



**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE
FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y
ABASTECIMIENTO BIOMAX MANSILLA.**

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 11 de Mayo, 2018

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE
FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y
ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.**

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Carel Elizabeth Carvajal Arias

Línea de Investigación:
Saneamiento Ecológico

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

A mi familia por siempre darme el apoyo y la fuerza para seguir con mi proceso de formación.

A cada uno de mis docentes por brindarme lo mejor de ellos, para mi desarrollo profesional.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por brindarme todo el apoyo para mi crecimiento profesional y Reconocimiento a las personas, la Universidad del Bosque y Biomax S.A que ayudaron en la realización de la investigación.

Tabla de Contenido

1. Resumen	12
1.1 Abstract	12
2. Introducción.....	13
3. Planteamiento del problema	14
4. Objetivo General y Específicos	15
4.1 Objetivo General:	15
4.2 Objetivos Específicos:.....	15
5. Justificación.....	16
6. Marco de referencia.....	17
6.1 Antecedentes	17
6.2 Conceptual	18
6.3 Teórico	19
6.4 Normativo.	21
6.5 Geográfico.....	23
6.6 Institucional Organigrama.....	24
7. Metodología	25
8. Plan de trabajo.....	32
9. Aspectos Éticos.....	34
10. Resultados.....	34
11. Análisis y discusión de resultados	41
12. Conclusiones y Recomendaciones.....	46
13. Bibliografía	47
14. Anexos	49

Listado de Figuras

Figura 1: Simbiosis plantas – microorganismos en sistemas de Fitorremediación	20
Figura 2: Ubicación Planta Biomax Mansilla	22
Figura 3: Organigrama institucional Biomax S.A	24
Figura 4: Laboratorio test de inmunoensayo para TPH	26
Figura 5: Tonalidad azul en la muestra preparada según los indicadores del test.	27
Figura 6: Tonalidad amarilla en la muestra preparada según los indicadores del test.	27
Figura 7: Representación ley Lambert Beer	28
Figura 8: Resultados obtenidos mediante procedimiento del test de inmunoensayo para TPH	29
Figura 9: Diagrama de flujo Metodología - propuesta de optimización de humedal artificial	31
Figura 10: Diseño cubierta humedal artificial	42
Figura 11: Representación cubierta y sistema de captación de agua lluvia para Humedal artificial	41

Listado de Tablas

<i>Tabla 1:</i> Descripción de humedales piloto adecuados para el proyecto	25
<i>Tabla 2:</i> Parámetros de medición con multiparametro Hi9828	26
<i>Tabla 3:</i> Plan de trabajo Proyecto Biomax	33
<i>Tabla 4:</i> Parámetros fisicoquímicos para la piscina de oxidación	34
<i>Tabla 5:</i> Parámetros fisicoquímicos para humedal artificial	34
<i>Tabla 6:</i> Datos para la elaboración de la curva de calibración	36
<i>Tabla 7:</i> Resultados concentraciones halladas en las muestras	37
<i>Tabla 8:</i> Cotización de reparación y mantenimiento humedal artificial, Planta Biomax Mansilla	40

Listado de Gráficas

<i>Gráfica 1:</i> Comparación oxígeno disuelto para piscina de oxidación y humedal artificial	35
<i>Gráfica 2:</i> Comparación concentración oxígeno disuelto para P.O. y humedal artificial	35
<i>Gráfica 3:</i> Comparación pH para piscina de oxidación y humedal artificial	35
<i>Gráfica 4:</i> Comparación ST Disuelto para piscina de oxidación y humedal artificial	36
<i>Gráfica 5:</i> Comparación temperatura para piscina de oxidación y humedal artificial	36
<i>Gráfica 6:</i> Curva de calibración para concentraciones de Diésel	37

1. Resumen

La planta de abastecimiento y almacenamiento Biomax Mansilla, tiene como función la recepción y despacho de combustible en carro tanques. A partir de dichas actividades, se generan Aguas residuales (AR) contaminadas con hidrocarburos, provenientes de goteos del área de llenado, posibles fugas y aquellas resultantes del lavado de las principales zonas de la planta. Las AR son conducidas por canales perimetrales y rejillas a un separador API en donde se remueven las grasas y aceites, para ser conducida a la piscina de oxidación y dispuestas en el Humedal Artificial de flujo sub-superficial, establecido en el año 2013.

En el mes de febrero del año 2018, se pasó una corriente de agua contaminada con altas concentraciones de producto generadas por el drenaje de un tanque a través del Humedal, generando la sobresaturación y degradación del sistema. Por esta razón se quiere proponer la optimización del humedal artificial generado en el año 2013, con el fin de mejorar la eficiencia en la degradación de hidrocarburos en el vertimiento proveniente de la Planta Biomax Mansilla. Se realiza un diagnóstico de la problemática del humedal, desde la revisión de los parámetros físico-químicos del tratamiento primario y secundario, el porcentaje de remoción de las especies a plantar en el humedal y los posibles arreglos en la infraestructura para el funcionamiento óptimo. El humedal artificial es un sistema de gran efectividad para la remoción de hidrocarburos, implementando las especies de *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus*, las cuales presentaron un porcentaje de remoción de TPH y aumento de concentración de oxígeno disuelto en el poco tiempo de evaluación. De igual manera se hace necesario la implementación de una cubierta para detener el agua lluvia y darle un posible re-uso debido a la afectación en la medición de algunos parámetros evaluados.

Palabras clave: Fitorremediación, TPH, Humedal Artificial, Agua Residual.

1.1 Abstract

Supply and storage Mansilla Biomax, plant has as function the receipt and dispatch of fuel in car tanks. From these activities, are generated (AR) wastewater contaminated with hydrocarbons, from dripping from the area of filling, leaks and those resulting from the washing of the main areas of the plant. The AR are driven by channel perimeter and grids to a separator API where fats and oils, to be led to the pool of oxidation are removed and arranged in the Artificial wetlands of subsurface flow, set in the year 2013. In the month of February of the year 2018, spent a stream contaminated with high concentrations of product generated by the drainage of a tank through the wetlands, creating oversaturation and degradation of the system. For this reason, you want to propose the optimization of the artificial wetland generated in the year 2013, in order to improve the efficiency in the degradation of hydrocarbons in plant Biomax Mansilla from shedding. Is a diagnosis of the problems of the wetland, from the review of the physical and chemical parameters of the primary and secondary, treatment the percentage of removal of the species planted in the wetlands and the possible arrangements in the infrastructure for the optimum performance. The artificial wetland is a highly effective for the removal of hydrocarbons, implementing the species of *Juncus Effusus* and *Cyperus Papyrus*, which presented a percentage of removal of TPH and increasing concentration of dissolved oxygen in the little evaluation time. Similarly, it is necessary to the implementation of a cover to stop rainwater and give a possible reuse due to involvement in the measurement of some parameters assessed.

Keywords: Phytoremediation, TPH, Artificial wetland, Residual Water.

2. Introducción

El proceso de explotación, producción, transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos de petróleo y sus derivados, con el paso del tiempo se ha vuelto una problemática ambiental debido a los residuos generados en cada uno de sus procesos, tales como derrames, borras, aceites, entre otros, generando un impacto negativo en fuentes hídricas y suelo, este impacto es considerado como una problemática ambiental generadas en la producción de combustible, por el contenido de trazas de hidrocarburo, lo cual afecta a los ecosistemas, sus especies y la población aledaña (Ramos, 2012).

En Colombia el sector de hidrocarburos ha tenido un crecimiento elevado; de acuerdo con las cifras manejadas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), para el año 2017 durante el mes de Octubre se logró una producción de crudo de 863.853 barriles por día, registrando un crecimiento del 1,4% respecto a Septiembre y 2% en el mes de Octubre del año 2016 (Colprensa, 2017). Debido al alto nivel de crecimiento, se ha visto en aumento las problemáticas ambientales, tales como la deforestación, captación y contaminación de aguas, vertimientos líquidos y sólidos, deslizamientos, entre otras, generadas por este tipo de industria. (Sandoval, Marín, & Almanza, 2017)

La empresa BIOMAX S.A es una compañía dedicada a la comercialización de combustibles líquidos derivados del petróleo que a lo largo de su trayectoria ha enfatizado su actividad comercial en pro de contribuir al ambiente, desarrollando programas como paneles solares, puntos ecológicos, humedales artificiales, entre otros que permiten reducir el impacto de sus actividades dentro de las estaciones de servicio y sus plantas de almacenamiento y distribución ubicadas a lo largo del país, todo con el fin de sobresalir como una de las industrias con un alto nivel de responsabilidad ambiental y social.

Con el fin de reducir el impacto a fuentes hídricas por aguas residuales generadas en la Planta Biomax Mansilla por las actividades de lavado de las principales zonas de la planta y drenaje de tanques se propone hacer la optimización del humedal artificial el cual funciona como sistema natural para el tratamiento y mejora en las eficiencias de la degradación de TPH en el vertimiento, debido que el Humedal Artificial existente en la Planta desde el año 2013, se ha visto afectado por una sobresaturación debido a un drenaje de un tanque, el cual ha causado una degradación del humedal, matando las especies presentes dentro de este.

3. Planteamiento del problema

Debido al incremento de generación de aguas residuales, se han implementado diferentes métodos en el tratamiento de depuración eficiente, autónoma y económicamente viable. Dentro de las soluciones de mayor eficiencia se encuentran los humedales artificiales los cuales tienen como función, fijar los contaminantes en la superficies del suelo, para convertirlos y transformarlos por medio de las plantas y microorganismos en dióxido de carbono y agua, logrando tratamientos con un bajo consumo de energía, donde a su vez tienen un costo de inversión, operación y mantenimiento bajo y no requiere personal altamente capacitado. (Lara Borrero J. , 1999)

La empresa BIOMAX S.A tiene como fin ser una organización Eco responsable, buscado dar un uso racional y optimo a los recursos utilizados en su operación. Dentro de los impactos emitidos en el proceso de recepción, almacenamiento y despacho de combustible para la Estaciones de servicio se presentan diferentes tipos de derrames, como: goteos en el área de llenado, fugas de combustible en los tanques de la planta, entre otros, causando vertimientos con trazas de hidrocarburo por el lavado de los patios de la planta, las aguas residuales generadas son conducidas a un sistema de pre tratamiento conformado por canales perimetrales, rejillas que conducen las AR a un separador API en donde se remueven grasas y aceites, para ser conducidos a una piscina de oxidación y luego ser dispuestas un humedal artificial de flujo sub superficial. Todo ello buscando reducir las afectaciones al ambiente, salud de las personas por olores ofensivos y la economía de la empresa en tratamientos de mayor valor o posibles sancionatorios por las entidades ambientales.

El humedal artificial presente en la Planta Mansilla, está construido desde el año 2013; debido a la generación de AR, este ha tenido un grado de saturación alto, ocasionando una degradación total del humedal. En el mes de Octubre del año 2017 se evidencio la degradación del sistema mediante el estado de las plantas, llevando un proceso jardinería y abono para su recuperación, sin embargo, en el mes de Febrero el sistema recibió una descarga de agua contaminada procedente del drenaje de un tanque con diésel, lo que genero mayor saturación al sistema, hasta ocasionar una mortalidad de las plantas y emisión de olores ofensivos. De acuerdo a lo descrito anteriormente, se genera la necesidad de proponer la optimización de dicho sistema, en cuanto al mantenimiento y operación de este, preguntándose ¿Se puede reducir la concentración de hidrocarburos, mediante el proceso de Fitorremediación implementando un Humedal Artificial, como método al tratamiento secundario del vertimiento de la Planta de almacenamiento y distribución de combustibles de la empresa Biomax Mansilla, Facatativá?

4. Objetivo General y Específicos

4.1 Objetivo General:

Proponer la optimización del humedal artificial de flujo sub-superficial, para mejorar la eficiencia en la degradación de hidrocarburos en el vertimiento, proveniente de la Planta de almacenamiento y distribución de combustibles de la empresa Biomax Mansilla, ubicada en el municipio de Facatativá.

4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar los parámetros fisicoquímicos del vertimiento antes y después de la degradación de hidrocarburos provenientes del tratamiento primario y secundario.
- Determinar el porcentaje de remoción de hidrocarburos por el proceso de Fitorremediación mediante un humedal artificial de flujo sub-superficial.
- Generar una propuesta de optimización del humedal artificial de flujo sub-superficial para degradar hidrocarburos provenientes del tratamiento de la Planta Biomax Mansilla.

