

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE
(MANGLE ROJO) PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA
ORGÁNICA EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL.



JHONATAN CABALLERO PELUFFO
REYNALDO OSORIO FERNÁNDEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO A INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T.Y C.

2016

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE
(MANGLE ROJO) PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA
ORGÁNICA EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL.



UNIVERSIDAD DE
CARTAGENA
DIRECTOR DEL PROYECTO
EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS, MSc, PhD



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D.T.Y C.

2016



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCION	11
1. OBJETIVOS Y ALCANCE	14
1.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
2. MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1. MARCO TEORICO	15
2.1.1. Humedales Artificiales.....	15
2.1.2. Tipos de Humedales Artificiales.....	15
2.1.3. Humedales de flujo horizontal (FH).	17
2.1.4. Humedales de flujo vertical (FV).....	17
2.1.5. Constituyentes de un Humedal Artificial Vertical.....	17
2.1.6. Hidráulica de los Humedales Verticales.	19
2.1.7. Rhizophora Mangle.....	20
2.1.8. Evotranspiración.	21
2.1.8.1. Factores que afectan la evapotranspiración.....	22
2.2. ESTADO DEL ARTE	24
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. LOCALIZACION	32
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.....	33
3.3. RE-DISEÑO DEL HUMEDAL	36
3.4. EQUIPOS Y MATERIALES.....	41
Tanque de Almacenamiento.	42



Tanque Séptico.	42
Humedales Artificiales.	42
3.5. ANALISIS DE LOS ESCENARIOS	42
3.5.1. Mangle Rojo.....	42
3.5.2. Tiempos de Retención.....	43
3.5.3. Recolección de Muestras.....	43
3.5.4. Efectos de la Evotranspiracion.....	45
4. RESULTADOS Y DISCUSION	48
4.1. TANQUE SEPTICO	48
4.1.1. DBO5.	49
4.1.2. Nitrógeno Total.	50
4.1.3. Fosforo Total.....	50
4.2. EFICIENCIA DE LOS HUMEDALES Y CELDA DE REFERENCIA EN LA REMOCION DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA	51
4.2.1. Materia Orgánica.....	51
4.2.2. Nitrógeno Total.	53
4.2.3. Fosforo Total.....	55
4.2.4. Coliformes Totales y Fecales.....	57
4.3. EFECTOS DEL MANGLE ROJO EN LA PLANTA PILOTO	60
4.4. REMOCION DE LA CARGA ORGANICA EN LOS HUMEDALES Y LA CELDA DE REFERENCIA.....	62
5. CONCLUSIONES	66
6. RECOMENDACIONES.....	68
7. REFERENCIAS.....	69
8. ANEXOS	72



INDICE DE FIGURAS

Figura 1, Humedal a Flujo Libre.....	15
Figura 2, Humedal de Flujo Subsuperficial.	16
Figura 3. Humedal con Flujo Vertical.	17
Figura 4, Rhizophora Mangle. Fuente.....	21
Figura 5. Sección Transversal de la Planta Piloto de Leidsche Rijn.....	26
Figura 6. Esquema del Sistema Piloto que Utilizaron en la Fundación Universitaria de la Costa.....	30
Figura 7. Localización de la planta piloto.....	33
Figura 8. Registro de aguas residuales facultad de ingenierías.....	34
Figura 9. Tanque de almacenamiento de aguas a tratar.	34
Figura 10. Esquema toma de muestras.....	35
Figura 11. Esquema de humedales y tanque blanco.	36
Figura 12. Tren de tratamiento.....	37
Figura 13. Proceso de limpieza de material granular.....	37
Figura 14. Limpieza material granular humedales.....	38
Figura 15. Sistema de riego parte superior.	38
Figura 16. Mangle rojo.....	39
Figura 17. Re-diseño de los humedales	39
Figura 18. Sistema de riego inferior.....	40
Figura 19. Bomba sumergible y motobomba centrifuga.....	41
Tabla 20, Esquema de muestreo.....	44
Figura 21. Recipientes usados para la toma de muestras.....	44
Figura 22. Lector de temperatura y humedad del ambiente.....	47
Figura 23. Eficiencia del tanque séptico en las 4 semanas.	48
Figura 24. Concentraciones de entrada vs salida de DBO5.....	49
Figura 25. Concentraciones de entrada vs salida de Nitrógeno total.	50
Figura 26. Concentraciones entradas vs salidas fosforo total..	51
Figura 27. Concentraciones de DBO5 vs Tiempo de Retención en Días.	52
Figura 28. Eficiencia en la remoción de DOB5 en las celdas de tratamiento vs los días de retención.....	53



Figura 29. Concentraciones de Nitrógeno Total vs Tiempo de Retención en Días.	54
Figura 30. Eficiencia en la Remoción de Nitrógeno vs Tiempo de Retención en Días.	55
Figura 31. Concentración de Fósforos Totales vs Tiempo de Retención en Días..	56
Figura 32. Eficiencias en la Remoción de Fósforos Totales vs Tiempo de Retención en Días..	57
Figura 33. Concentraciones de Coliformes Totales vs Tiempo de Retención en Días.	58
Figura 34. Eficiencia Coliformes Totales vs Tiempo de Retención en Días.	58
Figura 35. Concentraciones de Coliformes Fecales vs Tiempo de Retención en Días.	59
Figura 36. Eficiencia Coliformes Fecales vs Tiempo de Retención en Días.	60
Figura 37. Comparación de promedio de eficiencia de remoción de DBO5 en los humedales y celda de referencia entre el sistema propio y el de Curiel & Palomino.	61
Figura 38. Balance Hídrico.	64



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento de depuración de un humedal subsuperficial.	16
Tabla 2. Resultados concentraciones tanque receptor.....	35
Tabla 3. Características de la bomba sumergible.....	41
Tabla 4. Características de la motobomba centrifuga	41
Tabla 5. Radiación solar mes de abril.	46
Tabla 6. Radiación solar del mes de mayo.....	47
Tabla 7, Promedio semanal eficiencia DBO5.	61
Tabla 8, Promedio semanal eficiencia DBO5.	62
Tabla 9. Calculo de evotranspiracion y caudales de salida (método de thornthwaite).	63
Tabla 10. Eficiencia de Remoción de Carga Orgánica.	64
Tabla 11. Cargas Orgánicas en el Efluente del Sistema.....	65



RESUMEN

En la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar se construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales mediante el uso de humedales artificiales de flujo vertical, con el objetivo principal de cuantificar la capacidad depuradora del Rhizophora Mangle (mangle rojo) utilizado como vegetación para el humedal. El tren de tratamiento estuvo conformado por un tanque de almacenamiento de 1000 L que también funciona como tanque regulador de caudal, un tanque séptico de 1000 L y tres celdas de tratamiento, de las cuales una sin vegetación para ser usada como referencia. Para las celdas de tratamiento se utilizaron tanques de almacenamiento de 250 L. El medio filtrante de los humedales consistía de una primera capa de triturado de 1 ½” con altura de 20 cm, una segunda capa de 1” y una altura de 40cm, la segunda capa fue dividida en dos de 20 cm por una lámina de acrílico con el fin de mantener separado en dos el humedal por cuestiones del tamaño de la raíz de la vegetación utilizada la cual fue Rhizophora Mangle (Mangle Rojo), además se suministró una capa de abono y tierra negra. Se analizó la DBO5, eficiencias en la remoción de fósforo total, eficiencias en la remoción nitrógeno total, coliformes fecales y coliformes totales por un periodo de 4 semanas, luego de un tiempo de adaptación para la vegetación alcanzando eficiencias para la DBO5 por encima del 90%, fósforo total de 70%, nitrógeno total de 90%, coliformes total de 99% y coliformes fecal de 99%, deduciendo de esta manera que la implementación del mangle rojo para este tipo de sistema es favorable. Basados en investigaciones anteriores y con el fin de determinar la eficiencia del biofiltro se tomaron como tiempos de retención 3, 5 y 7 días y a partir de esto se definieron los caudales respectivos 38.08L/día, 22.85L/día y 16.32 L/día.

La realización del proyecto implicó la captación de aguas residuales del campus y la aplicación de ensayos en laboratorio especializados en la caracterización y calificación del fluido en cuanto a concentraciones de DBO5, nitrógeno y fósforo en distintos puntos del sistema, antes del tanque séptico, y antes y después de las tres unidades de tratamiento; estos ensayos de laboratorios fueron llevado a cabo en las instalaciones de CARDIQUE.



