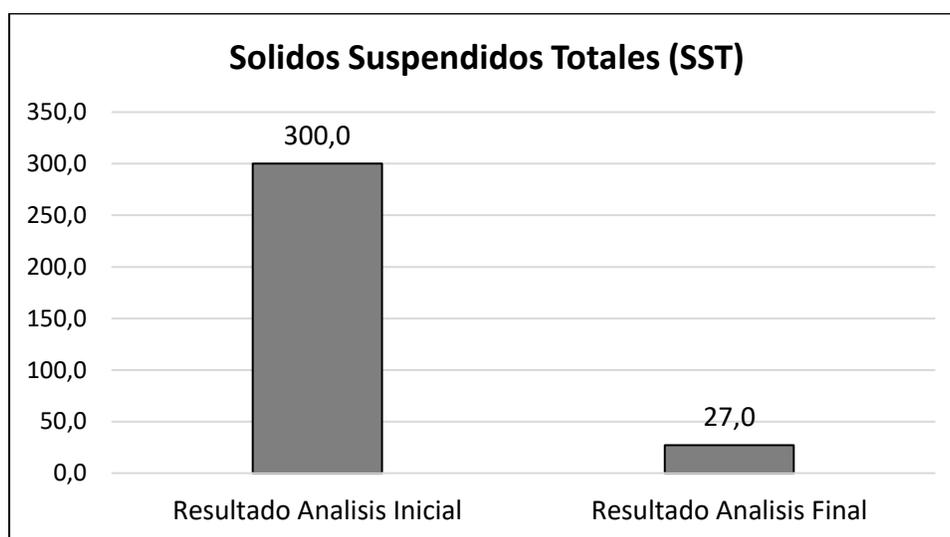
Se proporciona una medida sólo aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales (Freire, s.f)

Según los datos presentes en la Tabla 9, y basados en los resultados obtenidos para este parámetro, cuyo valor fue 3,3 mg/L  $O_2$  después del proceso de tratamiento, se puede asegurar que esta agua es de buena calidad al estar dentro del rango 0 a 20, puede ser vertida sin algún tipo de inconveniente, cumple con las normativas legales sin crear alteraciones medioambientales que ponen en peligro los ecosistemas.

**Tabla 10**  
*Tabla con valores de SST.*

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados Análisis Inicial	Resultados Análisis Final	% Remoción
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L N/L	300,0	27,0	90,63

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de los SST después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 7.** Resultado, SST (Autores, 2018).

Las partículas que se encuentran suspendidas en el agua se denominan sólidos en suspensión (Orellano, 2005) esto significa que:

Los sólidos en suspensión pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los materiales orgánicos tienen origen animal o vegetal. Las sustancias orgánicas siempre contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias inorgánicas tienen, por otro lado, origen mineral y no suelen contener carbono.

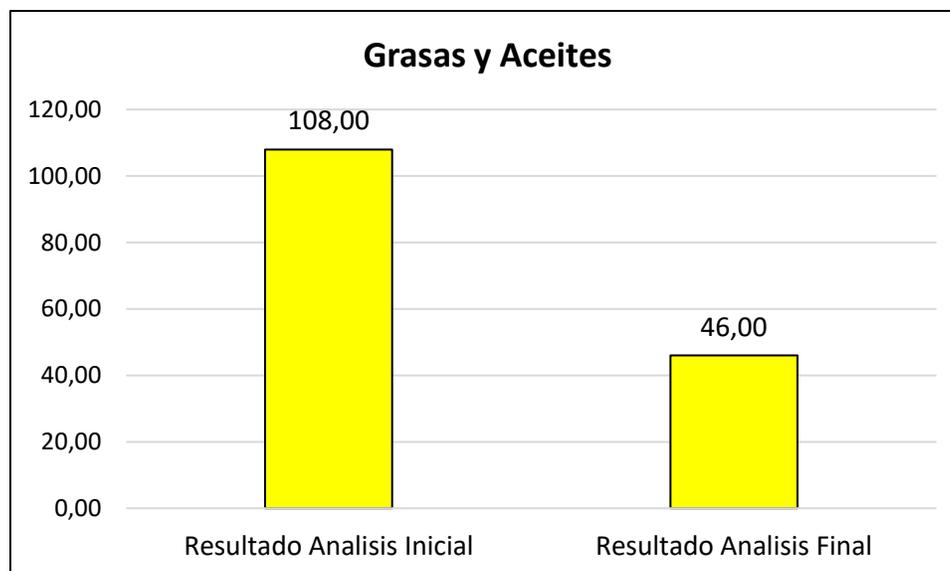
Los sólidos en suspensión desempeñan un papel importante como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que son transportados en la superficie de dichas partículas. Por ello, cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el área superficial por unidad de masa de la partícula, y por lo tanto, mayor será la carga patógena que puede ser transportada (Orellano, 2005, p.3).

En este caso los sólidos suspendidos del agua residual en tratamiento son de origen orgánico ya que sus componentes provienen de origen vegetal lo cual aporta una gran cantidad de carbono. El agua residual tratada permaneció en un estado de quietud durante 8 semanas, permitiéndonos de esta manera eliminar los sólidos suspendidos por medio de sedimentación por lo cual no fue necesaria una filtración; este método nos arrojó unos excelentes resultados ya que finalmente se obtuvo una remoción de 91% de los SST.

**Tabla 11**  
*Tabla con valores Grasas y Aceites.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados Análisis Inicial</b>	<b>Resultados Análisis Final</b>	<b>% Remoción</b>
Grasas y Aceites	mg/L	108,00	46,00	57,4

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de Grasas y Aceites después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 8.** Resultado, Grasas y Aceites (Autores, 2018).

El desarrollo de esta técnica de Fitorremediación favoreció la disminución de las grasas y aceites en un 57,4 %; aunque se logró remover un buen porcentaje de este componente de las aguas residuales de la empresa, no se obtuvo un valor que estuviese dentro de lo admisible por la norma, que corresponde a 40 mg/L; el porcentaje de remoción alcanzado es significativo si se tiene en cuenta que una característica principal de este parámetro, es que las grasas son el componente de este tipo vertimiento que tiene una mayor propensión a oxidarse, provocando una rápida fijación del oxígeno disuelto disponible, lo que ocasiona estados de anoxia puntuales que podrían traer consigo la reproducción de microorganismos filamentosos.