5. Justificación

Debido al aumento en la demanda del uso de combustibles en Colombia y la importancia de este tipo de industria para el desarrollo del país, es necesario la construcción de infraestructura de estaciones de servicio y plantas de almacenamiento y refinación para el suministro del combustible a la población, las cuales generan un aumento en la presión sobre los recursos naturales. Generando un alto nivel de impacto ambiental, provocando problemas en la contaminación del agua y el suelo, debido al vertimiento de AR con trazas de hidrocarburos.

La empresa Biomax S.A a pesar de tener los permisos ambientales y la infraestructura adecuada en cada una de sus plantas y estaciones de servicio, sigue generando dicho impacto en menor medida; en cuanto al recurso del agua, este se ve afectado debido a las trazas de hidrocarburos, generadas de las actividades de lavado de las zonas de la planta, goteos en el área de llenado y posibles fugas en los tanques, lo que genera AR con trazas de hidrocarburo.

De igual manera, dentro de las áreas de la planta se encuentran rejillas perimetrales, canaletas, un sistema de separador API (considerado como tratamiento primario), una piscina de oxidación y 2 humedales con una dimensión de 22.4m^2 , los cuales se encuentran en un estado de deterioro, puesto que las especies que se encontraban dentro del sistema se han degradado hasta el punto de desaparecer, el lodo y la grava han llegado a un nivel de saturación, generando olores ofensivos, todo esto debido al poco mantenimiento del Humedal y la saturación del sistema por una descarga de agua contaminada con altas concentraciones de producto, provenientes del drenaje de una tanque. Ante dicha problemática, se hace la propuesta de optimización del proceso de Fitorremediación como proceso ambiental y mejoramiento como método de ingeniería, para complementar el tratamiento de las AR, puesto que conlleva a una alternativa para el mejoramiento de la calidad del vertimiento y armonización del paisaje, permitiendo la reducción de trazas de hidrocarburo en el caudal proveniente de dicho tratamiento, mediante tecnologías de bajo costo y con ventajas relevantes al ambiente, la economía y el cumplimiento legal de la empresa.

6. Marco de referencia

6.1 Antecedentes

A pesar de que la gestión del agua residual requiere una priorización y un trato especial por las autoridades competentes, no es un tema que se le brinda mayor relevancia, solo hasta el punto donde se ve afectación a la población o a las empresas que las generan. Debido a esto es necesario la implementación de sistemas de tratamiento convencionales que llegan a requerir un alto nivel económico, por esta razón ha nacido la necesidad de evaluar nuevos sistemas, como los Humedales Artificiales, los cuales están basados en los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, dichos sistemas requieren una mínima cantidad de energía la cual es tomada de manera natural de la energía solar, además son sistemas que imitan los humedales naturales, donde se generan los mismos procesos físicos, químicos y biológicos pero a menor escala (Sanz, 2008).

De acuerdo a lo reportado por Rodríguez González, Alfredo, Judith, & Joaquín (2012), la implementación del proceso de Fitorremediación mediante la creación de humedales artificiales, es una opción eficaz a bajo costo para el tratamiento secundario y terciario de las aguas residuales de pequeño caudal, debido a que tiene una baja generación de gases de efecto invernadero, y bajos costos de operación, mantenimiento y ahorro energético, siendo sistemas de ingeniería diseñados y construidos, tomando como referencia los procesos que suceden en los humedales naturales, basándose en la simbiosis biológica existente entre la vegetación, los microorganismos y las interacciones con el procesos químico del suelo, generando un tratamiento óptimo al agua residual (Solís Silván, López Ocaña , Bautista Margulis , Hernández Barajas , & Romellón Cerino , 2015).

En Colombia se han implementado hasta la fecha proyectos con humedales artificiales, dentro de los cuales podemos citar; en Pereira por Cubillos et al., (2011) donde se realizó una evaluación de la aplicabilidad de la Fitorremediación para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburo, con Humedales construidos a escala piloto, evaluando tres tipos de humedales: Humedales con suelo y plantado, Humedales sin suelo y sin plantas (humedal flotable) y un Humedal con suelo y sin plantas, dichos humedales fueron plantados con *Phragmites australis* y alimentados con una mezcla residual doméstica y diésel, mostrando reducciones del 98% en los tres sistemas proyectados. De igual manera se tiene el estudio en Risaralda por Pulgarin et al. (2012) donde se evaluó la aplicabilidad de la Fitorremediación para el tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburo procedentes de las EDS de Risaralda, instalando a escala piloto 9 reactores con sedimentos contaminados por hidrocarburo con tres especies vegetales (*Phragmites*, *Typha Latifolia* y *Cyperus papyrus*) y 4 reactores con las plantas seleccionadas y dos sin plantar, mostrando que la especie *Phragmites* presento la mayor tolerancia a los TPH, dando una remoción del 90% luego de tres meses (PULGARIN , 2012) (CUBILLOS VARGAS, 2011).

Los humedales artificiales de flujo sub-superficial de la planta Biomax Mansilla, fueron construidos en el año 2013 por la Ing. Raquel Puentes, con unas dimensiones de 2,8 m de ancho, 8 m de largo y 0,5 m de profundidad, con especies: *Canna Spp* y *Phragmites australis*, y un caudal de 0,02 L/s. (Puentes, 2013) Según un informe brindado por la Planta Mansilla en cuanto al estado de los humedales, se afirma que desde el mes de octubre del año 2017, el sistema se encontraba en un estado de deterioro, donde se evidenciaba un mal estado de las plantas, ante esto, se realizó un trabajo de poda y adición de abono granulado, donde el sistema siguió trabajando. En el mes de febrero del año 2018, por errores y negligencias humanas se pasó una corriente de agua contaminada con altas concentraciones de producto generadas por el drenaje de un tanque, ocasionando la saturación total del sistema y degradación hasta el punto de matar a las plantas existentes dentro del sistema.

6.2 Conceptual

Aguas industriales procedentes de la industria del petróleo: Las aguas industriales procedentes de la industria del petróleo contienen hidrocarburos aromáticos, como el benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, los cuales son altamente solubles neurotóxicos y cancerígenos, además también contienen altas concentraciones de DQO, DBO, nitrógeno y fósforo. Debido a las propiedades tóxicas de los hidrocarburos y su persistencia en la naturaleza, y los altos costos en los procesos para su tratamiento, se ha tenido que buscar tratamiento creativos, rentables y ecológicos, como los humedales artificiales para la biodegradación, teniendo en cuenta parámetros como temperatura, humedad y nutrientes necesarios para su desarrollo (Eke, 2008).

Fitorremediación: Es una alternativa de bajo costo, que posee ventajas estéticas, capaz de capturar gases de efecto invernadero, mediante la fuente de energía solar, teniendo una gran aplicabilidad bajo diferentes rangos de concentración de contaminantes, basándose en el uso de plantas e interacción con microorganismos ubicados en la rizósfera, para remover, transformar y degradar sustancias contaminantes contenidas en los suelos y aguas subterráneas y superficiales. Dentro de los sistemas utilizados en el proceso de Fitorremediación, se encuentran los Humedales artificiales (VARGAS, 2011) .

Biorremediación: Es la técnica donde se aprovecha el potencial metabólico de los microorganismos para transformar los contaminantes orgánicos en compuestos más simples como Dióxido de carbono y agua, considerándose una alternativa económica, sencilla y amigable con el ambiente, la cual puede ser aplicable a grandes superficies, bajo condiciones ambientales necesarias según el tipo de microorganismos a usar. (Vallejo, Sandoval , & Garagoa , 2015)

Humedal Artificial: Se ha buscado el uso de este tipo de sistemas para el tratamiento de aguas residuales, mediante componentes naturales, y procesos que reducen el uso tecnologías de alto costo, emisiones de energía y complejidad técnica. Dicho sistema trata de la comprensión entre agua, plantas, microorganismos, suelo y parámetros ambientales que interactúan para mejorar la calidad del agua dispuesta en ella. (Eke, 2008) Los humedales artificiales son clasificados como flujo superficial y flujo sub-superficial, el cual es utilizado en esta investigación, donde el agua residual fluye a través del sustrato, en este caso, arena de río y gravilla, para entrar en contacto con microorganismos y plantas, ocurriendo una cantidad de procesos físicos, químicos y biológicos, considerándose una opción eficaz, a bajo costo, para tratamiento secundario y terciario de aguas residuales para pequeños núcleos (Rodríguez González , Jácome Burgos , Molina Burgos , & Suárez López , 2013).

6.3 Teórico

Hidrocarburos derivados del petróleo: Son compuestos orgánicos formados por átomos de hidrogeno y carbono, presentando características fisicoquímicas, estos compuestos y sus derivados como la gasolina, keroseno, aceites, etc, son muy usados en procesos industriales, de transporte y domésticos generando altos niveles de contaminación al agua, aire y suelos, donde su ingreso no se da tan solo por actividades humanas, si no por accidentes industriales, como derrames en las estructuras de almacenamiento y distribución (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1999). Dentro de Colombia y el mundo los combustibles con mayor uso son: el diésel, la gasolina corriente y extra, los cuales se caracterizan por una gran variedad de hidrocarburos que contienen varios componentes orgánicos con varios grados de solubilidad en el agua, haciéndolos fácilmente biodegradables, aunque generan un alto impacto sobre la salud humana y el ambiente (CUBILLOS VARGAS, 2011).

La Fitorremediación: Es definida como una opción para remediar medios impactados con diferentes tipos de contaminantes donde se implementan plantas y microorganismos para remediar in situ los suelos, lodos, sedimentos, y agua contaminados por metales, plaguicidas solventes, explosivos, aceites derivados del petróleo, compuestos clorinados, lixiviados y compuestos volátiles en el aire. Las plantas tienen la propiedad de degradar contaminantes orgánicos y estabilizar metales pesados, como los hidrocarburos aromáticos mediante procesos como: fitoextracción, rizofiltración, fitoestabilización, fitodegradación, rizodegradación y fitovolatilización. De igual manera, requiere un cuidado para garantizar el crecimiento normal de la planta, al igual que una comprensión de los procesos que ocurren en ellas (Pulgarin, 2012). La participación de las plantas y los microorganismos en el proceso de la Fitorremediación es vital, puesto que las plantas localizan los contaminantes en su interior, utilizando mecanismos de desintoxicación del compuesto xenobiótico y transformándolo en metabolitos no tóxicos; contrario a esto, los microorganismos metabolizan el contaminante pasándolo a dióxido de carbono y agua, de igual manera estos pueden disminuir la toxicidad para las plantas de algunos compuestos, mediante el uso de enzimas hasta transformarlos en ácidos, alcoholes, CO₂ y agua (Vargas, 2011).

Su aplicabilidad depende del tipo de medio impactado y los objetivos que se quieran con la remediación, incluyendo procesos de estabilización, secuestro, asimilación, reducción, degradación, metabolización y/o mineralización. Dietz & Schnoor (2001) afirman que los procesos dentro de la Fitorremediación comienzan cuando el contaminante se encuentra con la raíz de la planta y es absorbido por la estructura de esta y su pared celular, para que luego sean tomados vía difusión y se incorporen en la pared y la membrana celular, para ser transformados por transpiración desde la raíz hasta las hojas, y finalmente el compuesto sea tomado, metabolizado y localizado en las partes de la planta mediante las fases de conversión y conjugación. Donde la eficiencia de remoción puede ser medida según la especie de la planta, la edad, el estado de salud y propiedades fisicoquímicas de la zona de las raíces, teniendo en cuenta parámetros como los nutrientes, la humedad del suelo, temperatura, condiciones del viento y humedad relativa, del lugar.

Al igual que las plantas, los microorganismos tienen un alto nivel de eficiencia dentro de los procesos de Fitorremediación, ya que en las plantas los contaminantes son localizados en el interior, utilizando mecanismos de desintoxicación del compuesto xenobiótico, para transformarlo en metabolitos no tóxicos, lo cual es conocido como el efecto del hígado verde; y en los microorganismos se metaboliza el contaminante para pasarlo a Dióxido de Carbono y agua. Presentándose una simbiosis entre las plantas y los microorganismos de la rizósfera, donde se considera que los microorganismos pueden reducir la toxicidad de algunos compuestos en las plantas, mediante el uso de enzimas, hasta transformarlos en ácidos, alcoholes, dióxido de carbono

y agua (Dietz & Schnoor, 2001). La Fitorremediación puede ser empleada *in situ* o *ex situ*, donde según el mecanismo ocurrido dentro del sistema, suelo, plantas y microorganismos.