ABSTRACT

At the University of Cartagena was built a pilot plant for the wastewater treatment plant using vertical flow constructed wetlands, with the main objective to quantify the purifying capacity of red mangrove vegetation used as for the wetland. The treatment train consisted of a storage tank 1000 L also worked as a regulator flow tank, a septic tank of 1000 L and three treatment cells, one of which no vegetation to be used as reference. For treatment cells were used storage tanks 250 L. The filter medium of wetlands consisted of a first layer of shredded 1½ " with height of 20 cm, a second layer 1 " and a height of 40cm, the second layer was divided into two 20 cm by a sheet acrylic order to keep separated into two sections the wetland by the size of the root of the vegetation used, plus a layer of compost and topsoil was delivered. BOD5, total phosphorus, total nitrogen, fecal coliforms and total coliforms were analyzed for a period of four weeks, after a period of adaptation to vegetation reaching efficiencies for BOD5 above 90%, total phosphorus 70%, nitrogen total of 90%, 99% Total coliforms and fecal coliforms of 99%, thus inferring that the implementation of red mangle for this type of system is favorable. Based on previous investigations in order to determine the efficiency of the bio filter they were taken as retention times 3, 5 and 7 days and from this were defined the respective flow 38.08L / day 22.85L / day and 16.32 L / day.

The project involved the wastewater collection campus and implementation of trials in specialized laboratory characterization and qualification of the fluid in terms of concentrations of BOD5, nitrogen and phosphorus in different parts of the system: before the septic tank, and before and after three treatment units. These laboratory tests were carried out at the premises of CARDIQUE.



INTRODUCCION

Se estima que en Colombia los centros urbanos captan alrededor de $170 m^3/s$, de agua de los cuales se pierden entre el 40 y el 50%, regresando al ambiente en forma de aguas residual un 70 a 80% de las aguas consumidas. Las enfermedades producidas por la contaminación de los recursos hídricos, son las responsables del 80% de los casos de morbilidad y mortalidad en los países de tercer mundo. En el país solo el 22% de los municipios realizan un tratamiento de sus aguas residuales, una cifra bastante baja teniendo en cuenta las bajas eficiencias de estos sistemas (Simanca & Herrera E. S.-J., 2011).

Una de las alternativas de tratamiento que más fuerza está tomando en los últimos años, es la compuesta por los humedales artificiales incluidos dentro de los denominados sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas en comparación con otras tecnologías de depuración convencionales se han convertido en una alternativa atractiva para el tratamiento de aguas residuales en pequeños núcleos de población, en especial las áreas rurales. Esto se debe a su bajo costo de operación y mantenimiento, a la simplicidad en el diseño y a la reducción de los impactos negativos en el medio ambiente, que se han obtenido. Los humedales artificiales Son sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, donde se lleva a cabo principalmente la fase secundaria del proceso de tratamiento (remoción de nutrientes y materia orgánica), la cual involucra la remoción de aproximadamente del 80% a 90% de la materia orgánica presente en el agua contaminada (Curiel & Palomino D. M., 2012); Estos sistemas surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, foto oxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación (Mena, 2008).

Bajo estas tendencias actuales de tecnologías de tratamiento mediante humedales artificiales, se ha considerado oportuno realizar este trabajo de investigación que tiene como línea saneamiento ambiental, junto con el grupo de investigación de modelación ambiental (GIMA), logrando diseñar y construir una planta piloto con el sistema de



humedal de flujo vertical, en la Universidad de Cartagena campus Piedra Bolívar, utilizando como elemento depurador principal al mangle rojo, una planta típica de nuestra región.

Los manglares son humedales únicos a lo largo de la costa de las regiones tropicales y subtropicales, tienen adaptaciones especiales a ambientes estresantes y una enorme demanda de nutrientes debido a un rápido crecimiento, alta productividad primaria, y metabolismo.

En investigaciones anteriores realizadas en la Universidad de Cartagena se observó que a pesar de obtener buenas eficiencias los humedales no cumplieron con las eficiencias esperadas, por ejemplo para el DBO₅, en el proyecto de Simanca y Herrera (2011), en la semana número uno la unidad de referencia (humedal sin vegetación) tuvo un porcentaje de remoción de 61% y en el humedal con vegetación fue de 58%; en la semana número cinco para la unidad de referencia se obtuvo un 81% y en el humedal 82% de eficiencia (Simanca & Herrera E. S.-J., 2011). Otra investigación obtuvo como resultado en promedio, una remoción de 88.33% y 84.44% para el humedal y la celda de referencia (Curiel & Palomino D. C.-R., 2012). Gracias a los resultados en las investigaciones pasadas se tomó como primera medida el cambio de vegetación a Rizophora (mangle rojo), y debido a la gran abundancia de la especie en la región y la gran capacidad que tiene para adaptarse a aguas con muy baja salinidad.

El mangle es una especie de vegetación abundante en el caribe, es una planta con excelentes cualidades que la hacen en teoría aptas para la depuración de aguas residuales, es por tal motivo que el presente experimento evaluó esta función depuradora del mangle siendo utilizado en la implementación del humedal, para tratar las aguas residuales. Para lograr el objetivo se puso en marcha el funcionamiento de la planta piloto existente en el campus piedra bolívar de la Universidad de Cartagena, introduciendo adaptaciones en la estructura de los humedales. La puesta en marcha de la planta da aportes de carácter teórico acompañado de evidencia experimental, a soluciones del problema mundial causado por el vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento alguno a los cuerpos de agua existentes ; de la misma manera subsanar la falta de documentación que se presenta sobre este tipo de sistema en nuestra región y a la búsqueda de alternativas sostenibles de



tratamientos de aguas residuales que logren minimizar los actuales impactos ambientales que se presentan, especialmente en las pequeñas comunidades, mostrando así a la universidad de Cartagena como líder en investigación dentro de la región.

Puesto en marcha el sistema, se determinó la eficiencia de remoción de la materia orgánica y de nutrientes en los humedales. La evotranspiración juega un papel fundamental en la determinación de las distintas eficiencias e incidencias, por lo que su determinación se incluye en el campo de trabajo de este proyecto. Los resultados que se obtuvieron con sus respectivos análisis se lograron después de examinar distintas muestras tomadas a lo largo del proceso operativo del sistema. Cabe aclarar que las muestras fueron examinadas en laboratorios de las instalaciones de CARDIQUE.

Sabiendo que los humedales artificiales se han implementado en muchos lugares del mundo, este trabajo representa un aporte más para la parte científica que hoy se encuentra indagando en este campo y sobre todo si se tienen en cuenta las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.) de Cartagena que de uno u otro modo influyen en el comportamiento del sistema, dando una idea de cómo es el comportamiento de los humedales artificiales en climas cálidos. De igual forma, conociendo que la Universidad de Cartagena, a través del programa de Ingeniería Civil lidera muchos proyectos de desarrollo a nivel ingenieril del departamento se puede afirmar, que este proyecto se convertirá en un impulso hacia una mayor productividad científica, que en un futuro pueda, ser un precedente significativo para continuar profundizando en temas relacionados a éste y permitir adquirir contenido temático al momento en el que se realicen jornadas o eventos de interacción e intercambio de conocimientos.



1. OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la función depuradora del mangle rojo utilizado como vegetación de una planta piloto de humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Poner en marcha el funcionamiento de la planta piloto de humedal artificial existente en la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar introduciendo adaptaciones en la estructura de los humedales y en la vegetación.
- Identificar los efectos positivos y negativos que genera el mangle rojo en la planta piloto de humedal artificial del flujo vertical.
- Evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica y nutriente en los humedales artificiales.
- Evaluar la incidencia de las diferentes cargas orgánicas en la remoción del material orgánico a los 3, 5 y 7 días como tiempos de retención.



2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

A continuación trataremos algunos términos necesario para el óptimo entendimiento de los procesos a llevar a cabo, de igual manera se pretende dar a conocer los antecedentes que han dado auge a los sistemas de humedales artificiales, así como distintas investigaciones y proyectos que apoyan a la puesta en marcha de este proyecto.

2.1.1. Humedales Artificiales.

Son sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, oxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación. En lo que respecta a su funcionamiento como tratamiento biológico, se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se aporta de forma espontánea por transporte desde la atmósfera, lo que representa un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos.