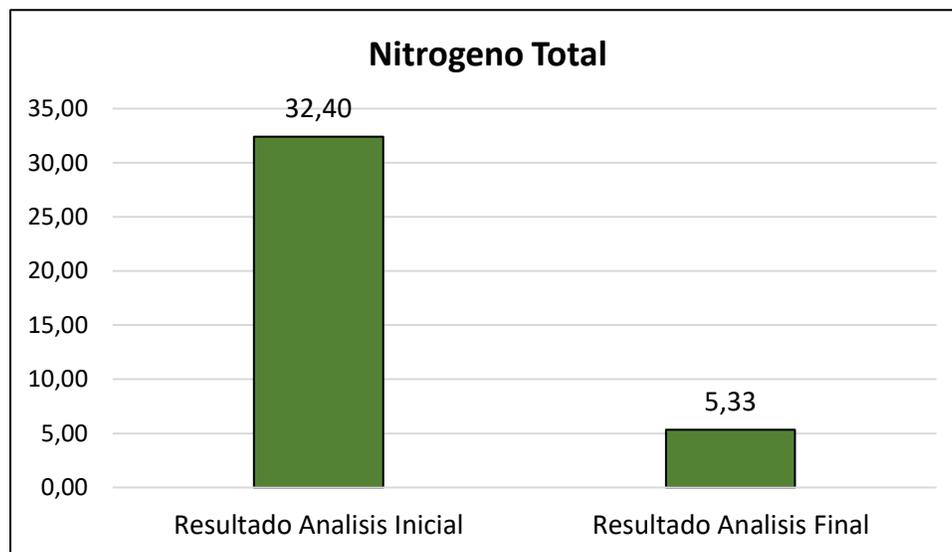
Las grasas y aceites son altamente estables, son inmiscibles con el agua, tienen tendencia a flotar, debido a que su densidad es inferior a la del agua; al permanecer en la superficie da lugar a la aparición de natas y espumas, constituyéndose unas capas que impiden la transferencia de oxígeno, lo cual dificulta cualquier tipo de proceso, biológico o físico-químico, provocando daños en el ecosistema por fenómenos como la eutrofización, entre otros.

Es importante reducir este parámetro en los primeros pasos del tratamiento del agua residual, pues en niveles muy elevados resulta ser un contaminante demasiado estable, que más problema causa al medio ambiente por el agotamiento del oxígeno presente especialmente en las fuentes hídricas.

**Tabla 12**  
*Tabla con valores de Nitrógeno Total.*

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados Análisis Inicial	Resultados Análisis Final	% Remoción
Nitrógeno Total	mg/L N/L	32,40	5,33	83,54

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de Nitrógeno Total después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 9.** Resultado, Nitrógeno Total (Autores, 2018).

El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales porque es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente nitrógeno pueden

ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones.

En las aguas residuales el nitrógeno se encuentra en 4 formas básicas: nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato. Si las aguas residuales son frescas, el nitrógeno se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos, pasando posteriormente a forma amoniacal por descomposición bacteriana.

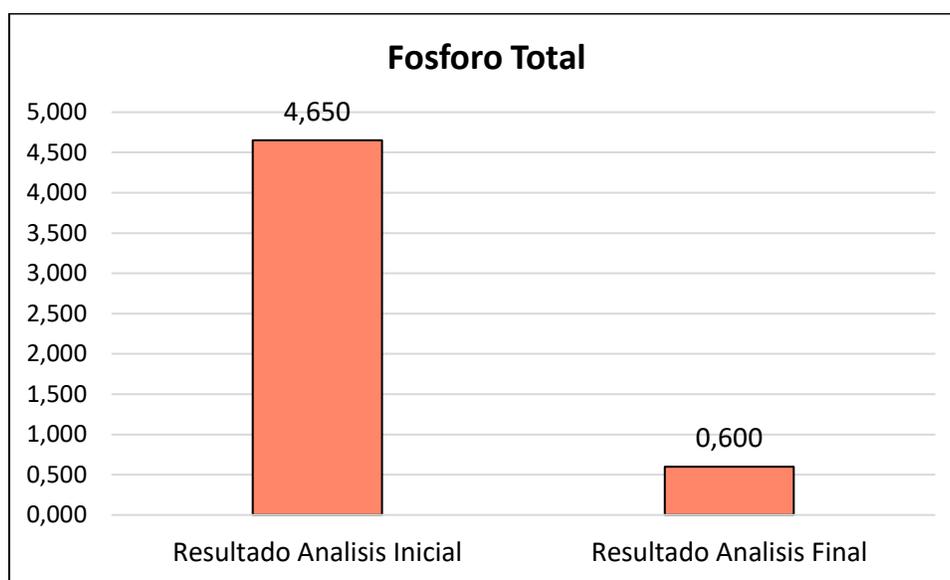
Como se puede evidenciar en la gráfica el agua residual tratada contenía elevadas concentraciones de Nitrógeno, teniendo en cuenta que su procedencia no es doméstica sino industrial, se determina que el aumento de nitrógeno es debido a compuestos proteínicos que favorecen en la pérdida de oxígeno, elemento importante para el crecimiento de las bacterias encargadas de la descomposición de la materia orgánica.

Por tal motivo la importante remoción del 83,54% de Nitrógeno Total que se presentó durante el desarrollo del proyecto, favoreció el crecimiento de las plantas y la degradación de la materia orgánica.

**Tabla 13**  
*Tabla con valores Fosforo Total.*

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados Análisis Inicial	Resultados Análisis Final	% Remoción
Fosforo Total	Mg P/L	4,65	0,600	99,98

Resultados del valor inicial y final; más el porcentaje de remoción de Fosforo Total después del proceso de tratamiento (Autores, 2018).



**Grafica 10.** Resultado, Fosforo Total (Autores, 2018).

El control de las emisiones de fósforo procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales es un factor clave para la prevención de la eutrofización de las aguas superficiales. El fósforo es uno de los nutrientes que contribuyen en mayor grado a la eutrofización de lagos y aguas naturales. Su presencia causa muchos problemas en la calidad del agua incluyendo aumentos en los costes de purificación, la disminución del valor de recreación y de conservación del lagunaje, pérdida de las poblaciones naturales y un posible efecto mortal de las toxinas en las aguas potables (Teixeira & Sánchez, 2013, p.178).