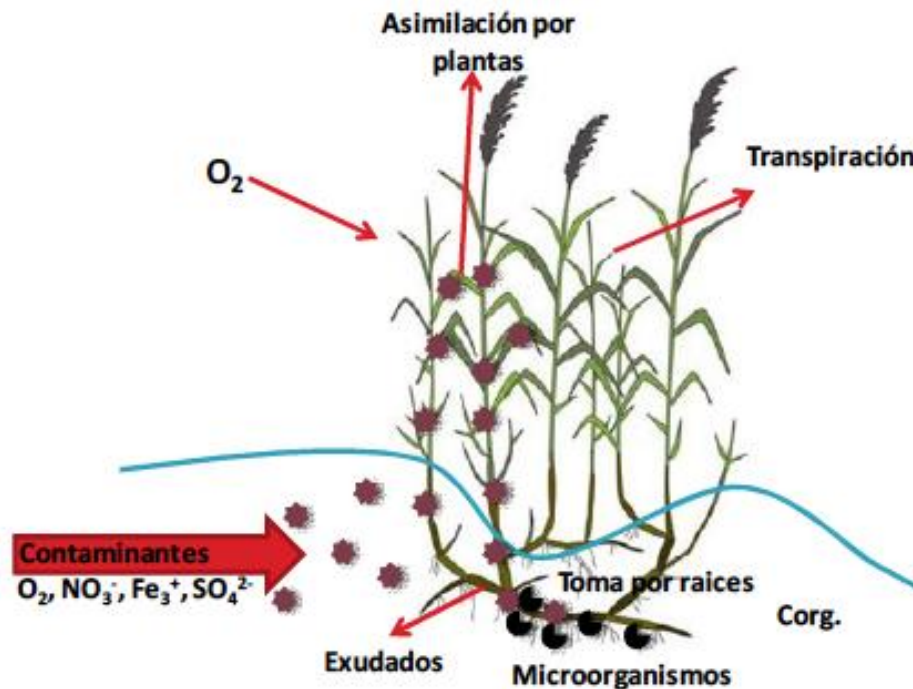


Figura 1: Simbiosis plantas – microorganismos en sistemas de Fitorremediación.

Fuente: Pulgarin, 2012

Los Humedales artificiales: También llamados Biofiltros, como estrategia dentro del proceso de Fitorremediación se basa en el aprovechamiento de los procesos físicos, químicos y biológicos presentes en la interacción entre el agua, el medio filtrante, las plantas, los microorganismos y la atmósfera. Disponiendo los compuestos presentes en los desechos líquidos para ser absorbidos y metabolizados por las plantas, funcionando como un tamiz en donde los sólidos suspendidos se filtran y se adhieren al material particulado, formando una película de nutrientes que servirán posteriormente como medio de cultivo a los microorganismos que actuarán con los patógenos inmersos en el agua (Ramos Franco, Prieto Naranjo, Cárdenas Nieto, & Bernal Sierra, 2016).

Tipos de Humedales

Para dar un mejor entendimiento del marco bajo el cual se realizará la investigación, es necesario comprender de manera general los humedales construidos y su funcionamiento. Resaltando que los humedales usados dentro del proyecto son humedales de flujo sub-superficial horizontal teniendo en cuenta las ventajas de estos en cuanto a los de flujo libre.

Humedales de Flujo Libre: Consisten en áreas con flujo de agua expuesto, vegetación flotante y plantas emergentes. Cuando el agua fluye a través del humedal, es tratada por procesos de sedimentación, filtración y oxidación. Dichos humedales son aplicados para pulir efluentes provenientes de tratamientos secundarios (Wallace & Kadlec , 2008).

Humedales de flujo sub-superficial horizontal: Emplean camas de suelo o grava plantadas con vegetación típica de humedales naturales; el agua se mantiene bajo la superficie de la grava y fluye horizontalmente desde su entrada hasta la salida, alrededor de las raíces y los rizomas de las plantas. Son considerados óptimos para tratar efluentes primarios. (Wallace & Kadlec , 2008).

Degradación de hidrocarburos por humedales: La degradación de hidrocarburos no solo puede ocurrir por la asimilación de las plantas, también por la actividad anaeróbica de los microorganismos. Las comunidades bacterianas asociadas a las raíces de las plantas de un humedal, teniendo en cuenta la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, toman el compuesto orgánico para romper sus cadenas de carbono, teniendo la energía suficiente para su desarrollo, permitiendo la creación de biomasa, es decir, que entre más larga y compleja sea la estructura molecular del hidrocarburo más complejo es el proceso de degradación por parte de los microorganismos y las plantas (Pulgarin, 2012). Los humedales construidos suelen ser excelentes tratamientos para la remoción de contaminantes en el agua, bajo diferentes condiciones climáticas, puesto que la presencia de las plantas y los microorganismos, permiten la generación de procesos físicos, químicos y biológicos que mejoran la calidad del agua, ya que dichos sistemas pueden retener gran cantidad de compuestos orgánicos, sedimentos y metales pesados, siendo sistemas económicos, en términos operacionales y de mantenimiento, comparándolo con tratamientos convencionales.

6.4 Normativo.

Dentro de la normatividad nacional vigente que afecta el desarrollo del proyecto se encuentra:

- **Constitución Política de 1991:** Donde se establecen los derechos y deberes con el ambiente por parte del estado. Principalmente el Artículo 79: Establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.
- **Ley 9 de 1979:** Por la cual se dictan medidas sanitarias. Artículo 9: No podrán utilizarse las aguas como sitio de disposición final de residuos sólidos, salvo los casos que autorice el Ministerio de salud.
- **Ley 99 de 1993:** Por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones
- **Ley 373 de 1997:** Por el cual se establece el programa de uso eficiente y ahorro del agua.
- **Decreto 2811 de 1974:** Por el cual se dicta el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- **Decreto 1076 de 2015:** Por medio del cual se expide el Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Artículo 2.2.3.2.20.5 Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutrofizar las aguas, causar daño o poner en riesgo la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. Artículo: 2.2.3.3.5.4: PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA EL MANEJO DE LOS VERTIMIENTOS: Las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado que desarrollen actividades industriales, comerciales, y de servicios que generen vertimientos a un cuerpo de agua o al suelo, deberán elaborar un PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO para el Manejo de Vertimientos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

- **Decreto 3930 de 2010:** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
- **Decreto 050 del 2018:** Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Única Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macro cuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones
- **Resolución 1514 de 2012:** Por medio del cual se adoptan términos de referencia para la elaboración de planes de gestión del riesgo para el manejo de vertimientos.
- **Resolución 1207 de 2014:** Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
- **Resolución 631 de 2015:** Por el cual se establecen los parámetros y límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de agua superficiales y al sistema de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

(BIOMAX S.A, 2018)

6.5 Geográfico



Figura 2: Ubicación Planta Biomax Mansilla.

Fuente: Google Earth

Facatativá se encuentra ubicado al occidente de la sabana de Cundinamarca, con una altitud entre los 2600 y 3200 msnm, con un clima ambiental frío, húmedo, con temperaturas entre 12 y 18 °C y precipitaciones promedio anual entre 1.000 y 2.000mm. Limita al norte con los municipios de San Francisco, La Vega y Sasaima, al occidente con Sasaima y Albán, al oriente con Rosal, Madrid y Bojacá y al Sur con Anolaima, Zipacón y Bojacá (RÍOS, 2011).

La planta de Biomax S.A, está ubicada en el complejo industrial Mansilla Ecopetrol, Km 5 antigua vía a la Vega, en el municipio de Facatativá (Cundinamarca), con una extensión total de 159.60 Km². Las actividades que se realizan dentro de la planta corresponden a la recepción de combustible, almacenamiento en dos patios y despacho de combustible en carro tanques en el área de llenado para las estaciones de servicio, Biomax, Brío y Gulf. Los combustibles que Biomax S.A recibe, almacena y despacha son: Diésel, Nafta, Gasolina motor, Biodiesel, Etanol, Jet A-1 y Acem.

La temperatura promedio de la Planta es de 12.9 °C, con elevaciones máximas de 22 °C y mínimas de -9 °C de acuerdo a la época del año, la humedad corresponde al 76%, presentando una precipitación pluvial entre 600 y 1400 mm con una promedio anual de 829.9 mm de acuerdo a las épocas de invierno (BIOMAX S.A, 2016).

6.6 Institucional Organigrama

En la empresa BIOMAX S.A se maneja un organigrama institucional que permite un buen estructura miento de la compañía y sus cargos respectivos. Dentro del organigrama me encuentro en el área de Ingeniería, HSEQ y ambiente – Practicante Ambiental, como se muestra a continuación (BIOMAX S.A, 2016):

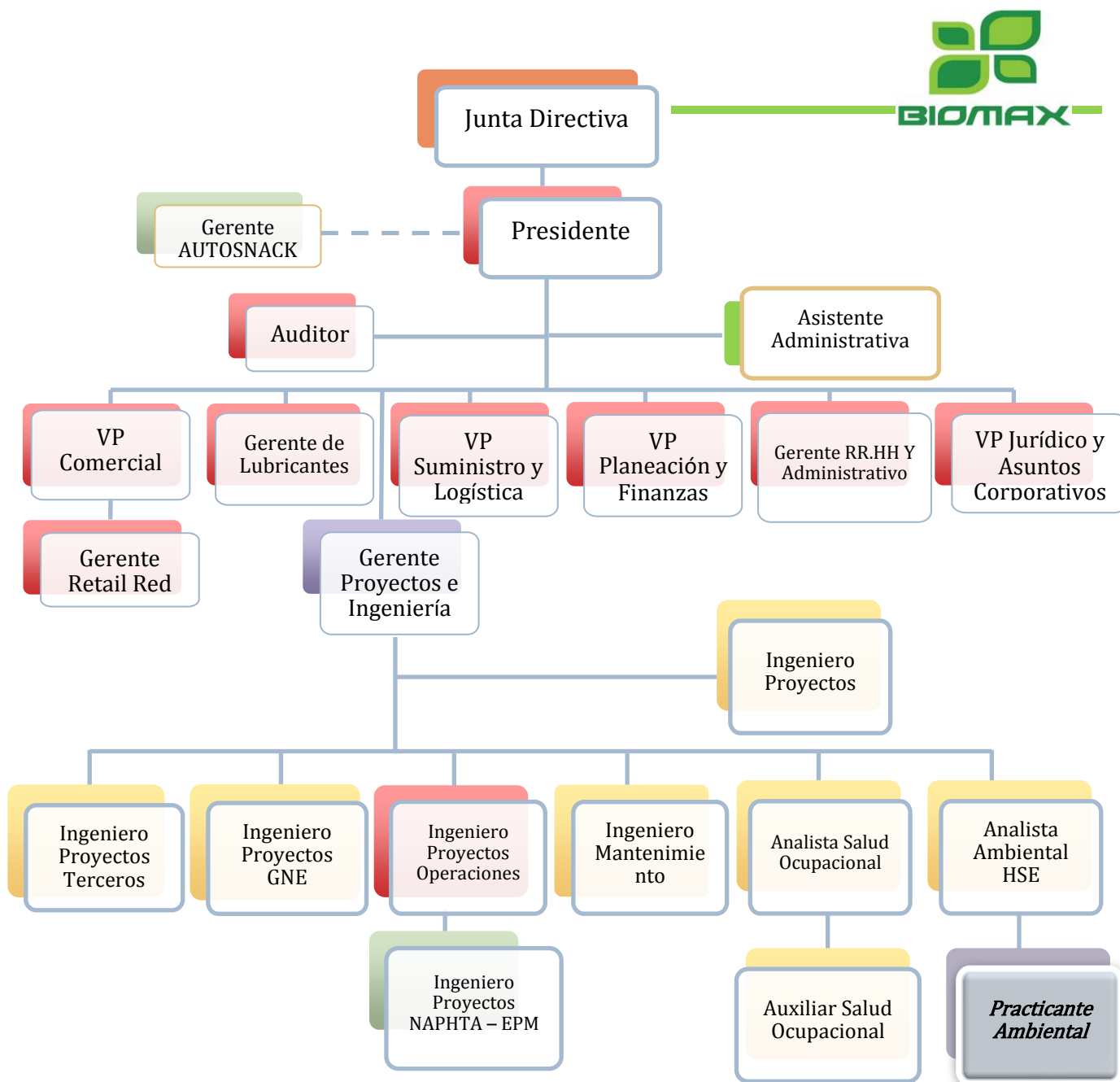


Figura 3. Organigrama Institucional Biomax S.A

Fuente: Biomax S.A, 2016

7. Metodología

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de investigación y dar cumplimiento al objetivo general propuesto, la metodología se planteó de la siguiente manera:

Objetivo 1: Analizar los parámetros fisicoquímicos del vertimiento antes y después de la degradación de hidrocarburos provenientes del tratamiento primario y secundario

El proyecto de investigación se realizó en la Planta de Biomax Mansilla donde se adecuaron tres (3) humedales piloto construidos para tratar el agua residual contaminada con hidrocarburo. Las configuraciones de los tres humedales implementados en la investigación constaron de bateas de plástico procedentes de tanques cónicos con dimensiones de largo 0,72 m y ancho 0,21 m, conformado así:

Imagen	Descripción
	Humedal con matriz de suelo en arena de río – grava de 20mm y plantas <i>Juncus Effusus</i> y <i>Cyperus Papyrus</i>
	Humedal con matriz de suelo en arena de río – grava de 20mm y plantas <i>Juncus Effusus</i>
	Humedal con matriz de suelo en arena de río – grava de 20mm y plantas <i>Cyperus Papyrus</i>

Tabla 1: Descripción de humedales piloto adecuados para el proyecto.