2.1.2. Tipos de Humedales Artificiales.

Existen varios tipos de humedales artificiales que trabajan como tratamientos secundarios de aguas residuales. Algunos de ellos son:

Sistemas a flujo libre o superficial (FWS).

Consiste en una serie de canales dispuestos paralelamente donde el suelo es impermeable, la vegetación emergente, el agua se ve expuesta a la atmósfera y es poco profunda (0.1m a 0.6m), como nos ilustra la figura 1:

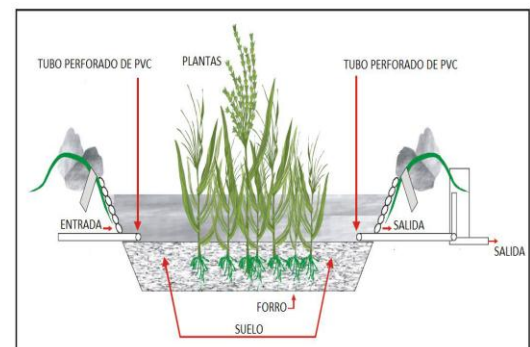


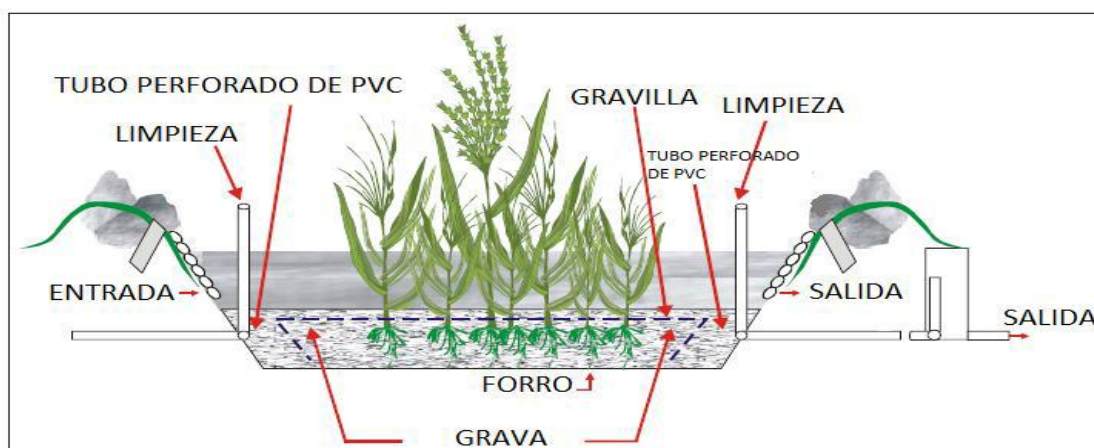
Figura 1, Humedal a Flujo Libre.
(LLAGAS CHAFLOQUE, (2006))



Sistemas de flujo subsuperficial (SFS). En este tipo de humedales el agua se mantiene a nivel o por debajo del medio filtrante y el proceso ocurre gracias a que las plantas emergentes transportan el oxígeno que toman del aire al agua a tratar a través de sus raíces.

El humedal a utilizar en la realización de este proyecto será de flujo subsuperficial, ya que es el sistema de humedal que presenta mayores porcentajes de remoción de los elementos ligados a nuestro objetivo. La tabla 1 nos muestra valores en porcentaje de remociones de los distintos parámetros tales como DBO, DQO, entre otros.

Figura 2, Humedal de Flujo Subssuperficial. (LLAGAS CHAFLOQUE, (2006))



Parámetro	Porcentaje de Remoción (%)
DBO5	80 – 90
Nitrógeno	20 – 40
Fosforo	15 – 30
Sólidos Suspendidos	85 – 90
DQO	75 – 85
Coliformes Fecales	90 – 99

Tabla 1 Rendimiento de depuración de un humedal subsuperficial. (Gómez, 2008)

Los humedales de flujo subsuperficial se pueden clasificar de acuerdo a la dirección del flujo: en humedales horizontales y en humedales verticales.



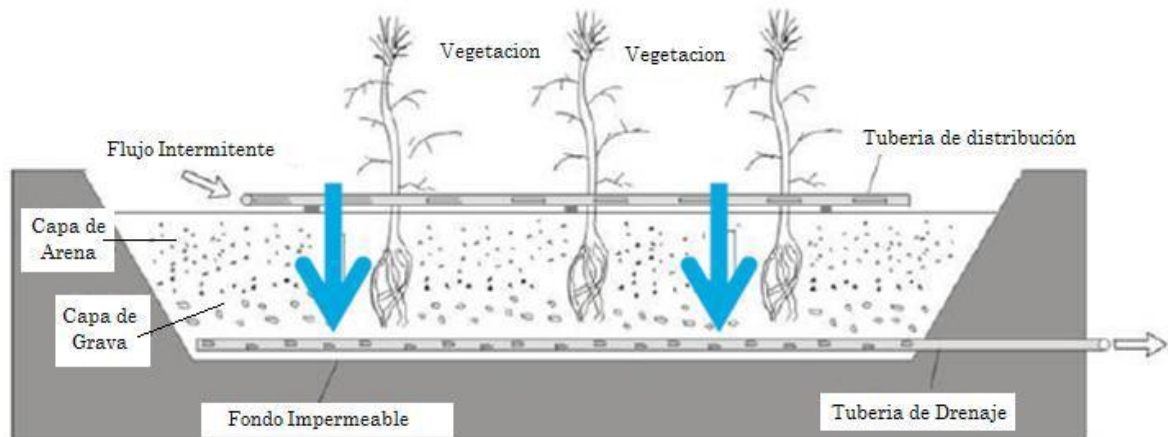
2.1.3. Humedales de flujo horizontal (FH).

Se llaman flujo horizontal debido a que el agua residual del cual se alimenta el humedal fluye lentamente a través del medio poroso bajo la superficie del lecho de una forma más o menos horizontal en el camino hasta que llega a la zona del control de nivel en la salida. (H. Brix & C.Aarias, 2008)

2.1.4. Humedales de flujo vertical (FV).

Estos sistemas tienen profundidades muchos mayores a las de humedales de flujo subsuperficial horizontal, y disponen de una conexión que transporta el agua que ya se ha filtrado mediante el lecho o fondo a un drenaje. La profundidad efectiva del medio filtrante es de alrededor de 1 m y preferiblemente se debe hacer un pre -tratamiento ya sea en un sedimentador primario o un tanque séptico. A continuación se muestra el esquema de un humedal con flujo vertical.

Figura 3. Humedal con Flujo Vertical. (Langergraber, 2010)



2.1.5. Constituyentes de un Humedal Artificial Vertical.

Los humedales artificiales constan de dos componentes fundamentales, el primero es el componente manipulable, que básicamente está constituido por el agua, el suelo y las plantas a utilizar. Y los microorganismos y demás invertebrados acuáticos que crecen y se desarrollan adherentes a las condiciones que artificialmente se brindan, constituyen el



segundo componente. En la imagen 3 se pueden apreciar los componentes que hacen parte de un humedal artificial.

El agua. La parte hidrológica es la característica más relevante en los humedales artificiales puesto que es artífice primario de las funciones antes descritas. Si esta variable sufre cambios, por mínimos que sean, este se refleja en el desempeño y efectividad del humedal en el tratamiento. Además, dependiendo de la densidad de las capas vegetales en el montaje, la hidrología define sus flujos de circulación a través de raíces, hojas, tallos, etc.

El substrato. Está constituido por el suelo, arena, grava, roca y demás materiales como sedimentos, compost y restos de vegetación. Los anteriores son importantes porque brindan las características de permeabilidad requeridas para el flujo del agua, funcionan como filtro de los contaminantes, dan sustento a los organismos vivos que se desarrollan en el área y dan lugar a reacciones biológicas que adicionan eficiencia al tratamiento que se realiza.

Las Plantas. Su función fundamental es oxigenar el medio a través de sus raíces, llegando a zonas de mayor profundidad. Además, las hojas, tallos sumergidos y los restos que van dejando con el tiempo, son la base fundamental para el desarrollo de los microorganismos que como se ha dicho son los mayores responsables de la remoción en el tratamiento.

El tipo de vegetación usada sobre todo en humedales artificiales subsuperficiales son los llamados *helófitos* o plantas emergentes, que poseen la capacidad de arraigarse en lugares encharcados, con una parte emergente o visible en la superficie y otra sumergida. Los más usados son aneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncos (*Juncus*), *Sxirpus*, *Carex*, etc., además tienen la capacidad de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hasta sus raíces y rizomas.