La eliminación de los fosfatos en el agua residual tratada se dio de manera aerobia por medio de la sedimentación de los sólidos suspendidos, los cuales arrastran con ellos diferentes componentes entre ellos las tres formas del fósforo. Finalmente, por medio de una acción microbiana se produce la descomposición del compuesto, el método permitió una remoción del 99,98 %, impidiendo el crecimiento de algas en proyecto y una mayor absorción de oxígeno.

El fósforo total es la suma de los compuestos de las tres formas de fósforo. Es importante aclarar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar un crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras.

## 9 CONCLUSIONES

- Una adecuada caracterización, que permita definir el tipo de agua a tratar, nos brinda los criterios necesarios, para utilización de las múltiples alternativas naturales que existen para el tratamiento de aguas residuales industriales, que garantice no solo el cumplimiento de los parámetros de vertido vigentes, sino que además contribuya con la disminución de valores adicionales en soluciones parciales, que, en la gran mayoría de los casos resultan muy costosos para la industria procesadora de alimentos.
- La Demanda Química de Oxígeno (DQO) nos hace referencia a otra medida indirecta del contenido de materia orgánica presente en un agua residual. Es la cantidad de oxígeno que se precisa para la oxidación de la materia orgánica presente en las aguas residuales industriales. Por lo tanto, este parámetro no puede ser inferior a la DBO, ya que siempre es considerable la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Finalmente, de estos dos parámetros hay que señalar que la DQO es más fácil de normalizar, si bien no revela perfectamente como la DBO la eficacia de autodepuración del medio natural.
- Las plantas empleadas para el desarrollo del proceso de Fitorremediación, deben ser seleccionadas de acuerdo al clima y las características fisicoquímicas y microbiológicas del tipo de agua que se va a tratar, lo anterior es muy importante aplicarlo porque esta clase de vertimiento cuenta con la presencia de factores que hacen difícil la sobrevivencia de las especies vegetales en este medio natural.

- Se determinó que la Fitorremediación con la especie *Acrostichum aureum* (helecho de playa), disminuye los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y Fosforo Total, alcanzando porcentajes mayores al 90 % de remoción, y porcentajes entre 50 y 80 % para los parámetros Grasas y Aceites, y Nitrógeno Total. Aunque no se obtuvieron los valores límites máximos permisibles de todos los contaminantes en cuestión, para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales dictados por la Normatividad Colombiana actual vigente, como lo es la resolución 0631 de 2015, la implementación de esta técnica viene siendo un método efectivo para utilizarlo en industrias que no adelantan algún tipo de tratamiento a los vertimientos, como también para aquellas que no cuenta con los recursos para la implementación de algún tipo de tecnología.
  
- El agua contaminada que posteriormente fue tratada, puede ser vertida entonces en cualquier cuerpo receptor (cuando cumple con las normas de vertimiento), por lo que este proceso puede ser empleado para limpiar o contribuir con la renovación de un sector afectado medioambientalmente, mediante el proceso conocido como biorremediación.
  
- Esta clase de técnica natural resulta fundamental dentro de las modernas tendencias de las industrias en general, pues permite avanzar hacia un desarrollo sustentable, es decir, fundamentar sus actividades sobre tres principios esenciales, ser sustentable económicamente, socialmente y ambientalmente; en esta dirección, consideramos que esta propuesta cubre los tres campos.

## 10 RECOMENDACIONES

- Cuando se realice un montaje para la implementación de un sistema de tratamiento mediante la utilización de una especie vegetal, se debe tener en cuenta realizar varios ensayos, algunos de ellos nos van a registrar error; esto no debe preocupar, puesto que son ejercicios que de cierta manera ayudan a identificar falencias en el sistema, lo que lleva a adoptar medidas que contribuyan a la obtención de mejores resultados.
- Antes de realizar el tratamiento es recomendable someter el vertimiento a un pretratamiento, para este caso una Trampa de grasas, que nos permite la separación de la grasa y los aceites del agua residual. Una vez que la grasa y los aceites se han enfriado a la temperatura del ambiente, flotarán a la parte superior y podrán ser retiradas de forma manual o mecánica; reducido este parámetro con la ayuda del pretratamiento puede avanzar hacia el proceso de Fitorremediación para continuar su reducción. De esta manera los valores que se obtendrán estarán dentro de lo admisible por la norma para este tipo de vertimiento.
- Aumentar el proceso de tratamiento con 2 semanas más para un total de 10, y realizarle un proceso de recirculación al agua, con el fin de brindar una mayor oxigenación, seguramente nos va a permitir obtener unos cambios más notorios y positivos en los diferentes parámetros.

- Tener en cuenta los resultados obtenidos en el proyecto y continuar profundizando en este tipo estudios, que puede ser útil en un futuro no muy lejano para la realización de nuevos tratamientos propuestos por diferentes autores, mediante la utilización de otras especies vegetales, para obtener más datos de la eficiencia en otras condiciones ambientales.

## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adams, D., & Tomlinson, P. *Acrostichum in Florida*. American Fern Journal. 1979; 69 (2): 42-46.

Agricultores Red de Especialistas en Agricultura. (2015). *La Fitorremediación: Plantas Para Tratar la Contaminación Ambiental*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <http://agricultores.com/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>

(Andre, I. J., & Carmouze, J. L., s.f). *VI Características Físico – Químicas del Agua*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-10/36611.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-10/36611.pdf)

Arias, M. S., Betancur, T. F., Gómez, R. G., Salazar, G. J., y Hernández, Á. M. (2010). *Fitorremediación con Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales Porcinas*. [Archivo en Línea]. Recuperado de [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/5/5](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5)

Barba-Ho, L. E., Ballesteros, Y. V., Patiño, P. J., & Ramírez, C. C. (2013). *Impacto Generado por los Vertimientos de las Curtiembres en Corrientes Superficiales Usando Pruebas de Toxicidad*. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. [Archivo en línea]. Recuperado de <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231130851008>>

(Barrenechea, M. A., s.f). *Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua*. [Archivo en PDF].

Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

Becerril, B. J. (2009). *Contaminantes Emergentes en el Agua*. [Archivo en Línea]. Recuperado de

[http://www.ru.tic.unam.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1529/art54\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ru.tic.unam.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1529/art54_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Beleño, I. (2011). *El 50% del Agua en Colombia es de Mala Calidad*. UN Periódico Impreso No.

141.