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

Las plantas sembradas en los humedales fueron *Juncus effus* y *Cyperus Papyrus* con porcentajes de remoción del 83% según (Puentes, 2013) y el medio de soporte de grava de 20mm y arena de río con porosidad del 50%, sembrando una densidad de 2 plantas/m².

Para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, se realizó el monitoreo de los humedales artificiales a escala piloto durante un mes en dos épocas, una al inicio (10 Marzo del 2018) y al final (10 abril del 2018), donde se tomaron muestras de medición de parámetros físico químicos a la piscina de oxidación quien recibe el agua que se le aplicaron a los humedales y los tres controles (humedales piloto), con un multiparámetro Hi9828, midiendo las variables de:

Parámetro
pH
Temperatura
ST Disueltos
% Oxígeno Disuelto
Concentración de Oxígeno Disuelto

Tabla 2: Parámetro de medición con multiparámetro Hi9828

Fuente: Elaboración propia

Objetivo 2: Determinar el porcentaje de remoción de hidrocarburo por el proceso de Fitorremediación mediante un humedal de Flujo Sub-superficial.

Para determinar el porcentaje de remoción se hizo necesario realizar laboratorios mediante el método 10050 del test de inmunoensayo de TPH, donde se debían tomar 0,5 mL de la muestra, y preparar la solución para hacer la posterior medición en el espectrofotómetro con una longitud de onda de 450nm, de la siguiente manera:



Figura 4. Laboratorio Test de Inmunoensayo para TPH

Fuente: Propia

1. Se agregó 0,5 μ L de calibrador y 0,5 μ L de metanol tomados con una pipeta Wiretrol, proporcionada por el kit del test.

2. Se agregó 0,5 mL de Encima de TPH, se esperó durante 10 min para luego dar un movimiento por 30 segundos en forma lineal.

3. Se vertió el contenido de los tubos de ensayo proporcionados por el kit del test, los cuales fueron lavados con agua destilada.

4. Posteriormente se agregó 0,5 mL de la solución color donde nos dio una tonalidad azul, se esperó 10 min para luego dar un movimiento por 30 segundos en forma lineal.

5. Se aplicaron 0,5 mL de Stop Solution y se movió por 20 segundos, donde la muestra pasaría de color azul a amarillo, como se muestra a continuación:

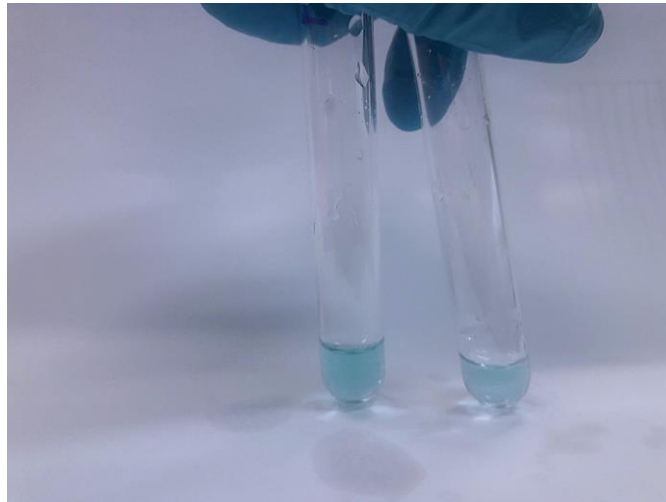


Figura 5. Tonalidad azul en la muestra preparada según indicaciones del test.

Fuente: Propia



Figura 6: Tonalidad amarilla en la muestra preparada según indicaciones del test.

Fuente: Propia

En el primer laboratorio se utilizaron concentraciones conocidas de combustible, para luego graficarlas mediante la ley de Lambert Beer, la cual afirma que la intensidad de luz monocromática, que incide perpendicularmente sobre una muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra, según esta ley:

$$A = K \cdot C$$

Donde;

A = Absorbancia de la muestra

K = Es una constante que depende de la longitud de onda usada, de la sustancia que se analiza y del espesor de la celda usada

C = Concentración de la muestra

Dicha ecuación puede tener una similitud con la ecuación matemática $Y = mx + n$, señalando lo siguiente:

A corresponde con Y

K corresponde con M

C corresponde con X

- corresponde con n

Deduciendo entonces, que la ecuación $A = K \cdot C$, no es mas que una recta y como no tiene el termino “n” pasará por el origen de las coordenadas, siendo K la pendiente de la recta (Arenas Sosa & López Sánchez, 2004).

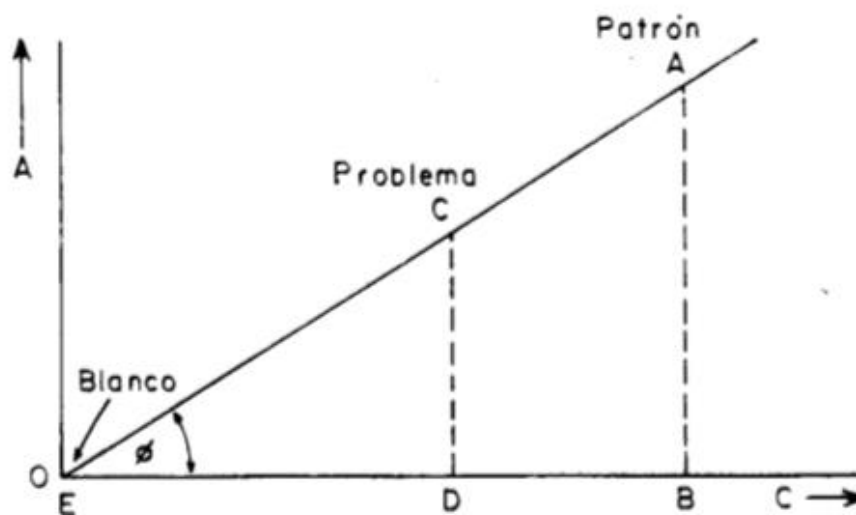


Figura 7: Representación Ley Lambert – Beer

Fuente: Arenas Sosa & López Sánchez, 2004

Por medio de esta Ley se logró partir como herramienta para hallar la concentración en las muestras, evaluadas en el segundo laboratorio, las cuales fueron tomadas de los controles (Humedales piloto), anteriormente descritos, de la siguiente manera:

- **1 muestra:** Muestra inicial tomada de la piscina de oxidación, la cual almacena el agua residual proveniente del separador API.
- **2 – 3 muestra:** Definidas como (C1A – C1B), tomadas del control 1, compuesto por arena de río, grava 20mm y plantas Junco (*Juncus Effusus*) y Papiro (*Cyperus Papyrus*)
- **4 – 5 muestra:** Definidas como (C2A – C2B), tomadas del control 2, compuesto por arena de río, grava 20mm y planta Papiro (*Cyperus Papyrus*)

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

- **6 – 7 muestra:** Definidas como (C3A – C3B) tomadas del control 3, compuesto por arena de rio, grava 20mm y planta Junco (*Juncus Effusus*)

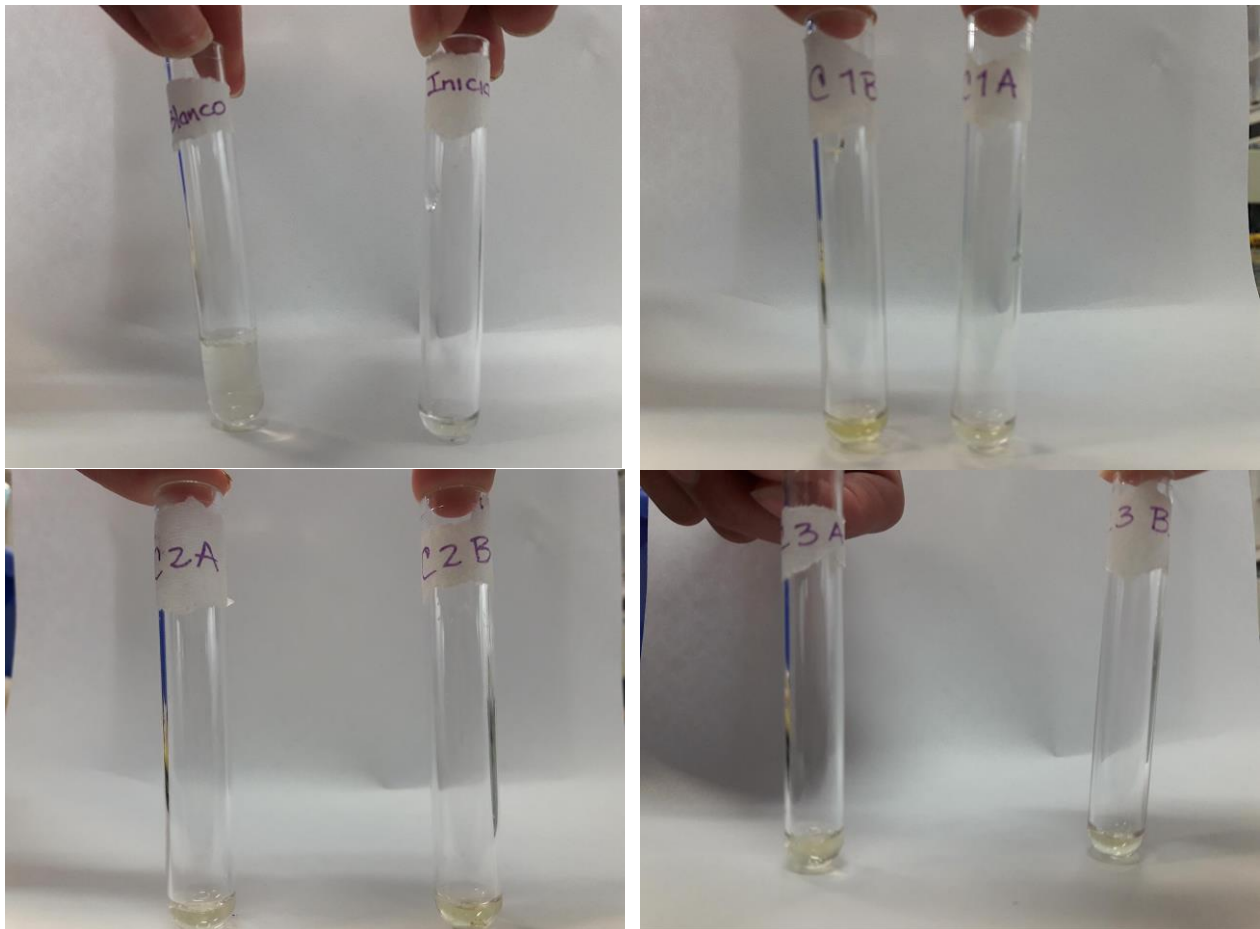


Figura 8: Resultados obtenido mediante el procedimiento del Test de inmunoensayo para TPH
Fuente: Propia

Luego de determinar la absorbancia en las muestras de los controles, se logró calcular la concentración, mediante la ley de Lambert Beer, anteriormente desarrollada.

Objetivo 3: Generar una propuesta de optimización del humedal artificial de flujo sub-superficial para la Planta Biomax Mansilla.

Se hizo un acercamiento al área del proyecto para identificar los posibles problemas del Humedal artificial presente en la zona de estudio. Proyectándolo en un informe elaborado por la Ing. Química Daniela Ramírez, donde notifico el estado actual del sistema para el año 2018. Así mismo, se conocieron las características del humedal en cuanto a dimensiones, especies manejadas antes de la degradación del sistema y los materiales con los cuales estaba elaborado. Para posteriormente hacer una revisión bibliográfica acerca de la temática propuesta y sus posibles soluciones para el planteamiento de la optimización del sistema.