En este caso se utilizó el mangle rojo, del cual se evaluó su influencia en los humedales; en la región costera es una planta muy común y abundante, lo que facilitó su aplicación al sistema.



Microorganismos. Entre estos están incluidos bacterias, levaduras hongos y protozoarios. Los microorganismos son parte fundamental de un humedal artificial, ya que ellos con su metabolismo regulan gran parte de las actividades que se dan dentro de él. Algunas de esas actividades son consumir la mayor parte de carbono orgánico y nutriente, transformar sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias insolubles, reciclar nutrientes y alterar las condiciones de potencial redox del sustrato para así alterar la capacidad de proceso del humedal.

Animales. Gracias a sus condiciones ambientales, los humedales artificiales son propicios para ser el hábitat de muchos animales tanto vertebrados como invertebrados, siendo los últimos los más abundantes, lo que es de gran beneficio para el tratamiento de las aguas residuales, ya que por ejemplo, los gusanos e insectos contribuyen fragmentando el detritus mientras consumen materia orgánica y las larvas acuáticas de muchos insectos consumen materia orgánica durante sus proceso larvales.

2.1.6. Hidráulica de los Humedales Verticales.

Los sistemas de flujo sub-superficial pueden ser operados de distintos modos: (Juan Herrera Romero, 2011)

- Flujo Descendente Intermitente. Esta opción implica la aplicación de inundación del agua en la parte superior del lecho por breves períodos de tiempo. Este modo operacional es seleccionado para optimizar el transporte de oxígeno hacia el lecho.
- Flujo Descendente no Saturado. Esta variante comprende la distribución de agua a través de la parte superior de un medio granular. El agua entonces gotea a través del medio en flujo no saturado. La distribución de la tubería puede ser localizada arriba del sistema; o en climas fríos, enterradas dentro del lecho del medio granular. El sistema puede ser configurado en un modo de un solo paso o de forma más común: empleando la recirculación del flujo, lo que hace que el agua pase a través del lecho muchas veces.
- Flujo Descendente o Saturados. Estos sistemas utilizan un flujo saturado continuo de agua a través de la zona de raíces. El flujo ascendente saturado es deseable



cuando la pureza del agua debe ser de alta calidad, para minimizar el contacto con contaminantes o el contacto con la zona de raíz se desea maximizar.

- Humedales de Flujo de Marea. (Llenado y desagüe) estos sistemas emplean el llenado y el desagüe cíclico de un lecho granular. Durante la parte de llenado del ciclo, el agua residual es alimentada hacia el fondo del lecho del humedal. El llenado está completo cuando la superficie se inunda. El bombeo es detenido el agua residual es mantenida en contacto con las bacterias que crecen el medio. Después de esto, el agua es drenada y el aire entra a los agujeros del lecho. Estos reactores crean condiciones redox cíclicas que contienen tanto fases de oxidación como de reducción.

2.1.7. Rhizophora Mangle.

Típicamente es la especie de mangle ubicada en la parte de mayor influencia salina (frente del manglar) y en la que el nivel de inundación es mayor, aunque se trata de una especie con buenas capacidades para explotar hábitats con condiciones particulares diversas, pudiendo habitar en sitios con baja disponibilidad de nutrientes y baja salinidad.

Una característica sobresaliente de la especie es su complejo sistema de raíces aéreas que parten del mismo tronco o de las ramas laterales (raíces pivotantes o zancos) y que bajan para anclarse y sostenerse en los suelos anegados y fangosos. Otra característica adaptativa es la presencia de estructuras para eliminar el exceso de sal, o estructuras para respirar (neumatóforos). Se adapta a un gradiente de luz que va desde alta insolación a sitios sombreados (BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD, 2009).

Dadas sus características de adaptaciones y de buena resistencia a salinidad, además de su abundancia, la hacen meritoria para su aplicación en la depuración de aguas residuales, sirviendo además de base para la implementación de sistemas de tratamiento con humedales en aquellas zonas costeras o islas donde no cuenten con sistemas convencionales.

Entre los principales atributos funcionales que determinan la importancia ecológica de los manglares están los siguientes:



- Recuperación de terrenos degradados: Los suelos donde se desarrollan han sido considerados muy fértiles, ya que presentan una alta tasa de descomposición, con una relación carbono/nitrógeno muy alta.
- Conservación de suelo / Control de la erosión: Se consideran sistemas formadores y estabilizadores de suelos.
- Mantienen la calidad del agua: Funcionan como filtro de algunos contaminantes.

Figura 4, Rhizophora Mangle. Fuente (elaboración propia)



2.1.8. Evotranspiración.

Un factor importante, el cual interviene dentro del balance hídrico en el sistema, de tal manera que afecta en los procesos bioquímicos que se llevan a cabo en el mismo, incidiendo en los resultados al momento de determinar las eficiencias es la evotranspiración.

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua, se pierde: a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO, 2006).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo



proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

2.1.8.1. Factores que afectan la evapotranspiración.

Según la FAO, parámetros como el clima, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración (FAO, 2006).

Variables climáticas. Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros.

Radiación solar. El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación.

Temperatura del aire. La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

Humedad del aire. Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor



determinante para la remoción de vapor. En regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

2.1.8.2. Determinación de la Evotranspiracion.

Las mediciones de evapotranspiración son ampliamente utilizadas en distintos sectores, por ejemplo el sector agrícola para estimar las necesidades de riego de los cultivos, en la hidrología y en los estudios climáticos (Monsalve, 1995). Colombia no cuenta con mediciones directas de ETP, por lo cual se hace estrictamente necesaria su correcta evaluación mediante las fórmulas teóricas y/o empíricas que ofrecen autores como Penman, Thornthwaite, Blaney, Criddle, Turc y Christiansen, entre otros. Paradójicamente, la existencia de tantas metodologías ha convertido la estimación de la ETP en una ardua labor que los ingenieros, hidrólogos y agrónomos tienen que enfrentar a diario para realizar con éxito su trabajo (Marin, 2010).

2.1.8.2.1. Método de Thornthwaite.

Se trata de una ecuación empírica para el cálculo de la evapotranspiración potencial. El método se basa en la determinación de la misma, en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de día del mes. Es muy utilizado en hidrología y en la estimación del balance hídrico para climatología e hidrología de cuencas.

La ecuación se presenta a continuación:

$$ETP_i = K_i 16 \left(\frac{10T_i}{J} \right)^a \quad [\text{mm/mes}] \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde T_i es la temperatura media mensual del aire para el mes (°C). Se deben excluir los valores negativos de temperatura. K_i es un factor de corrección mensual que depende de la latitud. Se aplica debido a que el método fue desarrollado suponiendo un mes de 30 días con 12 horas de luz solar diarias.



Para determinar el valor de K_i .

$$K_i = (Nd/30) \cdot (Ni/12) \quad (\text{Ec.3})$$

Nd : número de días del mes.

Ni : duración astronómica del día (horas sol)

El índice de calor anual J se calcula a partir de las temperaturas medias de los doce meses, así:

$$J = \sum_{i=1}^{12} (J_i) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde J_i es un valor mensual definido así:

$$J_i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad (\text{Ec. 5})$$

El exponente a es función del índice de calor anual y está definido por la siguiente expresión:

$$a = 0.49239 + 0.01792 \cdot J - 7.71 \times 10^{-5} \cdot J^2 + 6.75 \times 10^{-7} J^3 \quad (\text{Ec. 6})$$

Estos valores de K_i , J_i y a se determinan en este trabajo a partir de datos tomados en sitio como lo es la temperatura diaria, obtenida a partir de un lector de humedad, así mismo el índice de calor determinada en base a datos suministrados por la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad; a partir de estos cálculos se determina la evotranspiración la cual es el factor clave que utilizamos para determinar nuestro caudal de salida del sistema y así poder evaluar las eficiencias en cuanto a carga orgánica se refiere.

2.2. ESTADO DEL ARTE

El término de humedales construidos es relativamente nuevo; sin embargo, el concepto es antiguo, pues se tiene conocimiento de que las antiguas culturas como son la China y la Egiptia utilizaban a los humedales naturales para la disposición de sus aguas residuales (Rodríguez, 2003).