Carpena, R. O., y Bernal, M. P. (2007). *Claves de la Fitorremediación: Fitotecnologías para la*

*Recuperación de Suelos*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/123>

Carrillo, P. L., y Gómez, G. M. (2008). *Recopilación, Evaluación y Análisis de la Información*

*Para el Programa de Control de Vertimientos Industriales con Descarga al Alcantarillado Para el Municipio de Bucaramanga*. [Archivo en Línea]. Recuperado de

[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/242/digital\\_16630.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/242/digital_16630.pdf?sequence=1)

Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2001). *Administración del agua*

*en América Latina en el umbral del siglo XXI Recursos naturales*. [Archivo en PDF].

Recuperado de  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6384/1/S01070536\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6384/1/S01070536_es.pdf)

Consejo de Europa. (1968). *Carta del Agua*. [Archivo en PDF]. Recuperado de  
[http://aiguesdebenissa.com/attachments/article/6/R\\_00041.pdf](http://aiguesdebenissa.com/attachments/article/6/R_00041.pdf)

Conesa, H. M., Faz, A., & Arnaldos, R. (2007). *Estudios Iniciales para la Fitoestabilización de un Rastreador de Minas del Distrito Minero Cartagena - La Unión (SE España)*. [Archivo en Línea]. Recuperado de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653506007120>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. (2007). *Actualización de los Índices de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Santiago de Cali, Colombia*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/EVALUACION\\_REGIONAL\\_AGUA\\_Ajustes2018\\_2.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-10/EVALUACION_REGIONAL_AGUA_Ajustes2018_2.pdf)

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2010). *Las Aguas Subterráneas. Importancia y Perspectivas en el Valle del Cauca - Colombia*. Sp. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/753/1445>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2013). *Portafolio de Estrategias para la Adaptación al Cambio Climático. Municipio de Guadalajara de Buga Valle del*

Cauca. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/BUGA.pdf>

Cronquist, A., 1991. *Introductory Botany*. Harper International. New York. U. S. A. 885 pp.

Chalen, M. J. (2017). *Eliminación de la Materia Orgánica e Inorgánica Presentes en el Agua Residual de una Industria de Pulpa de Fruta Empleando un Catalizador Enzimático*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6326656.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2009). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/nomenclaturas/CIIU\\_Rev4ac.pdf](https://www.dane.gov.co/files/nomenclaturas/CIIU_Rev4ac.pdf)

Delgadillo, L. A., González, R. C., Prieto, G. F., Villagómez, I. J., y Acevedo, S. O. (2011). *Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar la Contaminación*. [Archivo en Línea]. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002)

Diez, L. J. (2009). *Fitocorrección de Suelos Contaminados con Metales Pesados. Evaluación de Plantas Tolerantes y Optimización del Proceso Mediante Prácticas Agronómicas*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=108117>

Domínguez, H. G., Franyutti, V. f., Martínez, J. V., y Reyes, M. A. (2014). *Proceso de Fabricación de Aceite Vegetal*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/victorjimenez980/proceso-de-produccion-del-aceite>

Eakle, T. *Photoperiodic Control of Spore Germination of Acrostichum aureum*. American Fern Journal. 1975; 65: 94-95.

(EcuRed., s.f). *Pteridofitas*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Pteridofitas>

Ellison, J., Koedam, N. Y., Primavera, J., Jin Eong, O., Wan-Hong Y. J., & Ngoc Nam, V. *Acrostichum Aureum. La Lista Roja de Especies Amenazadas*. 2010 de la UICN: e.T177110A7366131.

Environmental Protección Agency (EPA). (1996). *Guía del Ciudadano: Medidas Fitocorrectivas*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.epa.gov/swertio1/download/remed/spanphyt.pdf>

(Espigares, G. M., y Pérez, I. J., s.f). *Aguas Residuales. Composición*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Ferrera, C. R., Rojas, A. N., Poggi, V. H., Alarcón, A., & Cañizares, V. R. (2006). *Procesos de Biorremediación de Suelo y Agua Contaminados por Hidrocarburos del Petróleo y Otros Compuestos Orgánicos*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062s.pdf>

Garay, J., Ramírez, J., Betancourt, B., Marín, B., Cadavid, L., Panizzo, L., Lesmes, J.E., Sánchez, H. L., y Franco, A. (2003). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos*. INVEMAR, Santa Marta, pp.177.

Geneviève, M., Carr, J., & Neary, P. (2008) *Water Quality for Ecosystem and Human Health*. 2 Edition. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (GEMS)/ Water Programme.

(Gobierno de España. Proyecto Biosfera., s.f). *La Clasificación de los Organismos. Pteridofitas*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/1bachillerato/organismos/contenidos16.htm>

(Huberman, M. A., s.f). *Silvicultura de los Manglares*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <http://www.fao.org/3/x5393s04.htm>

(Idagarra, F. L., s.f.). *Noticias y Novedades Estadísticas. Universidad Nacional de Colombia.*

[Archivo en Línea]. Recuperado de

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo\\_7/Pages/calidad\\_agua.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_7/Pages/calidad_agua.htm)

Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. (2003).

*Agua para Todos, Agua para la Vida. Resumen.* [Archivo en PDF]. Recuperado de

<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>

(Jardín Botánico de Mérida., s.f). *Helecho de Playa.* [Archivo en Línea]. Recuperado de

[http://vereda.ula.ve/jardin\\_botanico/areas-tematicas/jardin-acuatico/helecho-de-playa/](http://vereda.ula.ve/jardin_botanico/areas-tematicas/jardin-acuatico/helecho-de-playa/)

Jiménez, A. S. (2011). *Estado Actual de Conocimiento del Uso de Algunos de los Helechos*

*Presentes en Colombia.* [Archivo en Línea]. Recuperado de

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8838/tesis783.pdf?sequence=1>

(Kasetsu, N., s.f.). *DBO y DQO Para Caracterizar Aguas Residuales.* [Archivo en Línea].

Recuperado de <http://nihonkasetsu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>

Landazábal, M. B. (2017). *Pre Diseño de la Red Automática de Monitoreo de la Calidad el Agua*

*del Rio Cauca en el Área de Influencia de la Corporación Autónoma Regional del Valle del*

*Cauca.* [Archivo en PDF]. Recuperado de

<https://Stadium.Unad.Edu.Co/Preview/Unad.Php?Url=/Bitstream/10596/13086/1/3275296>

7.pdf

(Lenntech., s.f). *pH y Alcalinidad*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>

Li, X., & Ong, B. *Responses of the Photosynthesis to NaCl in Gametophytes of Acrostichum aureum*. *Physiologia Plantarum*. 1998; 102: 119-127.