En última medida, se hicieron revisiones, junto con los ingenieros de Biomax, para realizar una cotización y presupuesto a proveedores, solicitando el cambio del material del suelo del humedal, arreglo de la membrana que lo recubre y la plantación de las nuevas especies.

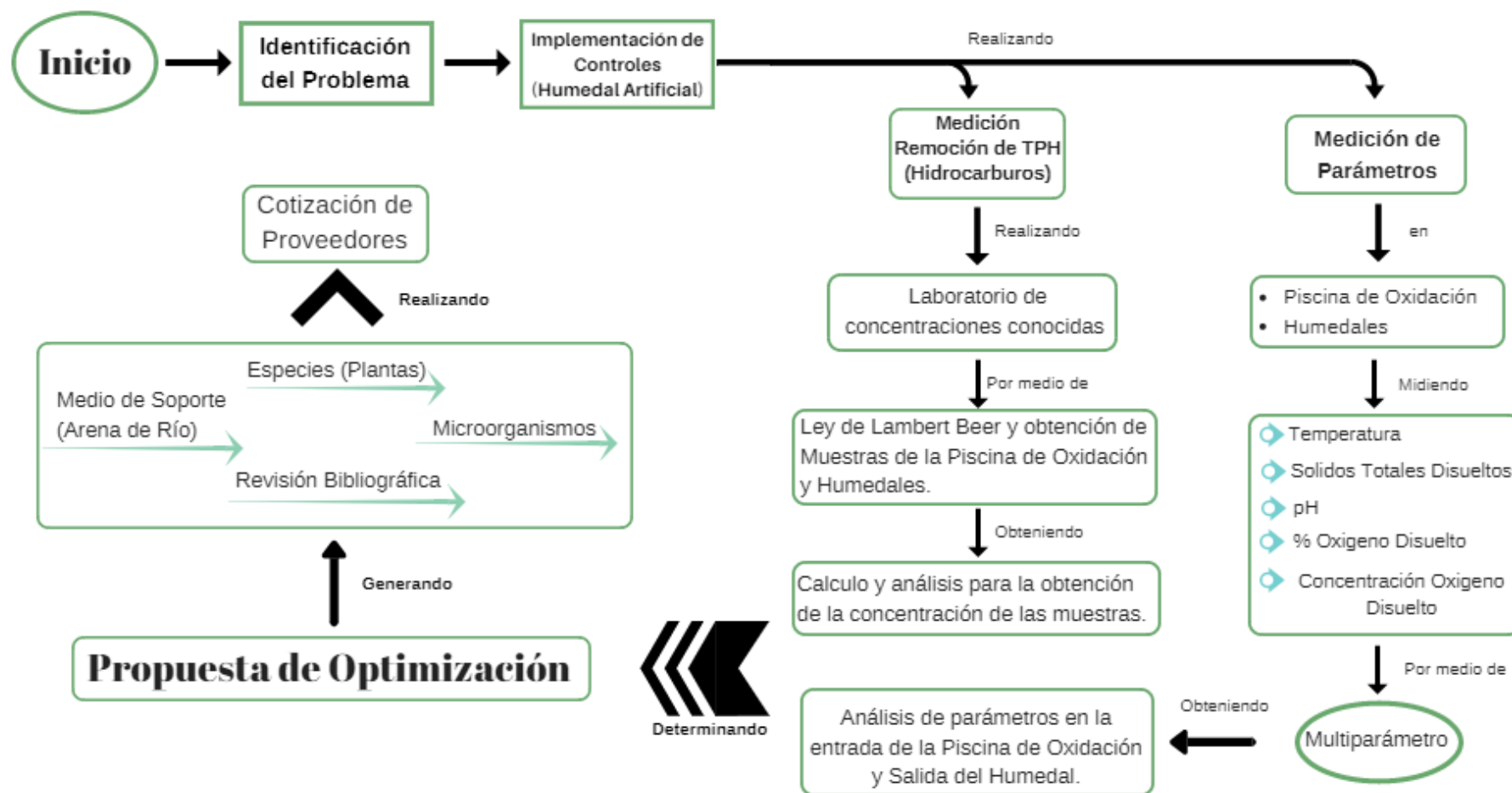


Figura 9. Diagrama de flujo Metodología – Propuesta de optimización de Humedal Artificial.

Fuente: Elaboración propia.

8. Plan de trabajo

Objetivos	Actividades	Tiempo de ejecución	Participantes	Costos de la actividad	Resultados esperados
Analizar los parámetros fisicoquímicos del vertimiento antes y después de la degradación de hidrocarburos provenientes del tratamiento primario y secundario.	Medición de parámetros físico químicos en la piscina de oxidación y humedal artificial existente	1 mes	Daniela Ramírez (Ingeniera química de la Planta Biomax Mansilla) - Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto)	La actividad no genera mayor costo, puesto que los equipos necesarios se encuentran en la Planta de Biomax y son propios.	Se espera tener los parámetros necesarios para el desarrollo óptimo del sistema y las especies.
Propuesta de optimización del humedal artificial para degradar hidrocarburos provenientes del tratamiento de la Planta Biomax Mancilla,	Revisión del estado del humedal y bibliográfica acerca de la temática a trabajar.	1 semana	Daniela Ramirez (Ingeniera química de la Planta Biomax Mansilla) - Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto)	No genera costo	Realizar una correcta revisión de los materiales necesarios para el desarrollo óptimo del humedal.
	Revisión de las condiciones óptimas para el mantenimiento del humedal	1 semana	Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto)	No genera costo	Permitir el re uso de los materiales actuales para generar menor costo en el mantenimiento del humedal.
	Cotización con proveedores para las actividades del mantenimiento del humedal	2 semanas	Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto)	No genera costo	Contar con un proveedor autónomo para llevar el desarrollo correcto del mantenimiento del humedal para su correcta operación.

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.

Evaluar el porcentaje de remoción de hidrocarburos por el proceso de Fitorremediación mediante un humedal artificial.	Montaje de controles (Humedales artificiales a escala piloto)	1 semana	Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto)	Plantas: \$20.000 Arena y grava: \$13.000 Tanques (Bateas) \$100.000	Evidenciar un porcentaje de remoción por parte de las especies
	Medición de TPH por Test Inmunoensayo de TPH método 10050	2 semanas	Cindy Valenzuela (Encargada del proyecto) Carel Carvajal (Directora Proyecto de Grado)	\$1.200.000	Manejar adecuadamente el test para evidenciar resultados con un mínimo porcentaje de error.

Tabla 3. Plan de Trabajo Proyecto Biomax S.A

Fuente: Propia

9. Aspectos Éticos

El Código de Ética de BIOMAX S.A. articula los valores corporativos con las responsabilidades, obligaciones y objetivos estratégicos de la organización y de sus integrantes dando respuesta a los posibles dilemas morales que se presentan en las organizaciones y ajustando el comportamiento de las directivas y trabajadores. BIOMAX S.A ha sido considerada una de las empresas dentro de su industria, con un alto nivel de responsabilidad ambiental, apoyando proyectos para la reducción de los impactos generados por su actividad, para así beneficiar a las poblaciones aledañas a sus estaciones y plantas, reduciendo el impacto generado al ambiente.

10. Resultados

Objetivo 1: Analizar los parámetros fisicoquímicos del vertimiento antes y después de la degradación de hidrocarburos provenientes del tratamiento primario y secundario.

Se hizo una medición en el mes de Marzo y Abril de los parámetros físico químicos a la piscina de oxidación conocida como tratamiento primario y el humedal artificial presente conocido como tratamiento secundario, teniendo como resultados los valores evidenciados que se muestran en las TABLAS 4 y 5:

Piscina de Oxidación					
Inicial			Final		
Parámetro	Unidades	Dato	Parámetro	Unidades	Dato
pH		7,37	pH		7,11
Temperatura	°C	17,64	Temperatura	°C	18,08
ST Disueltos	mg/L	51	ST Disueltos	mg/L	60
% Oxígeno Disuelto	%	37,8	% Oxígeno Disuelto	%	28.5
Concentración de Oxígeno Disuelto	mg/L	2,68	Concentración de Oxígeno Disuelto	mg/L	1.99

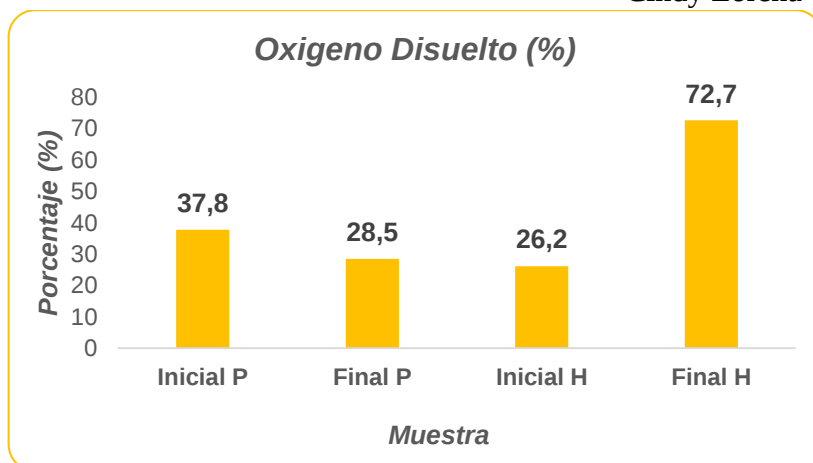
Tabla 4: Parámetros físico químicos para la piscina de oxidación.

Fuente: Elaboración propia

Humedal Artificial					
Inicial			Final		
Parámetro	Unidades	Dato	Parámetro	Unidades	Dato
pH		7,59	pH		7.93
Temperatura	°C	17,81	Temperatura	°C	17.82
ST Disueltos	mg/L	70	ST Disueltos	mg/L	189
% Oxígeno Disuelto	%	26,2	% Oxígeno Disuelto	%	72.7
Concentración de Oxígeno Disuelto	mg/L	1,83	Concentración de Oxígeno Disuelto	mg/L	5.09

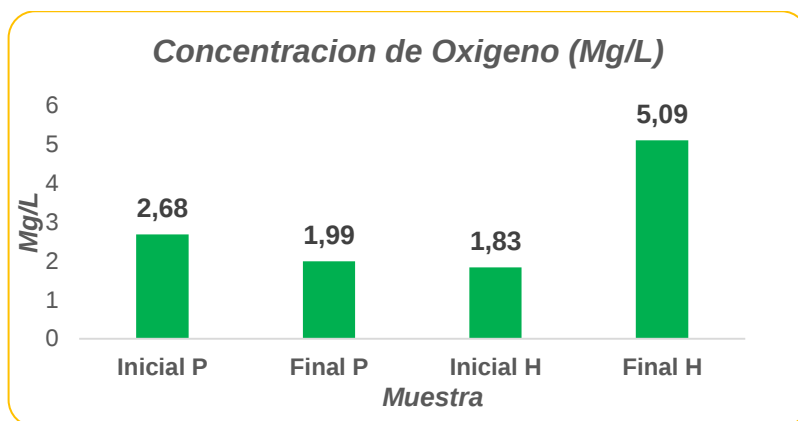
Tabla 5: Parámetros físico químicos para el humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia



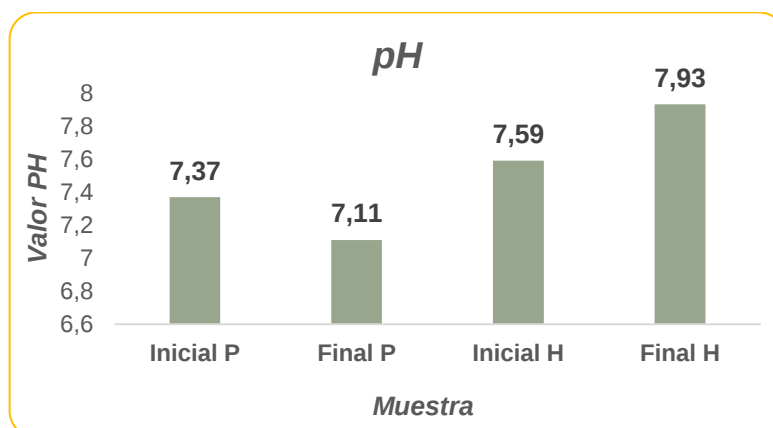
Gráfica 1: Comparación Oxígeno Disuelto para piscina de oxidación y humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia



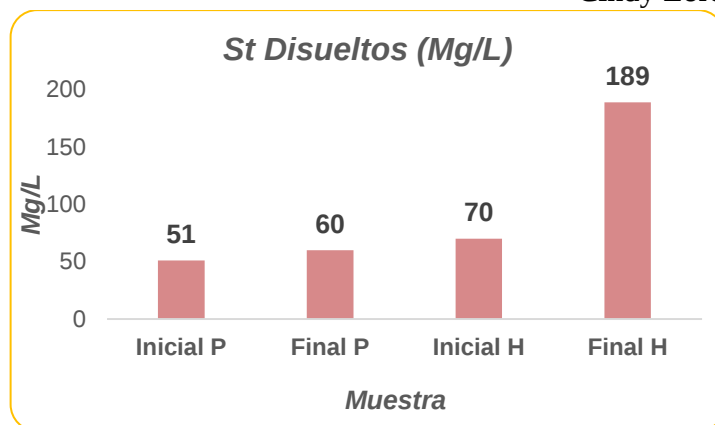
Gráfica 2: Comparación Concentración Oxígeno Disuelto para piscina de oxidación y humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia



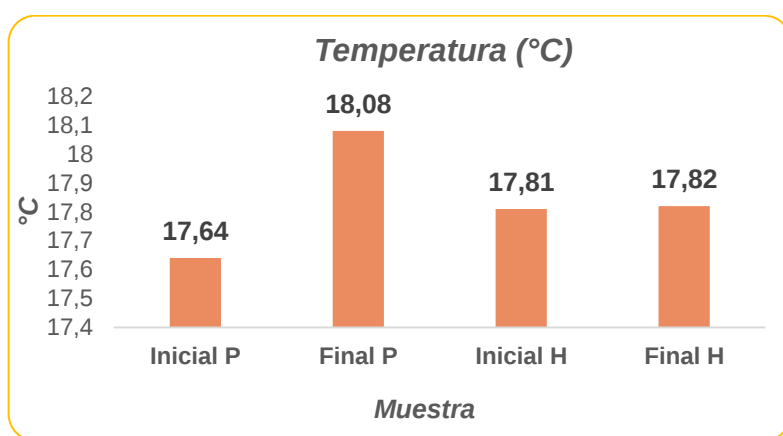
Gráfica 3: Comparación pH para piscina de oxidación y humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4: Comparación ST Disuelto para piscina de oxidación y humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5: Comparación Temperatura para piscina de oxidación y humedal artificial.

Fuente: Elaboración propia

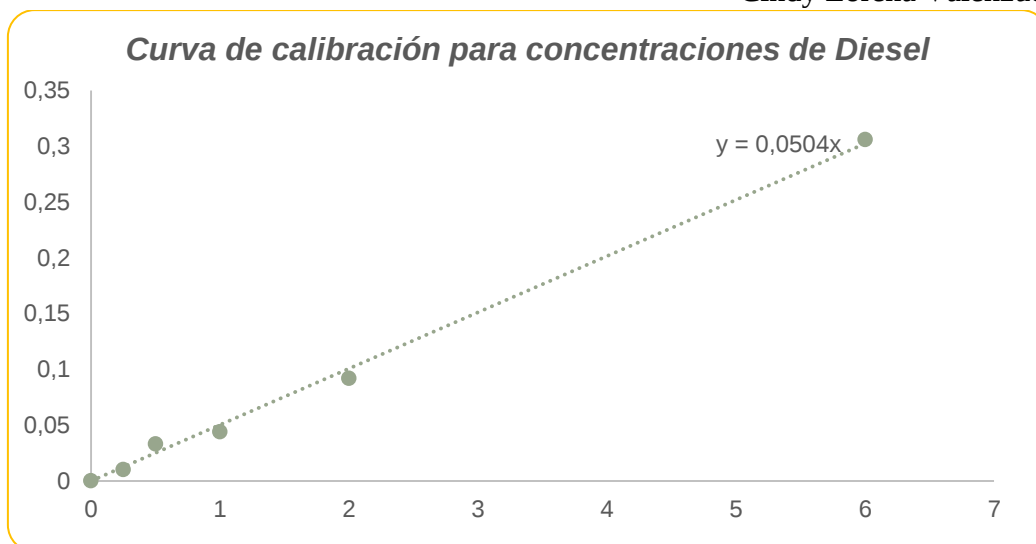
Objetivo 2: Determinar el porcentaje de remoción de hidrocarburos por el proceso de Fitorremediación mediante un humedal artificial.

Con el fin de conocer valor de la concentración encontrada en las muestras, se realizó una curva (Gráfica 6) con concentraciones conocidas de diésel, mediante diluciones con agua destilada. Obteniendo los resultados de la Tabla 4.

Concentraciones TPH		
Muestra	Concentración (mL)	Absorbancia
Co	0,25	0,01
C1	0,5	0,033
C2	1	0,044
C3	2	0,092
C4	6	0,306

Tabla 6: Datos para la elaboración de la curva de calibración

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 6: Curva de calibración para concentraciones de Diésel.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se evaluaron muestras de la piscina de oxidación y los controles para hallar las concentraciones de Diésel presentes en estas, mediante la curva de calibración para concentraciones de Diésel. Obteniendo los resultados mostrados en la TABLA 5:

Muestra	Concentración (mL)	Promedio Concentración (mL)
Piscina de oxidación	0,010	0,010
C1A	0,019	0,016
C1B	0,014	
C2A	0,011	0,014
C2B	0,017	
C3A	0,011	0,017
C3B	0,024	

Tabla 7: Resultados concentraciones halladas en las muestras.

Fuente: Elaboración propia

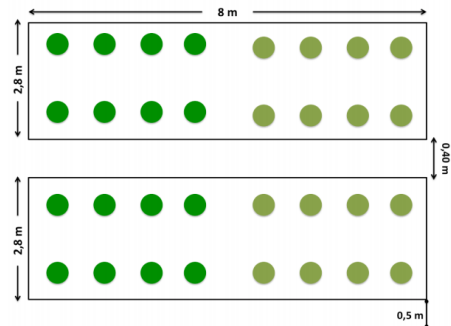
Objetivo 3: Generar una propuesta de optimización del humedal artificial de flujo sub-superficial para la Planta Biomax Mansilla.

Para la revisión y optimización del humedal es necesario tener en cuenta el caudal del sistema obtenido en el momento del diseño, dando como resultado $0,02 \text{ L/s}$, al igual que el volumen del sistema el cual es de $3,01 \text{ m}^3$ y el tiempo de retención hidráulico, dado entre el caudal y el volumen del sistema, siendo de 2 días. Dichos valores son necesarios para la operación del sistema y su mantenimiento, evitando una próxima degradación.

Luego de la revisión en cuanto a la degradación del humedal artificial se hizo necesario el planteamiento de una cotización (TABLA 7), donde se involucrarán las actividades de reparación y mantenimiento del humedal para presentar a diferentes proveedores, con el fin de dar inicio a las actividades de recuperación del humedal artificial presentes en la Planta Biomax Mansilla.

En la revisión inicial del humedal, se evidencio lodo y grava como medio de soporte para las plantas, el cual se encontraba con olor a combustible debido a la degradación que este ha tenido desde el año 2013, por esta razón y mediante revisión bibliográfica se recomendó eliminar el lodo y reemplazarlo por arena de rio la cual tenía mejor porosidad, aprovechando la grava presente en el humedal y la membrana que recubría las paredes del sistema, realizándole correcciones a fisuras.

De igual manera se sugirió la plantación de las especies *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus*, ya que fueron las evaluadas en el proyecto.

PRESUPUESTO HUMEDAL ARTIFICIAL - PLANTA MANSILLA					
PROYECTO:	Arreglo humedal Artificial Planta Mansilla		UBICACIÓN	Facatativá - Cundinamarca	
ALCANCE PROYECTO:	Recuperar la estructura y componentes para el funcionamiento correcto del humedal artificial. Lo cual incluye el material y mano de obra para las siguientes actividades dentro de otros: LAVADO DE GRAVA Y DISPOSICIÓN DE LODO: Actualmente el humedal se encuentra con lodo y grava. Se requiere retirar el lodo del lugar para disponer según disposiciones de la planta. Retirar la grava existente y lavar para eliminar residuos de lodo evitando impactar zonas verdes que rodean el punto. ARREGLO DE MEMBRANA: Se debe revisar la membrana que cubre las paredes del humedal, para identificar fisuras y corregirlas. INSTALACIÓN : Arena de río y grava: colocar la grava lavada sobre la arena de río (de acuerdo a las proporciones indicadas en sitio). Plantas: en la capa de arena se siembran las especies según el esquema 1 y de acuerdo con las especificaciones en sitio.		<i>Imagen estado actual</i> 		
			 <i>Esquema 1.</i>		
DURACIÓN ESTIMADA	1 Semana		ING. PROYECTO:	Cindy Valenzuela / María Paula Peña	
CONTACTO:	3012218933 / 3108003533			DIRECCIÓN:	Carrera 14 No. 99-33 Piso 9
DIMENSIONES DEL HUMEDAL			Ancho: 6m	Largo 8m	Profundidad 0,5m

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT ESTIMADA	V/R UNIT.	V/R PARCIAL
1. LAVADO GRAVA Y DISPOSICIÓN LODO					
1	Retirar y Lavar la grava dispuesta en el Humedal	M3	24	\$ 532.800	\$ 12.787.200
2	Retirar y Disponer el lodo en lugar asignado	M3	8	\$ 162.500	\$ 1.300.000
				Subtotal	\$ 14.087.200
2. ARREGLO MEMBRANA					
3 y 4	Cambio de membrana que cubre las paredes del Humedal (Polietileno calibre 7)	UN	1	\$ 3.820.000	\$ 3.820.000
				Subtotal	\$ 3.820.000

3. ARENA DE RIO Y GRAVA					
5	Cotización de Arena de Rio	M3	1,5	\$ 240.000	\$ 360.000
6	Cotización de Grava	M3	1	\$ 240.000	\$ 240.000
7	Instalar arena de rio y grava en el área del humedal	M3	24	\$ 118.800	\$ 2.851.200
				Subtotal	\$ 3.091.200
4. PLANTAS					
8	Junco (Juncus)	UN	11	\$ 73.000	\$ 803.000
9	Papyro (Cyperus papyrus)	UN	11	\$ 73.000	\$ 803.000
10	Canna Indica	UN	11	\$ 73.000	\$ 803.000
11	Instalación de plantas en humedal	UN	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
				Subtotal	\$ 2.603.000

SUBTOTAL	\$ 23.601.400
ADMINISTRACION 10%	\$ 2.360.140
IMPREVISTOS 8%	\$ 1.888.112
UTILIDAD 4%	\$ 944.056
IVA SOBRE UTILIDAD 19%	\$ 179.371
VALOR TOTAL CONTRATO	\$ 28.973.079

Tabla 8. Cotización para reparación y mantenimiento Humedal Artificial, Planta Biomax Mansilla.

Fuente: Elaboración propia

11. Análisis y discusión de resultados

Objetivo 1: Analizar los parámetros fisicoquímicos del vertimiento antes y después de la degradación de hidrocarburos provenientes del tratamiento primario y secundario.

Los parámetros físico químicos nos indican la calidad del agua y las condiciones para el desarrollo óptimo de las plantas presentes en el sistema, la medición del pH se encontraron dentro del rango permisible por la Resolución 631 del 2015, teniendo como rango valores entre 5 y 9, considerando un pH básico en las mediciones de la piscina de oxidación y el humedal, con un valor de 7 (Gráfica 3), lo cual es adecuado para el crecimiento de las plantas ya que según sus características deben crecer en suelos básicos, aunque la especie *Juncus Effusus* puede crecer en suelos salinos Mo Wang, (2017).

La temperatura promedio en las mediciones de la piscina de oxidación y el humedal artificial fue de 17°C, lo cual puede tener una influencia directa en el rendimiento del sistema, dependiendo de la características de las plantas, la temperatura permite que la vegetación forme películas bacterianas, lo cual facilita la filtración y absorción de nutrientes del agua residual (MIRANDA CASTAÑÓN, 2012) De igual manera mediante la temperatura y la precipitación del lugar, se pueden determinar la cantidad de sólidos disueltos y su afectación al sistema, los sólidos totales disueltos analizados en la piscina de oxidación y el humedal artificial, están constituidos por materia suspendida, teniendo valores iniciales de 51 mg/L y 70 mg/L y valores mensuales de 60 mg/L a 189 mg/L respectivamente (Gráfica 4), los valores obtenidos en el humedal artificial son mayores puesto que tienen como base arena de río y grava, de igual manera la medición de análisis de muestras se hizo en el mes de abril, siendo un mes con un nivel de precipitación alto, generando mayor nivel de sólidos, según Johan Bierkens, (2014) las concentraciones de sólidos son mayores en climas fríos, afectándose por las aguas lluvias y sedimentos en estas épocas.