El primer reporte científico en el que se señalan las posibilidades que tienen las plantas emergentes para la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales pertenece a la Dra. Kathe Seidel del Instituto Max Planck, de Alemania. En el informe de sus Investigaciones ella plantea que mediante el empleo del junco común (*Schoenoplectus lacustris*) era posible la remoción de una serie de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, así como la desaparición de bacterias (coliformes, Salmonella y Enterococos) presentes en las Aguas residuales.

Posteriormente, ya en los años setenta la Dra. Seidel llevó los resultados obtenidos a escala de laboratorio a sistemas experimentales de mayor escala en los que analizó el efecto de las plantas sobre una serie de tipos diferentes de aguas residuales, tanto domésticas como Industriales. Los resultados de todos sus estudios le permitieron a la Dra. Seidel desarrollar un sistema conocido como *Proceso del Instituto Max Planck*, cuyo diseño tenía varias etapas en las que se combinaban humedales con flujo vertical y humedales con flujo horizontal.

En el caso de los Estados Unidos el desarrollo de los humedales construidos se basó en los resultados obtenidos en los humedales naturales y en los trabajos realizados en Europa. En un principio se utilizaron los humedales naturales como una vía para el tratamiento de las aguas residuales; sin embargo, se observó que ocurrían cambios en la composición de las especies comunes de estos sitios por lo que se decidió comenzar a diseñar humedales construidos para tratar las aguas residuales, los cuales demostraron su eficacia para estos fines (rodriguez, 2003).

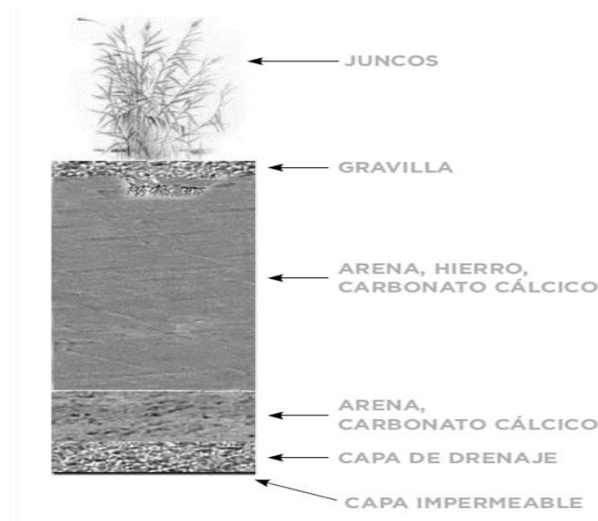
El desarrollo de esta tecnología fue también de interés para la NASA la cual desarrolló su propio sistema, el cual llamo Sistema de tratamiento híbrido pues utilizaba microorganismos anaerobios y plantas emergentes (*Phragmites communis*). Posteriormente estos estudios fueron continuados por Gersberg y sus colaboradores demostrando las altas eficiencias logradas en la remoción de sólidos suspendidos, DBO, nitrógeno y coliformes utilizando las plantas emergentes en humedales construidos. Como resultado de todas esas investigaciones, tanto a nivel de planta piloto como a gran escala, en los Estados Unidos se desarrollaron diferentes Conceptos para el diseño de humedales construidos (rodriguez, 2003).



Estos son algunos de los ejemplos de H.A. tomados del mundo:

En **Leidsche Rijn**, el mayor proyecto urbanístico más reciente de Holanda, el objetivo del sistema es lograr aguas de superficie claras y limpias. Se investigó la posibilidad de un humedal artificial de flujo vertical para eliminar el fósforo. Esto se realizó por medio de experimentos de laboratorio (pruebas de columna y experimentos de equilibrio de composición). Se probaron varios materiales y mezclas. Los experimentos de columna mostraron un comportamiento satisfactorio para todas las mezclas adsorbentes. Sobre la base de los experimentos de columna se diseñó y construyó una planta piloto. Esta planta piloto consiste en 13 secciones con diferentes condiciones de proceso y diferentes mezclas de arena, hierro y carbonato de calcio. Durante el primer año de funcionamiento, el fósforo fue retirado con una eficiencia de eliminación del 77-95% en la mayoría de secciones. Se logró una concentración de efluente de fosfato total de 0,025 mg P/l. La sección sin hierro añadido mostró un avance muy importante de fosfato después de un corto periodo con una elevada eficiencia de eliminación. . Sobre la base de un experimento con dosificación de una solución artificial de fosfato de sodio, se estableció que el hidróxido de hierro puede adsorber al menos 6 gramos de ortofosfato por kilogramo de hierro. Sobre la base de estas cargas y las eficiencias de eliminación, se pudo construir un diseño de filtro de escala completa. La duración de este filtro está calculada en 30 años (C. A. Verhoeven, C. Maksimovic, J. J. Blom, 2007) .

Figura 5. Sección Transversal de la Planta Piloto de Leidsche Rijn. Fuente: (C. A. Verhoeven, C. Maksimovic, J. J. Blom, 2007)





En la **república checa** la Czech University of Life Sciences in Prague empleó un sistema de tratamientos de agua residual que consistió en una serie de dos humedales de flujo vertical y uno de flujo horizontal, los dos primeros con plantación de *Phragmites australis* (Carrizo), y el tercero plantado con *Phalaris arundinacea* (hierba cinta). El sistema fue alimentado con aguas residuales municipales pre-tratadas. Este sistema demostró tener un gran potencial para la oxidación de amoníaco y reducción del nitrato. La eliminación de DBO5 y DQO ascendió a 94,5% y 84,4% respectivamente. La eliminación del fósforo ascendió a 65,4% en todo el sistema, pero la concentración media de salida de 1,8 mg / l siguió siendo alta. Con este estudio concluyeron que El costo del capital del sistema experimental es comparable a la planta de tratamiento convencional en el lugar, pero los costos de operación y mantenimiento son aproximadamente un tercio de la planta convencional (Kröpfelová Vymazala, 2010).

Utilización de mangles en humedales:

- En la UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO (UNAM) se realizó una investigación con el nombre de “Balance de nutrientes en un humedal utilizando mangles (*laguncularia racemosa* y *rhizophora mangle*) integrado a estanques con camarón (*litopenaeus vannamei*)” se evaluó la capacidad de asimilación de nutrientes de dos especies de mangle (*Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*) en estanques de cultivo con camarón (*Litopenaeus vannamei*). Los estanques se sembraron con *R. mangle*, *L. racemosa* y sin plántulas (control). Cada estanque contenía 20 plataformas flotantes con 720 plántulas. El agua se bombeó del estuario hacia los estanques. Se analizó el contenido de nitrógeno total y fósforo total durante el llenado y recambio de agua en los estanques, en las plántulas de mangle, en las postlarvas y camarón cosechado, alimento balanceado, fertilizante y sedimento para determinar el balance de nutrientes. El balance de flujo de nutrientes en el humedal artificial mostró una disminución en la concentración de N-P a través de las diferentes rutas de salida. Se estima que el 80% del nitrógeno total que entró a los estanques con plántulas fue removido por los mangles. Las plántulas de mangle contribuyeron a mejorar la calidad del agua a través de la remoción de nutrientes, el cual fue un factor importante para el adecuado desarrollo



y la supervivencia de los camarones. Los carga de nutrientes medidos en los estanques con plántulas fueron inferiores a las que se encontraron en el estanque control (sin plántulas) (moroyoqui flores & carmona, 2014).