Li, M. S., Luo, P., & Su, Z. Y. (2007). *Heavy Metal Concentrations in Soils and Plant Accumulation in a Restored Manganese Mineland in Guangxi, South China*. *Environmental Pollution*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/31/6/2104>

Lizarazo, B. J., y Orjuela, G. M. (2013). *Sistemas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Lloyd, R., & Buckley, D. *Effects of Salinity on Gametophyte Growth of Acrostichum aureum and A. Danaeifolium*. *Fern Gazette*. 1986; 13:97–102.

Marrero, C. J., Amores, S. I., & Coto P. O. (2012). *Fitorremediación, una Tecnología que Involucra a Plantas y Microorganismos en el Saneamiento Ambiental*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 631 de 2015*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Departamento Nacional de Planeación. (2004). *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_MANEJO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES\\_EN\\_COLOMBIA.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf)

Montalvo, J. F., García, I., Loza, S., Esponda, S. C., César, M. E., González, Z. R., y Hernández, L. (2008). *Oxígeno Disuelto y Materia Orgánica en Cuerpos de Aguas Interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo45.pdf>

Moreno, C. P., & Infante, M. D. (2016). *Conociendo los Manglares, las Selvas Inundables y los Humedales Herbáceos*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www1.inecol.edu.mx/costasustentable/esp/pdfs/Publicaciones/ManualManglaresYSelvasInundables.pdf>

Musguito. (2010). *Geografía y Naturaleza. Los Grandes Helechos*. [Archivo en Línea].

Recuperado de [http://musguito.net.ve/helecho\\_1.htm](http://musguito.net.ve/helecho_1.htm)

Navarrete, H., León, B., Gonzales, J., Avilés, D., Salazar, J., Mellado, F., Albán, J., & Olgaard, B.

(2006). *Helechos. Botánica Económica de los Andes Centrales*. 385-411.

(Nieto, P. M., s.f). *Proceso de Fabricación de Aceite Vegetal*. [Archivo en Línea]. Recuperado de

<https://es.slideshare.net/victorjimenez980/proceso-de-produccion-del-aceite>

Ojeda, B. E. (2000). *Informe Nacional Sobre la Gestión del Agua en Colombia. Recursos Hídricos,*

*Agua Potable y Saneamiento*. [Archivo en PDF]. Recuperado de

<https://www.cepal.org/drni/proyectos/santac/inco00200.pdf>

Orellano, J. A. (2005). *Características de los Líquidos Residuales*. [Archivo en PDF]. Recuperado

de

[https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A](https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A)

[4\\_Capitulo\\_08\\_Caracteristicas\\_de\\_Liquidos\\_Residuales.pdf](https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A)

(Paz, L., s.f). *Presentación Post – Botánica. Acrostichum aureum*. [Archivo en VIDEO].

Recuperado de [https://steemit.com/stem-espanol/@lupafilotaxia/botanica-acrostichum-](https://steemit.com/stem-espanol/@lupafilotaxia/botanica-acrostichum-aureum-pteridaceae)

[aureum-pteridaceae](https://steemit.com/stem-espanol/@lupafilotaxia/botanica-acrostichum-aureum-pteridaceae)

- Palta, P. G., y Morales, V. S. (2013). *Fitodepuración de Aguas Residuales Domesticas con Poaceas: Brachiaria Mutica, Pennisetum Purpureum y Panicum Maximun en el Municipio de Popayán, Cauca.* [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a07.pdf>
- Pedraza, C. B., Quiroga, T. M., y Díaz, M. R. (2017). *Incidencia de los Factores Competitivos en la Gestión de Aguas y Vertimientos de la Curtiembre Pedraza en el Barrio San Benito: Estudio de Caso.* [Archivo en PDF]. Recuperado de <file:///C:/Users/Ivan%20Diaz/Downloads/4665-13577-3-PB.pdf>
- Peña, S. E., Madera, P. C., Sánchez, J. M., y Medina, V. J. (2013). *Bioprospección de Plantas Nativas Para su Uso en Procesos de Biorremediación: Caso Helicon.* [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n145/v37n145a04.pdf>
- Pérez, G. C., León, R. F., y Delgadillo, G. G. (2013). *Tratamiento de Aguas Manual De Laboratorio.* [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo\\_editorial/comite\\_editorial/manuales/tratamiento\\_aguas\\_manualprac.pdf](http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamiento_aguas_manualprac.pdf)
- Pinto, P. (2017). *Muestreo de Raíces - Método de Planta Entera.* [Archivo en VIDEO]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Dza8unXDxSs>

Prasad, M. N., & Freitas, H. M. (2003). *Metal Hyperaccumulation in Plants- Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology*. *Journal of Molecular Biology & Genetics*. 6: 276-312.

(Proyecto Biosfera., s.f). *Pteridofitas*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1bachillerato/organismos/contenidos16.htm>

QBCO S.A.S. (2018). *Caracterización de Aguas Residuales*. O.S No. I - 001

Ragavan, P., Saxena, M., Saxena, A., Mohan, P. M., Sachithanandam, V., & Coomar, T. (2014). *Floral Composition and Taxonomy of Mangroves of Andaman and Nicobar Islands*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/28974/3/IJMS%2043%286%29%201037-1050.pdf>

Ramos, I., & Uribe, I. (2009). *Planta Piloto para Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de Acesco por Medio de Humedales Construidos – Láminas Filtrantes*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <https://guayacan.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/7b-Ramos-Colombia-001.pdf>

Rathinasabapathi, B., & Srivastava, M. (2006). *Arsenic Hyperaccumulating Ferns and their Application to Phytoremediation of Arsenic Contaminated Sites. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology*. (3): 304-311

República de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Departamento Nacional de Planeación. (2004). *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_MANEJO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES\\_EN\\_COLOMBIA.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf)

Reyes, A. J. (2016). *Formulación y Diseño de un Sistema de Fitorremediación para Tratamientos de Aguas Hidrocarburadas en Estaciones de Servicio Biomax*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18934/41082190\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18934/41082190_2016.pdf?sequence=1)

Rodier, J. *Análisis de Aguas: Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar*. Omega, Barcelona, 1981.