El Porcentaje y Concentración Oxígeno Disuelto, según los valores arrojados en las mediciones realizadas se vio un aumento del 64% entre la medición inicial y final del humedal (Gráfica 2), lo cual es favorable debido que se cuenta con las condiciones favorables para el crecimiento de las plantas y la degradación de TPH, ya que como se nombro anteriormente las raíces proporcionan un medio de soporte para los microorganismos en el humedal, los cuales deben ser incorporados en el sistema para mejorar su eficiencia, además las raíces contienen una fuente de carbono, que con el oxígeno disuelto presente en el sistema permiten la degradación de hidrocarburos y a su vez se ve aprovechada para su crecimiento (M. Abbas, 2017). De igual manera la concentración de oxígeno disuelto es importante en la conservación de nutrientes en el sistema, en el estudio de CUBILLOS VARGAS (2011), donde se implemento un humedal artificial con *Phragmites sp*, se evidencio una disminución en el nitrógeno debido a la baja difusión de oxígeno, la cual puede ser causada por el exceso de hidrocarburo presentes en el caudal que alimenta el humedal.

Según los resultados obtenidos mediante la medición con el multipárametro algunos parámetros importantes como los sólidos totales se ven afectados por el agua lluvia para la valoración de la efectividad del humedal artificial con relación a la piscina de oxidación, para lo que se considera importante la implementación de una cubierta sobre el humedal artificial, elaborada en láminas de policarbonato, junto con unas canaletas que nos permitan recoger el agua lluvia, de base se debe utilizar tubos de metal, junto con codos (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, 2013).

Dicho sistema debe ser implementado para captar el agua lluvia, y darle un posible re uso en algunas actividades de la planta, considerando un área de captación de 50 m² y el diseño de la cubierta en la siguiente imagen:

$$Ac = \frac{VT}{C \times Pm}$$

Ac = Área de captación – m²

VT = Volumen total de la estructura – L

C = Coeficiente de escorrentía

Pm = Precipitación promedio anual – mm

$$Ac = \frac{101000 L}{1.0 \times 2000 mm} = 50.5 m^2$$

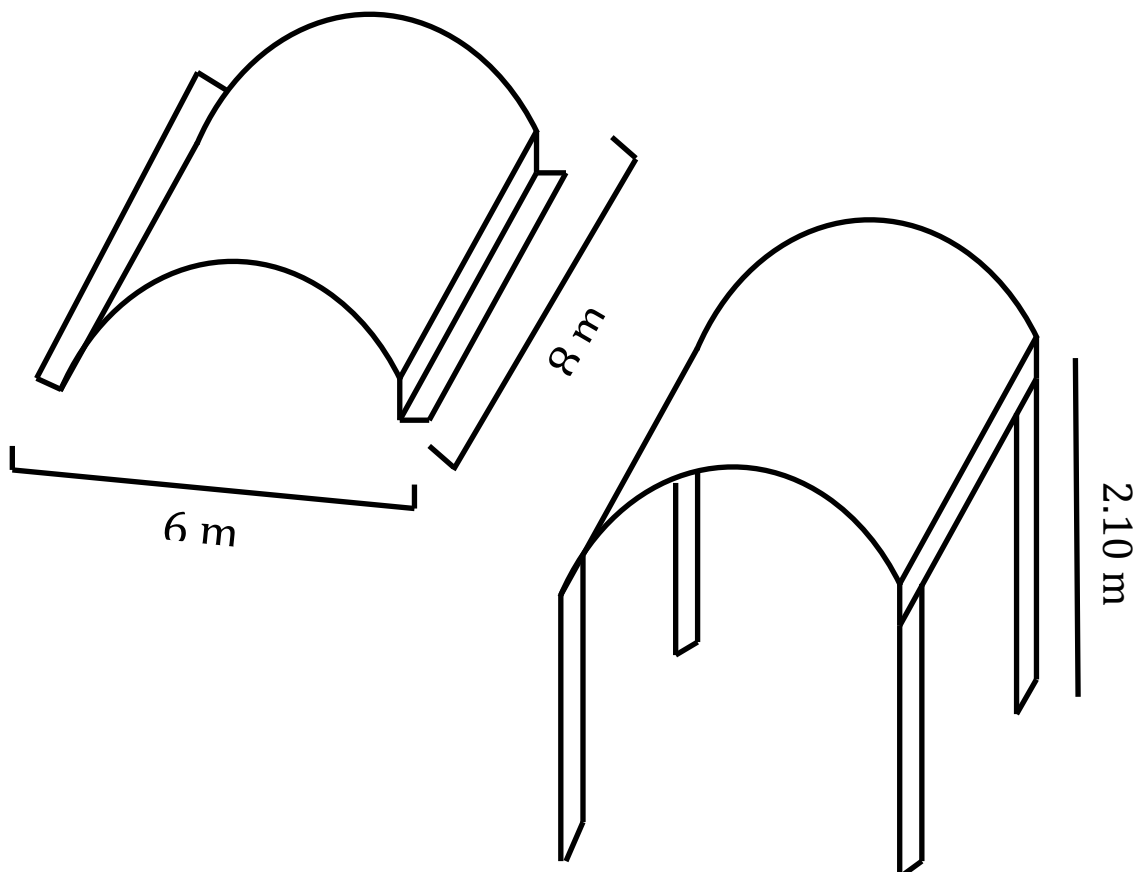


Figura 10. Diseño cubierta humedal artificial

Fuente: Elaboración propia

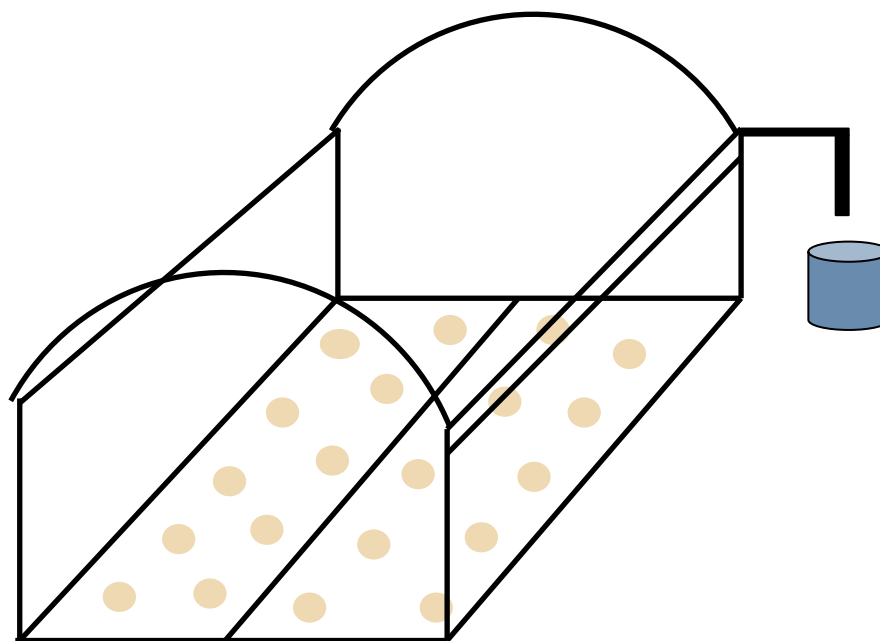


Figura 11: Representación cubierta y sistema de captación agua lluvia para Humedal artificial

Fuente: Elaboración propia

El sistema diseñado permite la reducción del impacto del agua lluvia en los parámetros medidos del humedal, además esta puede ser recolectada mediante canaletas y un tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 13 para darle un posible re uso al agua lluvia, puesto que la Planta Mansilla, no cuenta con acueducto y debe comprar 98m^3 de agua a la empresa Comultrans S.A.S mensualmente, el agua recolectada por este medio podría ser utilizada en el riego de jardines, lavado y limpieza de áreas, entre otros, de igual manera se debe tener en cuenta que la precipitación presente en la zona es alto, lo que se vería reflejado en una buena cantidad de agua lluvia recolectada.

Objetivo 2: Evaluar el porcentaje de remoción de hidrocarburos por el proceso de Fitorremediación mediante un humedal artificial.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el método 10050 de Test de inmunoensayo para evaluación de TPH y la ley de Lambert Beer, se evidencian mínimos resultados de remoción de concentración, puesto que la concentración inicial es menor a la concentración encontrada luego del paso por el sistema. Generando una serie de inquietudes e hipótesis acerca del funcionamiento del humedal artificial para la degradación de TPH.

Podemos considerar el tiempo de evaluación que se obtuvo para evidenciar la degradación de hidrocarburos por parte de *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus*, teniendo una concentración de TPH de 0,16 para el control donde se tenía el *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus* denominado como Control 1 (C1A – C1B), para el Control 2 (C2A – C2B) donde se tenía *Cyperus Papyrus* se evidencia una concentración de TPH de 0,14 mL y finalmente el Control 3 (C3A – C3B) con la especie *Juncus Effusus* donde se tiene una concentración final de 0,17 mL (Tabla 7). Para lo que se puede concluir que el control 1, con las dos especies es quien ha generado mayor eficiencia en la

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

remoción de TPH con respecto a la muestra inicial, proveniente de la piscina de oxidación, aunque sin embargo su concentración es mayor a la de la muestra inicial. Según varios autores como Vargas, 2011, consideran que el tiempo para la metabolización de los contaminantes, en este caso TPH, por parte de las plantas es importante, puesto que dichas especies comienzan a madurar y tomar su tiempo de adaptación luego de 5 meses, donde los niveles de degradación serán evidenciados en gran medida.

Además Miranda Castañón , 2012 en su estudio sobre las eficiencias de los humedales de flujo sub-superficial, afirma que la concentración de contaminantes presentes en las aguas residuales son variables según el mes en que se tomen las muestras, puesto que en invierno hay concentración de los contaminantes, lo que pudo afectar la concentración en las muestras tomadas en el humedal artificial y la piscina, puesto que para los meses de Marzo y Abril donde fueron tomadas las muestras fue una época de lluvia, por esta razón se hace la propuesta de la implementación de una cubierta sobre el humedal artificial.

Así mismo, cabe evaluar la falta incorporación de microorganismos al sistema, ya que estos se adhieren a las raíces de las plantas. Reduciendo el aumento de carbono, el cual puede crear insuficiencias nitrógeno y fósforo, debido a la inmovilización por procesos microbianos, las necesidades de los microorganismos y las plantas es importante para el desempeño del humedal en la reducción de los contaminantes. (CUBILLOS VARGAS, 2011) De igual manera, si existe poca disponibilidad de nutrientes se puede limitar la degradación microbiana de los hidrocarburos, por lo que se hace necesario tener ajustada la proporción de C: N: P, adicionando algún tipo de fertilizante al sistema.

Rafik M. Hesnawi & MOHAMED M. ADBEIB, 2013 en su estudio demostraron que las concentraciones de los nutrientes en el proceso de biodegradación de hidrocarburos debe ser controlada, puesto que dicha concentración puede afectar la asimilación del contaminante y la presencia de las poblaciones microbianas, donde el contenido de nitrógeno puede ser considerado un factor inhibitorio en la reducción de los compuestos orgánicos, lo que provoca la acumulación de nitritos y óxidos de nitrógeno. Contrario al estudio de CUBILLOS VARGAS, 2011 donde la adición de nutrientes al humedal artificial permitió la bioestimulación en la degradación de TPH por parte de los microorganismos, notándose diferencias significativas en los contenidos de hidrocarburo.

Concluyendo que los microorganismos son considerados importantes dentro del sistema, para la transformación de los contaminantes, puesto que los ecosistemas biológicamente activos fomentan el desarrollo de diferentes tipos de bacterias con la habilidad de transformar los contaminantes en productos menos nocivos.

Objetivo 3: Generar una propuesta de optimización del humedal artificial de flujo sub-superficial para la Planta Biomax Mansilla.