- En la ciudad de futien, subprovincia de Shenzhen, China se llevó a cabo la puesta en marcha de un sistema de humedales artificiales implementando mangles de distintos tipos para el tratamiento de las aguas residuales municipales. Tres celdas idénticas (longitud: 33 m, anchura: 3 m, profundidad: 0,5 m) se llenaron con piedra (abajo), grava y arena (superficie). Las plántulas de dos especies nativas de manglar (*Kandelia candel*, *Aegiceras corniculatum*) y una especie exótica (*Sonneratia caseolaris*) se plantaron a las celdas una especie por celda. La carga hidráulica fue de 5 m³ d⁻¹ y el tiempo de retención hidráulico fue de tres días; Se obtuvieron altos niveles de eliminación de DQO, DBO₅, TN, TP y NH₃-N, Con un promedio de remoción de DQO de 75% para *S. caseolaris*, 62% para *K. Candel*, y el 64% para *A. corniculatum*, concluyendo que Entre todas las especies de mangle *S. caseolaris* era el más eficiente en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados indicaron que los manglares podrían utilizarse en la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales municipales. Además de demostrar correlaciones positivas entre la eliminación de nutrientes y el crecimiento de las plantas. Como los manglares plantados en el humedal eran todavía joven y en crecimiento activo, se esperaría que las eficiencias de eliminación de nutrientes seguirían aumentando tras un crecimiento de los manglares (Q. Yang, 2008).
- Un microcosmos de manglares de flujo subsuperficial intermitentes se construyeron para investigar sus capacidades en el tratamiento de las aguas residuales municipales recogidas de un local de aguas residuales de obras para el tratamiento en Hong Kong y el efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH). Los estudios se realizaron en un invernadero y sin ningún flujo de la marea o ciclo de las mareas, con la mitad de los tanques plantados con *Kandelia candel*, y la otra mitad sin ningún tipo de plantas. La eliminación porcentual de carbono orgánico disuelto (DOC), amoníaco-N, N-inorgánico y total de Kjeldahl nitrógeno en los sistemas plantados eran de 70,43-76,38%, 76,16-91,83%, 47,89-63,37% y 75,15-79,06%, respectivamente, significativamente mayor que en el sistema sin plantar durante 6



meses de periodo de tratamiento. Más de 97% orto-fosfato y 86,65 a 91,83% de fósforo totales fueron retirados por los microcosmos plantados. La terapia de reemplazo hormonal de diez días tuvo una mejor eliminación que la de 5 días, y el mejor rendimiento se obtuvo en el microcosmos plantado con 10 días de tiempo de retención. Durante el período experimental de 6 meses, las concentraciones de todas las formas de nitrógeno en el efluente tratado se encontraban dentro de las normas para efluentes evacuados en las aguas interiores del Grupo B y de las zonas costeras con aguas abiertas. En términos de fósforo, los efluentes cumplen los estándares para efluentes vertidos en el Grupo A las aguas continentales. Estos resultados sugieren que es factible utilizar el mangle construido humedal sin flujo de las mareas como un proceso de tratamiento secundario de aguas residuales municipales (Y. Wu, 2008).

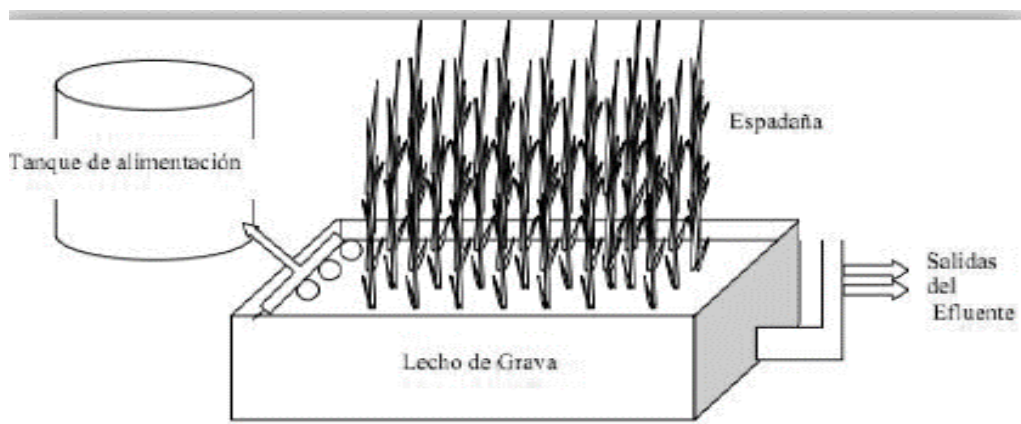
Humedales artificiales en Colombia: En los últimos 10 años se han incrementado en Colombia los estudios realizados para el tratamiento de AR mediante HA, tecnologías importadas de Europa y Estados Unidos, para aplicarlas y adaptarlas a nuestro medio ambiente. Los HA en Colombia se usan en combinación con tratamientos primarios o secundarios, para AR domesticas e industriales, siendo la temperatura, unos de los factores más influyentes en los procesos biogeoquimicos que se llevan a cabo en estos sistemas (Estrada, 2010).

La Corporación Universitaria de la Costa en Barranquilla, en el año 2003 diseñó y construyó, una planta piloto en base a un humedal artificial. Esta tiene 5 m. de largo, 3 m. de ancho y una profundidad de 1.5 m. Para un caudal afluente de 0.33 m³/día y un área superficial de 8 m². Evaluaron el sistema con un medio de soporte constituido por grava fina de 10 mm y espadaña como vegetación que crece en abundancia en las riberas del rio Magdalena. Todo esto en la caja de concreto con una capa interna impermeable y el suministro procede de un tanque de almacenamiento previo de 1000 litros. (Curiel & Palomino D. M., 2012). Bajo ensayos de laboratorio regidos por las guías del *Standard Methods for examination of wáter and wastewater*, 19Th edition. Realizaron mediciones de oxígeno disuelto, temperatura y pH in situ, utilizando equipos portátiles.



Figura 6. Esquema del Sistema Piloto que Utilizaron en la Fundación Universitaria de la Costa.

Fuente: (Curiel & Palomino D. M., 2012)



Finalmente, dentro de los apuntes y resultados relevantes que esta investigación brinda a la nuestra, está el hecho de que la temperatura de 28°C del afluente, bajo la cual trabajó el sistema, favoreció el desarrollo de los procesos biológicos que se dieron en el humedal, y que las variaciones de la misma no fueron significativas a tal punto de lograr afección alguna en el ecosistema fabricado. Asimismo el crecimiento de la vegetación fue rápido inicialmente y luego constante, además, proporcional a las eficiencias de remoción de DBO5 (66%) y de sólidos suspendidos (97%). Él estudió previó que el crecimiento de las plantas será continuo durante los siguientes años y sugirió el control de plagas permanente para éstas (Curiel & Palomino D. M., 2012).

Humedal artificial en la Universidad de Cartagena: En la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar se construyó una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo vertical, conformada además por un tanque de almacenamiento, un tanque séptico, y un filtro biológico implementado sin vegetación. El medio filtrante de las dos unidades de tratamiento secundario constan de dos capas de grava y una de tierra negra y la flora utilizada en el humedal es *Typha Latifolia*. El sistema estuvo en funcionamiento durante 7 meses y se analizó en laboratorio lo referente a la remoción de DBO5, Nitrógeno y Fósforo que ésta realizaba. Se llegó a la consideración de ensayar con diferentes escenarios que variaban las características hidráulicas con la utilización de 2, 3 y 4 días de retención tanto en el humedal como en el filtro. Con base en estos, se calcularon los caudales correspondientes para cada uno,



46/L/día, 30.72/L/día y 23.04/L/día respectivamente. El suministro de los mismos se realizó de manera intermitente, dividiendo cada caudal en 4 pulsos o descargas, dejando entre cada vertimiento lapsos de tiempo de 15 minutos aproximadamente. Algunas Se logró alcanzar porcentajes de remoción óptimos de DBO5 de 88.33% y 91.95% de nitrógeno, mientras que para el fósforo solo 53.70%. Con lo anterior se consideró que el objetivo primordial de la investigación no fue alcanzado completamente al no lograr porcentajes de remoción de fósforo iguales o mayores a los máximos alcanzados en proyectos anteriores, sin embargo se definió un tiempo de retención óptimo para el sistema de 3 días de remoción, teniendo en cuenta que el diseño del mismo tiene como finalidad principal la remoción de DBO5; con lo cual se concluye que la optimización del sistema dependió básicamente de la determinación y modificación de parámetros hidráulicos como el tiempo de retención antes mencionado, además que para futuras investigaciones es recomendable operar el sistema por un periodo de tiempo mayor, que permita realizar muestreos para cada uno de los tiempos de retención estudiados, para así tener una mejor interpretación del comportamiento del sistema. La realización del proyecto implicó la captación de aguas residuales del campus y la aplicación de ensayos en laboratorio especializados en la caracterización y calificación del fluido en cuanto a concentraciones de DBO5, nitrógeno y fósforo en tres puntos del sistema, antes del tanque séptico y antes y después de las dos unidades de tratamiento. (Curiel & Palomino D. M., 2012)

Podemos concluir que las principales ventajas encontradas en las investigaciones anteriores, respecto a los humedales artificiales son:

- Buena remoción de contaminantes que permitirá cumplir los requisitos ambientales.
- Menor costo de operación comparado con el tratamiento convencional, ya que no requiere insumos químicos para el tratamiento y el requerimiento de energía y equipos es menor.
- Este sistema no genera otros lodos después del tratamiento, como los tratamientos fisicoquímicos, ya que todo el material suspendido queda retenido en el lecho e inmediatamente los microorganismos comienzan la descomposición.
- La apariencia de la planta de tratamiento por humedales artificiales puede crear un paisaje armonioso con el entorno.



3. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación, corresponde a un diseño experimental el cual tiene como principal objetivo evaluar la función depuradora del mangle rojo utilizado como vegetación en la implementación de una planta piloto de humedal artificial de flujo vertical escala laboratorio para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar.

En síntesis, el diseño metodológico ejecutado para lograr los objetivos propuestos consistió básicamente en aspectos tales como revisión, reconstrucción, modificación, implementación y monitoreo, para así poder realizar los respectivos análisis que darían como resultado la capacidad depuradora del sistema. Primeramente partiendo de investigaciones anteriores se revisó como fue el diseño de la planta piloto, y como estaba conformada (en el proyecto realizado por Simanca & Herrera, (2011)); así mismo se revisó acerca de su implementación y posterior optimización modificando parámetros tales como tiempo de retención y caudal, dicha optimización llevada a cabo un año después durante la investigación efectuada por (Curiel & Palomino D. C., 2012), junto a esta última se realizaron distintas revisiones bibliográficas acerca de sistemas implementados en otras partes del mundo, lo que nos permitió determinar, que, para obtener un mejor desempeño del humedal, en cuanto a remoción de materia orgánica y nutrientes si era necesaria la modificación de parámetros; para lo cual se tuvo un proceso de reconstrucción de la planta piloto la cual estaba en desuso desde Curiel & Palomino (2012), modificando en ello el sistema de humedales, teniendo estos un diseño nuevo que permitiera la plena adaptación del mangle como vegetación y trabajase bajo los tiempo de retención requeridos. Luego se sometió el sistema a un proceso de asimilación, el cual permitió comenzar con su operación y monitoreo, y así consecuentemente el debido proceso de toma de muestras que estudiadas en el laboratorio permitieron realizar el análisis de resultados.

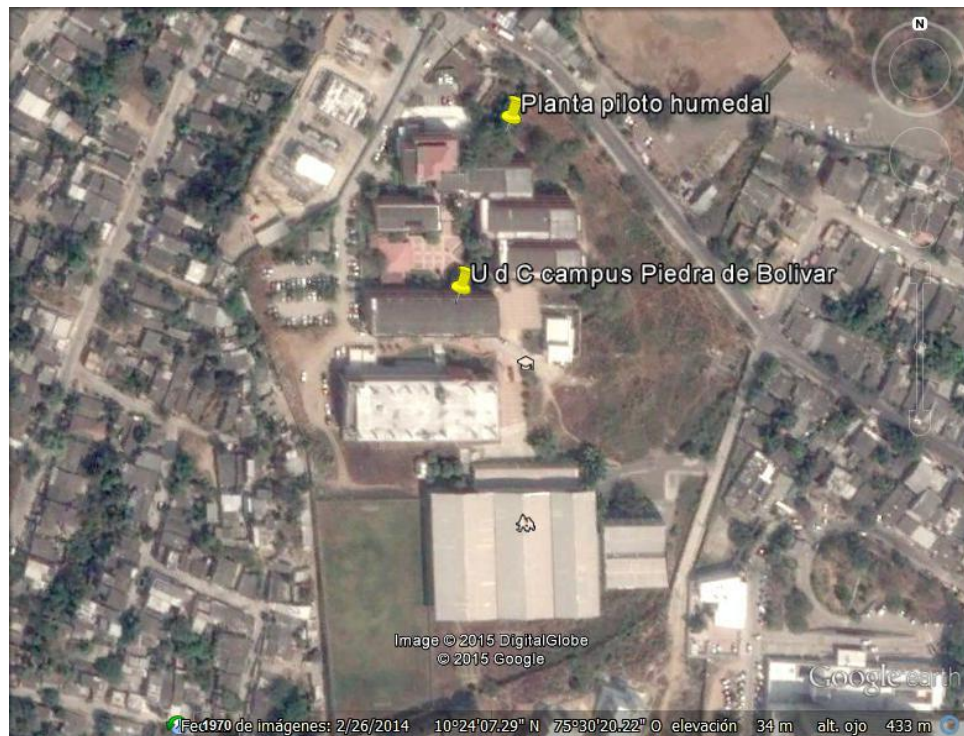
3.1.LOCALIZACION

La planta piloto que hace uso de un área de 16 m², se encuentra localizada a la margen izquierda de la entrada del predio donde se ubica la sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, en Cartagena – Colombia, en las coordenadas 10°24.11'20" Norte y 75°30'20.09" Este, como se muestra en la Figura 7. En este establecimiento



funcionan las Facultades de Ingeniería y Ciencias Económicas de la Universidad tanto presenciales como carreras a distancia, integradas por aproximadamente 12000 personas, las cuales a diario generan descargas de aguas residuales producto de uso de baños y cocinas.

Figura 7. Localización de la planta piloto. Fuente: google earth



3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

La población de la sede es de 12000 entre estudiantes, administrativos, docentes y visitantes en temporada de clases. Las principales actividades o zonas generadoras de aguas residuales en esta sede son: Cafetería central, baños, cocinas y comedor universitario.

Para investigaciones anteriores el primer paso para el desarrollo del proyecto consistía en la toma de muestras del agua a tratar para realizar la caracterización fisicoquímica, en el trabajo de Simanca & Herrera, (2011).

El caudal de circulación estimado en el registro de aguas residuales fue de aproximadamente, 70 L/min presentados en las horas picos del día.



Figura 8. Registro de aguas residuales facultad de ingenierías. Fuente: Elaboración Propia.



Para esta investigación nos dimos cuenta de que las actividades de la Universidad de Cartagena no eran constantes como la apertura del comedor universitario y la cantidad de eventos que se realizan en el campus Piedra de Bolívar, por esta razón se decidió que para obtener una caracterización que pudiese funcionar en el proyecto era necesario caracterizar el agua todas las semanas en conjunto con las muestras de agua tratada por los humedales, estos datos fueron tomados desde el tanque de almacenamiento donde el agua se tomaba para iniciar el tratamiento ver Figura 9.

Figura 9. Tanque de almacenamiento de aguas a tratar. (Fuente: Elaboración propia)





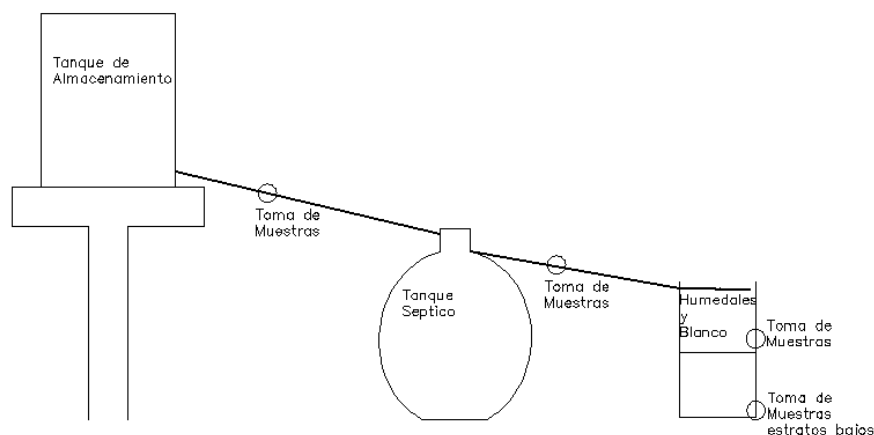
Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2

Tabla 2. Resultados concentraciones tanque receptor. (Fuente: Elaboración propia).

Parametro	Unidades	Metodo	TANQUE RECEPTOR - REGISTRO			
			Abril 13/2015	Abril 20/2015	Abril 27/2015	Mayo 4/2015
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M 5210-B, 4500-O-G	102.00	132.00	15.80	20.50
Nitrogeno Total	mg/L	Σ (NO ₃ ,NO ₂ ,NKT)	78.83	75.34	70.19	65.92
Fosforo Total	mg/L	S.M 4500-P-E	2.10	2.13	2.56	4.50
Coliformes Totales	NMP/100 mL	Tubos Multiples	4.90E+05	7.80E+03	2.00E+03	4.90E+02
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Tubos Multiples	4.90E+05	4.50E+03	1.80E+00	2.30E+02

Las muestras fueron tomadas a cada semana de la investigación, el total de semanas de recolección de información fue de ocho semanas de las cuales las cuatro primeras corresponden a esta investigación y las otras cuatro fueron tomadas para una investigación de maestría por su mayor contenido académico, existieron tres lugares de toma de muestras el primero en el tanque de almacenamiento para medir las concentraciones con las que entraba el agua al sistema, la segunda fue para el tanque séptico con el objetivo de medir las eficiencias que se podían producir en este y el tercer lugar fue en los humedales tanto en la parte superior como inferior como se ve en la Figura 10.