Rodríguez, N. J. (2011). *Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Vertimientos Generados en las Unidades de Atención Básica del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Nivel Nacional, 2009 - 2015*. [Archivo en Línea]. Recuperado de

<https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2011/gestion-integral-residuos-hospitalarios-vertimientos-generados-en-unidades>

Romero, R. J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera Edición. p 28.*

(Salazar, C. R., s.f). *Tratamiento de Aguas Residuales en Acuicultura.* [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aya2/tema07.pdf>

(Sánchez, L. J., s.f). *Los Helechos de los Patios Canarios.* [Archivo en PDF]. Recuperado de <https://www.arbolesornamentales.es/HELECHOS%20DE%20LOS%20PATIOS%20CANARIOS.pdf>

Sánchez, M. M. (1994). *Contribución al Estudio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).* [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/7204/1/1020091184.PDF>

Sánchez, M. L., Arreguín, S. M., y Fernández, N. R. (2008). *Gametofitos y Esporofitos Jóvenes de Dos Pteridofitas: Asplenium Monanthes L. (Aspleniaceae-Pteridophyta) y Elaphoglossum minutum (Pohl ex Fée) T. Moore (Lomariopsidaceae-Pteridophyta).* [Archivo en Línea]. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682008000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682008000100004)

Sawyer, C.; McCarty, P. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw Hill, New York, 1996

Segura, T. L. (2007). *Estudio de Antecedentes Sobre la Contaminación Hídrica en Colombia*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>

Shrestha, B., Lipe, S., Johnson, K.A., Zhan, T.Q., Retzlaff, W., & Lin, Q. (2006). *Soil Hydraulic Manipulation and Organic Amendment for the Enhancement of Selenium Volatilization in a Soil-Pickleweed System. Plant and Soil*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-006-9107-2#citeas>

Singh, O. V., & Jain, R. K. (2003). *Fitorremediación de Contaminantes Tóxicos del Suelo*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-003-1425-1>

Singh, A., Kuhad, R. C., & Ward, O. P. (2009). *Soil Biology. Advances in Applied Bioremediation*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=TqAKrrIRPOEC&pg=PA264&lpg=PA264&dq=Macek+et+al,+2007&source=bl&ots=D4ff3OtjrD&sig=yaQBR39YFa52ToGII1KuQ8MZutc>

&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwio3c\_c8YTdAhWMylkKHdWQAtIQ6AEwCHoECAIQA  
Q#v=onepage&q=Macek%20et%20al%2C%202007&f=false

Teixeira, C. G., Sánchez, O. I., Gebara, D., Dall’Aglío, S. M., & Matsumoto, T. (2013). *Remoción de Fósforo de Diferentes Aguas Residuales en Reactores Aerobios de Lecho Fluidizado Trifásico con Circulación Interna*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (67), 172-182.

Thomas, E. N. (1905). *New Phytologist. Some Points in the Anatomy of Acrostichum aureum*. [Archivo on Line]. Recuperado de <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1905.tb05900.x>

Torrado, R. N., Ortega, F. F., Martínez, H. G., y Fernández, C. I. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida de la Fitorremediación en Vertederos Industriales*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10\\_1513\\_1523.2864.pdf](http://www.aepro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_1513_1523.2864.pdf)

Universidad Nacional de Colombia. (2017). *Acrostichum. Tratamiento Taxonómico*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <http://www.biovirtual.unal.edu.co/floradecolombia/es/description/827/>

Valencia, D. E., y Ramírez, C. M. (2009). *La Industria de la Leche y la Contaminación del Agua*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.elementos.buap.mx/num73/pdf/27.pdf>

Vara, P. M., y Oliveira, F. H. (2003). *Hiperacumulación de Metales en Plantas - Prospección de Biodiversidad para Tecnología de Fitorremediación*. [Archivo en Línea]. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-34582003000300012&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-34582003000300012&script=sci_arttext)

Velásquez, A. J. (2016). *Contaminación de Suelos y Cuerpos de Agua por Hidrocarburos en Colombia Fitorremediación Como Estrategia Biotecnológica de Recuperación*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/12098/1/1094891851.pdf>

Vareschi, V. *Helechos. Flora de Venezuela, Instituto Botánico*. Edición especial. Caracas. 1969; 1 (1).

Vidales, O. A., Leos, M. M., & Campos, S. M. (2010). *Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415759007>

(Vives, A. J., s.f). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos (Aguas, Sedimentos Y Organismos)*. [Archivo en PDF]. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

Zhang, B., Wu, Z., Cheng, S., He, F., Wang, Y., & Gao, Y. (2007). *Primary Study on Phytodegradation of Bisphenol a by Eloclea nuttallii*. [Archivo en Línea]. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11859-007-0110-0>

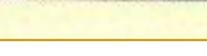
Zhuang, P., Yang, Q. W., Wang, H. B., & Shu, W. S. (2007). *Phytoextraction of Heavy Metals by Eight Plant Species in the Field. Water, Air, & Soil Pollution*. [Archivo en PDF]. Recuperado de [file:///C:/Users/Ivan%20Diaz/Downloads/Phytoextraction\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_by\\_Eight\\_Plant\\_Spe.pdf](file:///C:/Users/Ivan%20Diaz/Downloads/Phytoextraction_of_Heavy_Metals_by_Eight_Plant_Spe.pdf)