Debido a la corriente de agua contaminada con altas concentraciones de producto generadas por el drenaje de un tanque, ha producido una saturación del sistema, donde se han degradado las especies hasta el punto de morir y además considerando que el material presente dentro del humedal está deteriorado y saturado, se hace necesario la cotización del mantenimiento del humedal, para el cambio del material presente en el suelo y plantación de nuevas especies. Por esta razón junto con los Ingenieros de la empresa BIOMAX S.A, se hace una cotización a la empresa R&G Soluciones solicitándoles las actividades de implementación y reparación del humedal. Como se encuentra descrito en la Tabla 8.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda

Con el fin de recuperar la estructura y componentes para el funcionamiento correcto del humedal artificial, incluyendo el material y mano de obra para las actividades de:

Lavado de Grava y Disposición de Lodo: Se hace necesario retirar el lodo y grava que se encuentra dentro del humedal, por normatividad, es necesario hacerle una correcta disposición al lodo donde este debe ser entregado a una empresa certificada por el IDEAM, para hacer una disposición final, puesto que el lodo se encuentra lleno de hidrocarburo y es considerado un residuo peligrosos. La grava será reutilizada, se le hará un lavado con agua y se implementara con el nuevo material.

Arreglo de la membrana: Se debe revisar la membrana que recubre las paredes que rodean el humedal, para identificar fisuras y corregirlas con posibles parches. La membrana es necesaria puesto que evita filtraciones al suelo que se encuentra fuera del área del humedal, para evitar contaminaciones.

Instalación de arena de río y grava: Según varios autores la arena de río y grava han sido los materiales que han presentado mayor efectividad en la depuración de hidrocarburos con Humedales artificiales, la arena de río permite una infiltración rápida y es considerada factible en el soporte de microorganismos vivientes en humedal y las plantas. (Lara Borrero J. A., 2000)

Plantación de especies: En la capa de arena deben ser sembradas las especies de *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus*, de acuerdo con las especificaciones del sitio en hileras, dejando un espacio de 0,5 m entre cada una.

De igual manera se plantea la elaboración de una cubierta descrita en la Figura 10 y 11 para la retención de las aguas lluvias y su posible aprovechamiento. Lo cual no se ha cotizado hasta el momento, pero debe considerarse para el correcto funcionamiento del sistema.

El humedal artificial presente en al inicio del proyecto presenta un nivel de degradación, con una inexistencia de especies y material de soporte saturado, el lodo presente actualmente en el humedal emite olores ofensivos para el personal de la planta, además de una afectación al paisaje por su percepción, la optimización planteada para dicho humedal, se pretende generar un paisaje armonioso y ejemplar para los operadores y visitantes de la planta, incorporando como medio de soporte arena de río y grava, donde según estudios anteriormente nombrados son eficientes en el proceso de degradación, al igual que las especies de *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus* a plantar, permitiendo así un mejoramiento de la calidad del vertimiento de AR de la Planta y ventajas ambientales y económicas para la organización.

12. Conclusiones y Recomendaciones

La remoción de contaminantes mediante humedales artificiales, ocurren bajo el contacto de los microorganismos que son adheridos a las raíces de las plantas y el medio filtrante con los compuestos presentes en el agua residual. Por esta razón y bajo el argumento de varios autores los humedales de flujo sub-superficial son más efectivos que los humedales de flujo superficial. Sin embargo, los de flujo sub-superficial son susceptibles a sobrecargas y obstrucciones del medio filtrante, lo que reduce la eficiencia del tratamiento, de igual manera, tienen la ventaja de no generar vectores como mosquitos y presentan mayor área superficial para la creación de la biopelícula, la cual mejora la efectividad del humedal.

Los parámetros evaluados dentro del estudio son de vital importancia puestos que nos permiten conocer los criterios necesarios para el desarrollo de los microorganismos los cuales son importantes dentro del desarrollo del sistema y la efectividad de la remoción de hidrocarburos. Sin embargo, es necesario realizar la medición de DBO Y DQO, para aproximarse aún más a los nutrientes necesarios para el desarrollo óptimo del sistema.

La sobrecarga al sistema genera una serie de alteraciones que afectan el funcionamiento del humedal para la remoción de hidrocarburos, por esta razón es de vital importancia tener en cuenta el caudal que puede manejar el sistema, para así evitar posibles sobrecargas que vuelvan a degradar el humedal. En esta oportunidad se implementará arena de río y grava como medio de soporte para los microorganismos y las plantas, donde según otros estudios ha sido por su porosidad el medio de soporte más eficiente, sin embargo es necesario un correcto manejo para evitar taponamientos.

Dentro del estudio se evaluaron las especies de *Juncus Effusus* y *Cyperus Papyrus* las cuales han sido consideradas especies óptimas en la remoción de hidrocarburos, a pesar de no obtener los resultados esperados en la remoción por la poca disposición de tiempo. De igual manera, se considera prudente realizar la evaluación de la especie *Phragmites* la cual ha sido utilizada en varios proyectos por tener una buena efectividad en la remoción de contaminantes, así como la implementación y evaluación con microorganismos quienes tienen un papel importante dentro de los procesos del humedal para la degradación de hidrocarburos.

El humedal artificial debe ser empleado como un sistema de tratamiento secundario, donde las aguas residuales generadas sean tratadas por un tratamiento previo para disminuir la carga del contaminante. De igual manera son sistemas que han evidenciado un nivel alto de efectividad en el manejo de aguas residuales.

13. Bibliografía

- Pulgarin, M. d. (2012). *Evaluación de la Fitorremediación como alternativa de tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de la EDS en Risaralda*. Tesis , UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA , Risaralda, Pereira.
- Vargas, J. A. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Tesis, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Risaralda, Pereira.
- Ramos Franco, A., Prieto Naranjo, J., Cárdenas Nieto, D., & Bernal Sierra, M. (2016). Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* , 7(1).
- Rodríguez González , M., Alfredo, J., Judith, M., & Joaquín, S. (2012). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería Investigación y Tecnología* .
- Arias Martínez, S., Betancur, M., Rojas, G., Salazar, J., & Hernandez , M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico* .
- Colprensa. (27 de Noviembre de 2017). La industria petrolera tiene mejor panorama para 2018. *El País* .
- Arias, C. A. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. From https://www.researchgate.net/profile/Hans_Brix/publication/230563349_Humedales_artificiales_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales/links/0912f50e317ee2a1d1000000/Humedales-artificiales-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf
- Ramos, G. C. (2012). PETRÓLEO, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD: MACONDO, OTRA ADVERTENCIA MÁS. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas* , 17.
- Sanz, J. M. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. From ALQUIMIA SOLUCIONES AMBIENTALES: http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf
- Solís Silván, R., López Ocaña , G., Bautista Margulis , R. G., Hernández Barajas , J. R., & Romellón Cerino , M. J. (2015). EVALUACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO LIBRE Y SUBSUPERFICIAL EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO DIFERENTES ESPECIES DE VEGETACIÓN MACRÓFITA. *Interciencia* , 9.
- Eke, P. E. (2008). *Hydrocarbon removal with constructed wetlands*. The University of Edinburgh.
- Rodríguez González , M., Jácome Burgos , A., Molina Burgos , J., & Suárez López , J. (2013). Subsurface Vertical Flow Constructed Wetland for Tertiary Treatment of Effluent of Physical-Chemical Process of a Domestic Wastewater Treatment Plant. *Ingeniería Investigación y Tecnología* .
- VARGAS, J. A. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Wallace, S., & Kadlec , R. (2008). *BTEX degradation in a cold - climate wetland systems* . Proceedings of the 9th International Conference on Wetland system for water pollution control.
- PULGARIN , M. (2012). *EVALUACION DE LA FITOREMEDIACION COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS PROCEDENTES DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO EN RISARALDA* . Tesis, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA , RISARALDA.

- CUBILLOS VARGAS, J. A. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Tesis, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira.
- U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. (1999). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH)*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Dietz, A., & Schnoor, J. (2001). Advances in Phytoremediation. *Environmental Health Perspectives*.
- Corpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas - Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16.
- BIOMAX S.A. (2018). Matriz Legal Ambiental . Colombia.
- RÍOS, M. L. (2011). *DIAGNÓSTICO BASE PARA EL ANÁLISIS AMBIENTAL TERRITORIAL EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ (CUNDINAMARCA)*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS .
- BIOMAX S.A. (2016). *PLAN DE ATENCIÓN A EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS INCLUYENDO DERRAMES DE HIDROCARBUROS, DERIVADOS Y SUSTANCIAS NOCIVAS*.
- EARTH®, G. (29 de Enero de 2014). Imagen satelital . Bogota , Colombia: Google Earth .
- Facatativá, I. d. (01 de Marzo de 2011). *Alcaldía de Facatativá-Cundinamarca*. Retrieved 29 de Enero de 2014 from Alcaldía de Facatativá-Cundinamarca: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/index.shtml#6>
- Facatativá, F. H. (01 de Febrero de 2011). *FACATATIVÁ*. Retrieved 29 de Enero de 2014 from Facatativa.wikispaces.com/fuentes+hidricas
- Facatativá, A. c. (2002). *Plan de ordenamiento territorial FACATATIVÁ 2001-2021*. Oficina asesora de planeación municipal, Facatativá.
- FERREPEL, A. I. (2006). *Estudio de suelos FERREPEL*. Facatativá.
- Facatativá, A. m. (2011). *ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE SALUD DEL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ*. Secretaria de Salud, Facatativá.
- FACATATIVÁ, A. D. (2006). *RESOLUCION N° 453*. ALCALDIA DE FACATATIVÁ GERENCIA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL , SECRETARIA DE DESARROLLO URBANISTICO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, FACATATIVÁ.
- FERREPEL, S. (2005). *ESTUDIO AMBIENTAL Planta de almacenamiento y Distribucion de combustible líquido y alcohol Mancilla-Facatativá*. Bogotá.
- PLANTAS MEDICINALES EN LOS JARDINES DE LAS VEREDAS MANCILLA, L. T. (01 de Mayo de 2003). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*. Retrieved 28 de Enero de 2014 from PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis52.pdf>
- ECOPETROL, D. d. (3 de 11 de 2009). Guía para la construcción de planes de contingencia. Colombia.
- Puentes, R. B. (2013). *Remoción de hidrocarburos en aguas residuales mediante humedales construidos de flujo subsuperficial plantados con Canna sp y Juncus effusus*. Tesis, Universidad de los Andes , Colombia.
- Arenas Sosa, I., & López Sánchez, J. L. (2004). *ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN*. Instituto de Biotecnología, Cuernavaca.
- Hybrid Turkeys . (2016). *Potencial de reducción de oxidación (ORP):*. Hendrix Genetics Company.
- SEVERICHE SIERRA, C. A., & BARRETO LEZAMA, A. J. (2013). *EFFECTO DE LAS LLUVIAS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO EN PERIODO 2006-2009*. Trabajo de Grado, Manizales.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2015). *RESOLUCIÓN 631 DE 2015*.

Lara Borrero, J. A. (2000). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA - Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Fondo Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (FIDA) y la Cooperación Suiza.

MIRANDA CASTAÑÓN, J. R. (2012). *“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO, PUESTA EN MARCHA Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PLANTA PILOTO AURORA II, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”*. Tesis, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

Rafik M. Hesnawi, & MOHAMED M. ADBEIB. (2013). Effect of Nutrient Source on Indigenous Biodegradation of Diesel Fuel Contaminated Soil. *ElSevier*.

Sandoval, L., Marín, M., & Almanza, A. (2017). EXPLOTACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y CONFLICTO EN COLOMBIA. *Revista de economía institucional*, 19, 37.

Lara Borrero, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con Humedales Artificiales*. Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña.

Puentes, R. B. (2013). *Remoción de hidrocarburos en aguas residuales mediante humedales construidos de flujo subsuperficial plantados con Canna sp y Juncus effusus*. Universidad de los Andes, Bogotá.

Vallejo, V. Q., Sandoval, J. C., & Garagoa, S. B. (2015). *Evaluación del efecto de la bioestimulación sobre la biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados con alquitrán en Soacha, Cundinamarca - Colombia*. Universidad Central de Colombia, Bogotá.

Mo Wang, D. Q. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 293 - 311.

Johan Bierkens, L. G. (2014). Environmental hazard and risk characterisation of petroleum substances: A guided “walking tour” of petroleum hydrocarbons. *Environment International*, 66, 182 - 193.

M. Abbas, A. J. (2017). Redox potential distribution of an organic-rich contaminated site obtained by the inversion of self-potential data. *Journal of Hydrology*, 111-127.

14. Anexos

Anexo 1: Manual de Operaciones para el humedal artificial de flujo sub – superficial en la planta de almacenamiento y abastecimiento BIOMAX Mansilla

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO DE BIOMAX MANSILLA.

Cindy Lorena Valenzuela Rueda