## 12 ANEXOS

## ANEXO 1. Resultados de laboratorio análisis inicial.

		GERENCIA OPERATIVA		VERSION 1 FECHA: 08/08/2018
GO-FR-078		REPORTE DE RESULTADOS DEL LABORATORIO AMBIENTAL		Aprobó: Coordinador de Laboratorio
FECHA DEL INFORME: 2018-12-20	CONSECUTIVO: IF-1116-18	PLAN DE MUESTREO No: N/A		
NOMBRE CLIENTE O RAZÓN SOCIAL		Lupe Ospina Vargas		Página 1 de 2
DIRECCIÓN:		Calle 4A 4E-43 Buga-Valle		
TELÉFONO:		3182506269		
FECHA DE MUESTREO:		2018-09-19		
INSTRUCTIVO BASE PARA MUESTREO:		Toma de muestras/ aforo de caudal y manipulación de muestras GN-IT-002		
TIPO DE MUESTRA:		Agua Residual Industrial		
TOMADA POR:		Lupe Ospina Vargas - Personal contratante		
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:		2018-09-19 Hora: 18h 21 min		
FECHA DE ANÁLISIS:		2018-09-19 a 2018- 10-02		
NOMBRE DE LA MUESTRA:		LUPE OSPINA VARGAS LBBE 0844-18		
<b>ANÁLISIS ACREDITADOS</b>				
<b>ANÁLISIS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>METODO</b>	<b>RESULTADO</b>	
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	Incubación a 5 días SM-5210 B	2048,0	
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - EDTA SM-2340C	115,65	
DOO	mg/L O <sub>2</sub>	Reflujo cerrado micro y espectrofotométrico SM-5220 D	4265,0	
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - EDTA SM 3500-Ca B	31,95	
Cloruro	mg/L Cl <sup>-</sup>	Argentométrico SM- 4500-Cl- B	262,75	
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SM- 2320B	45,43	
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Nefelométrico- SM- 4500-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> - E	<6,6	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Secado a 103°C SM- 2540 D	300,0	
<b>ANÁLISIS NO ACREDITADOS</b>				
<b>ANÁLISIS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>METODO</b>	<b>RESULTADO</b>	
Sólidos sedimentables	mL/L	Volumétrico SM- 2540 F	1,5	
Ca <sup>++</sup>	mg/L	Potentiométrico Aforo de Methylene SM 6512B	23,10	
Fosfatos	mg/L P-PO <sub>4</sub>	Espectrofotométrico SM-4500 P - E	1,73	
Color aparente	UPC	Comparación Visual SM 2120 B	300	
Acidez	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico SM 2310 B	0	
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	Colorimétrico SM 4500-NO <sub>2</sub> - B	0,145	
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	Espectrofotométrico SM 4500-NO <sub>3</sub> - B	0,988	
Cadmio	mg/L	Espectrofotometría de absorción atómica Llama Aire - Acetileno SM-3111 B	<0,1	
Piomo	mg/L	Espectrofotometría de absorción atómica Llama Aire - Acetileno SM-3111 B	<0,1	
Fósforo total	mg P/L	Espectrofotométrico SM-4500 P - E	4,650	
Turbiedad	NTU	Nefelométrico- SM 2130 B	661,000	
Nitrogeno total	mg N/L	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C	32,40	
Coliformes totales	NMP/100ml	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B	6X10 <sup>7</sup>	
Coliformes fecales NMP	NMP/100mL	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B	<1,0	
Grasas y aceites	mg/L	Extracción Soxhlet SM-5520 D	108,00	
Amonio	mg/L N-NH <sub>3</sub>	Electrodo Selectivo - SM-4500-NH <sub>3</sub> D	0,20	
pH	UN	Potenciométrico SM- 4500-H+ B	6,90	
<b>ACLARACIÓN:</b> Los resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada con los parámetros mencionados y no garantiza el cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Laboratorio Ambiental.				
<b>OPINIONES:</b> El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, salvo solicitud del cliente.				
OBSERVACIONES: N/A				
<b>ANÁLISIS SUBCONTRATADOS</b>				
<b>ANÁLISIS/METODO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>LABORATORIO SUBCONTRATADO</b>	
---	---	---	---	
<b>CONTROL DEL INFORME</b>				
RESPONSABLES DEL ENSAYO	NOMBRE Y CARGO			FIRMA
	Juan Diego Ospina Moreno Analista Laboratorio Ambiental			Juan Diego O.
RESPONSABLE DEL INFORME	Derly Estefany Gallego Analista Auxiliar Laboratorio Ambiental			Derly Estefany G.
	Elaboró: Angélica María García - Auxiliar Administrativa			Angélica M. G.
	Aprobó: Daniela Marín Cardona - Coordinadora Laboratorio Ambiental			Daniela Marín C.
*****FIN DE REPORTE*****				

## ANEXO 2. Resultados de laboratorio análisis final.

		GERENCIA OPERATIVA		VERSION 1 FECHA: 08/08/2018
GO-FR-078		REPORTE DE RESULTADOS DEL LABORATORIO AMBIENTAL		Aprobó: Coordinador de Laboratorio
FECHA DEL INFORME: 2018-12-20	CONSECUTIVO: IE-1117-18	PLAN DE MUESTREO No: N/A		
NOMBRE CLIENTE O RAZÓN SOCIAL: Lupe Ospina Vargas		Página 2 de 2		
DIRECCIÓN: Calle 4A 4E-43 Buga-Valle				
TELÉFONO: 3162506269				
FECHA DE MUESTREO: 2018-10-30				
INSTRUCTIVO BASE PARA MUESTREO: Toma de muestras/ aforo de caudal y manipulación de muestras GH-IT-002				
TIPO DE MUESTRA: Agua Residual Industrial				
TOMADA POR: Lupe Ospina Vargas- Personal contratante				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN: 2018-10-30 Hora: 18h 00 min				
FECHA DE ANÁLISIS: 2018-10-30 a 2018-11-15				
NOMBRE DE LA MUESTRA: Lupe Ospina Vargas		Cód: 0872-18		
ANÁLISIS ACREDITADOS				
ANÁLISIS	UNIDADES	METODO	RESULTADO	
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	Incubación a 5 días SM-5210 B	<3,3	
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - EDTA SM-2340C	268,0	
DGO	mg/L O <sub>2</sub>	Reflujo cerrado micro y espectrofotométrico SM-5220 D	<22,7	
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - EDTA SM 3500-Ca B	52,11	
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	Argentométrico SM- 4500-Cl- B	4,72	
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SM- 2320B	292,3	
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Nefelométrico- SM- 4500-SO <sub>4</sub> - E	27,940	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Secado a 103°C SM- 2540 D	<28,1	
ANÁLISIS NO ACREDITADOS				
ANÁLISIS	UNIDADES	METODO	RESULTADO	
Sólidos sedimentables	mL/L	Volumétrico SM- 2540 F	0,0	
SAAM	mg/L	Fotométrico-Azul de Metileno SM 5540C	10,2	
Fosfatos	mg/L P-PO <sub>4</sub>	Espectrofotométrico SM-4500 P - E	<0,1	
Color aparente	UPC	Comparación Visual SM 2120 B	30	
Acidez	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico SM 2310 B	0	
Nitrato	mg/L N-NO <sub>3</sub>	Colorimétrico SM 4500-NO <sub>3</sub> - B	0,026	
Nitrato	mg/L N-NO <sub>3</sub>	Espectrofotométrico SM 4500-NO <sub>3</sub> - B	0,241	
Cadmio	mg/L	Espectrofotometría de absorción atómica Llama Aire-Acetileno SM-3111 B	<0,1	
Pomo	mg/L	Espectrofotometría de absorción atómica Llama Aire-Acetileno SM-3111 B	<0,1	
Fósforo total	mg P/L	Espectrofotométrico SM-4500 P - E	0,600	
Turbiedad	NTU	Nefelométrico- SM 2130 B	1,970	
Nitrogeno total	mg N/L	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C	5,33	
Coliformes totales	NMP/100ml	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B	17X10 <sup>2</sup>	
Coliformes fecales NMP	NMP/100ml	Tubos Múltiples de Fermentación SM 9221 B	6,6X10 <sup>2</sup>	
Grasas y aceites	mg/L	Extracción Soxhlet SM-5520 D	48,00	
Amonio	mg/L NH <sub>3</sub>	Electrodo Selectivo- SM-4500-NH <sub>3</sub> D	0,12	
pH	UN	Potenciométrico SM- 4500-H+ B	7,90	
<b>ACLARACIÓN:</b> Los resultados aquí presentados son válidos únicamente para la muestra analizada; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Laboratorio Ambiental.				
<b>OPINIONES:</b> El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, salvo solicitud del cliente.				
OBSERVACIONES: N/A				
ANÁLISIS SUBCONTRATADOS				
ANÁLISIS/METODO	UNIDADES	RESULTADO	LABORATORIO SUBCONTRATADO	
---				
CONTROL DEL INFORME				
NOMBRE Y CARGO			FIRMA	
RESPONSABLES DEL ENSAYO	Juan Diego Ospina Moreno Analista Laboratorio Ambiental			
	Deryly Estefany Gallego Analista Auxiliar Laboratorio Ambiental			
RESPONSABLE DEL INFORME	Elaboró: Angélica María García- Auxiliar Administrativo			
	Aprobó: Daniela Marín Cardona Coordinadora Laboratorio Ambiental			
*****FIN DE REPORTE*****				

## ANEXO 3. Acreditación del laboratorio encargado de realizar los estudios.



Ministerio del Medio Ambiente,  
Ordenamiento Territorial y  
Desarrollo Sostenible



IDEAM Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales

**RESOLUCIÓN N° 1043 S**

*\*Por la cual se modifica la Resolución N°0879 del 11 de mayo de 2016 a través de la cual renovó la acreditación del LABORATORIO AMBIENTAL DE LA EMPRESA MULTIPROPÓSITO DE CALARCA S.A.S. E.S.P., para producir información cuantitativa, física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y se toman otras determinaciones\**

**EL DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM-**

En uso de sus facultades legales y en especial las conferidas por el artículo 2.2.8.10.1.5 del Decreto 1076 de 2015, el numeral 8 del artículo 5 del Decreto 291 de 2004, la Resolución N°. 0268 de 2015 y

**CONSIDERANDO:**

Que mediante la Resolución N° 0879 del 11 de mayo de 2016, el IDEAM renovó la acreditación para producir información cuantitativa física y química, para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes al **LABORATORIO AMBIENTAL DE LA EMPRESA MULTIPROPÓSITO DE CALARCA S.A.S. E.S.P.**, con NIT No. 801004102-7, ubicado en la carrera 16 calle 47 variante norte – vía barrio los tanques (Calarcá – Quindío), bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración", versión 2005

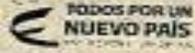
Que en el Artículo 2°.-, de la Resolución N°0879 del 11 de mayo de 2016, se resolvió:

*\*No renovar el alcance de la acreditación para producir información cuantitativa física y química, para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes al **LABORATORIO AMBIENTAL DE LA EMPRESA MULTIPROPÓSITO DE CALARCA S.A.S. E.S.P.**, con NIT No. 801004102-7, ubicado en la carrera 16 calle 47 variante norte – vía barrio los tanques (Calarcá – Quindío), para las siguientes variables bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración", versión 2005:*

**1. Toma de Muestra Simple en Agua Superficial: Variables medidas en campo:  
Temperatura (SM 2550 B).**

Calle 250 No. 928 - 70 Bogotá D.C. Pbx (57) 3527160  
Fax Selver: 3527110  
Línea Nacional 018002110712 - Pronóstico y Alertas (571) 3527168  
Sede Puente Aranda: Calle 12 No 428 - 44 Bogotá D.C. Pbx: 2681070  
[www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

Página 1 de 14





INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM

RESOLUCIÓN N°. **0436** DE **20 FEB 2018**

**ARTÍCULO 10°.-** La vigencia del presente acto administrativo terminará en la misma fecha establecida para la vigencia de la acreditación del **LABORATORIO AMBIENTAL DE LA EMPRESA MULTIPROPÓSITO DE CALARCA S.A.S, E.S.P.**, mediante la Resolución No. 0879 del 11 de mayo de 2016.

**NOTIFÍQUESE Y CÚMPLASE**

Dada en Bogotá, D.C., a los **20 FEB 2018**

  
**OMAR FRANCO TORRES**  
Director General

	Nombre	Cargo	Firma
Revisión Técnica	Julián Carlo Guerrero	Contralor - Grupo de Acreditación	
Revisión Jurídica	Julio César Ramírez Borda	Abogado - Grupo de Acreditación	
Aprobó	Diana Fajardo Fandiño Henán	Coordinadora del Grupo de Acreditación (E)	
Aprobó	Gilberto Antonio Ramos Suarez	Jefe Oficina Asesoría Jurídica	

Los arriba firmados declaramos que hemos revisado el presente documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales y/o técnicas vigentes y por lo tanto bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma del Director General.

Reficado: 2017901338421

Expediente: 201960100180400030E

Página 14 de 14

#### ANEXO 4. Registro fotográfico.

- Toma de muestra simple realizada en la bomba que conduce toda el agua residual de producción.



- Adquisición de la especie *Acrostichum aureum* (helecho de playa).



- Montaje del proceso.



**ANEXO 5. Cronograma.**

ACTIVIDADES	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Recolección de información acerca del sistema a implantar	■																															
Obtención de la especie vegetal con la que se piensa trabajar el proceso		■																														
Cotizaciones y búsqueda de laboratorio certificado por el IDEAM		■																														
Toma de muestra inicial y análisis físico - químicos y microbiológicos			■	■																												
Compra de materiales y construcción del montaje			■	■																												
Proceso de tratamiento					■	■	■	■	■	■	■	■																				
Toma de muestra final y análisis físico - químicos y microbiológicos													■	■																		
Elaboración de informe										■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Encuentros con el asesor del proyecto UNAD	■									■							■				■		■		■							
Entrega del documento final																						■	■	■	■							
Sustentación																													■	■		