Figura 10. Esquema toma de muestras. Fuente: Elaboración Propia.





3.3.RE-DISEÑO DEL HUMEDAL

El humedal existente que se encontró constaba del siguiente tren de tratamiento: el registro de aguas residuales de donde se toman las aguas negras a tratar, tanque de almacenamiento para las aguas negras, tanque imhoff o tanque séptico, celdas de tratamiento o humedal y filtro biológico y depósito de agua tratada. El diseño del tanque séptico y de todo el sistema fue calculado teniendo como base un caudal de $72 L/d$.

Las modificaciones realizadas se basaron más en los humedales como fue agregar un segundo humedal para tener dos humedales y un blanco o celda de referencia como lo muestra la Figura 11 en esta se puede ver de izquierda a derecha el tanque blanco o celda de referencia seguido del tanque #2 y por último el tanque #1.

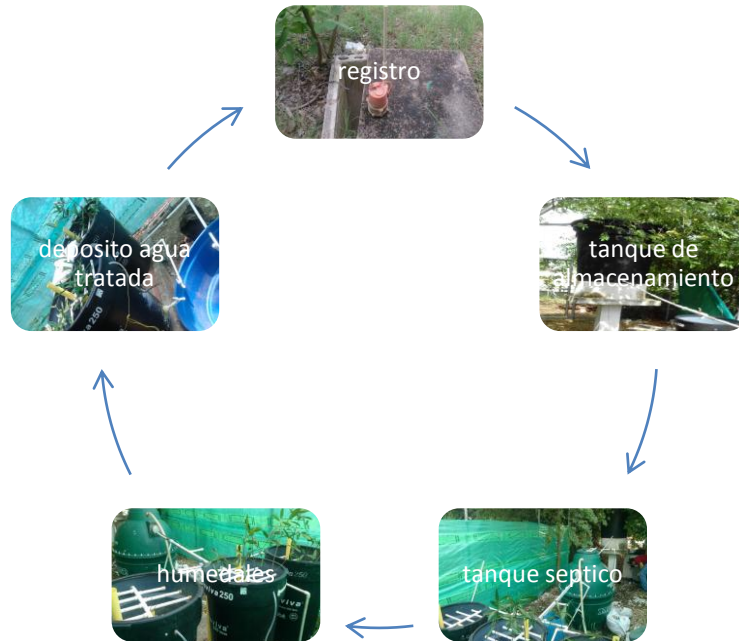
Figura 11. Esquema de humedales y tanque blanco. Fuente: elaboración propia



El nuevo tren de tratamiento quedo como se ve en la Figura 12



Figura 12. Tren de tratamiento. Fuente: Elaboración propia.



Al agregar un nuevo humedal al sistema era necesario igualar las condiciones existentes a los otros dos tanques, por este motivo fue necesario retirar todo el material granular de las celdas de tratamiento existentes para hacer una limpieza y rearmar los tres humedales (Figura 13 y Figura 14) con condiciones iguales para obtener los resultados esperados, se fabricó un sistema de riego como las otras dos celdas de tratamiento para que la dispersión del agua también fuese de forma uniforme .

Figura 13. Proceso de limpieza de material granular. (Fuente: Elaboración propia)

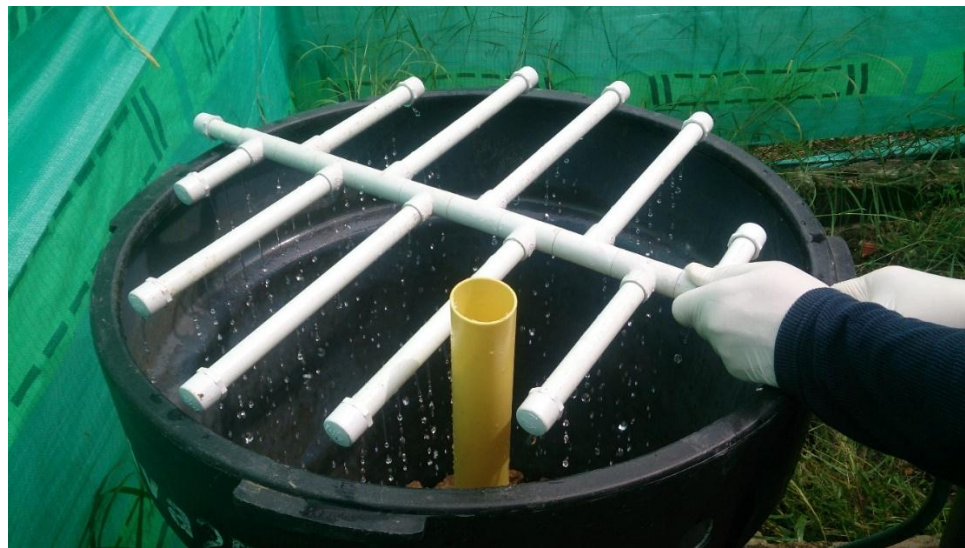




Figura 14. Limpieza material granular humedales.



Figura 15. Sistema de riego parte superior. (Fuente: Elaboración propia)



Por las condiciones del tipo de vegetación (mangle rojo Figura 16) se encontró que el diseño que existía de los humedales no era el apropiado ya que las raíces del mangle rojo no alcanza profundidades tan grandes como las raíces de la vegetación que se utilizó en las anteriores investigaciones por esta razón se decidió dividir el humedal en dos partes por una lámina de acrílico Figura 17, la primera sección se encarga de trabajar el biofiltro, está

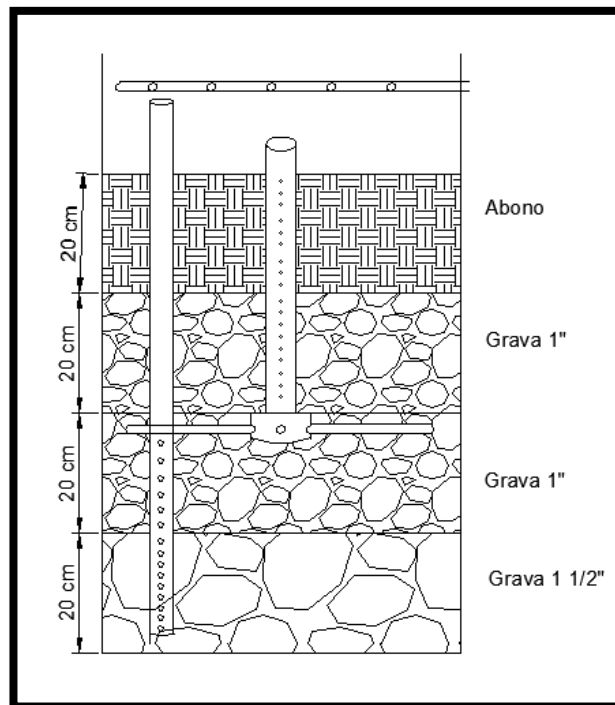


seria regada por el sistema de distribución como se ve en la Figura 15 directamente del tanque séptico y en la segunda sección un filtro de gravas donde recibe el flujo desde el tubo de ventilación de la parte superior y baja hasta otro sistema de distribución ubicado debajo de la lámina de acrílico como se observa en la Figura 18.

Figura 16. Mangle rojo. (Fuente: Elaboracion propia).



Figura 17. Re-diseño de los humedales. Fuente: elaboración propia





Cada humedal incluyendo el tanque de referencia constaron de las siguientes características: se utilizó para cada humedal un tanque de almacenamiento de agua de 250L, cada tanque constaba con los siguientes elementos en la parte inferior se encontraba un material granular de 1 ½” de diámetro, este nivel presento una altura de 20 cm seguido de un estrato de 40cm con un material granular de 1” de diámetro, este segundo nivel fue dividido en dos por una lámina de acrílico con un sistema de riego (Figura 18) para dejar este nivel a alturas de 20cm por debajo de la lámina y 20cm por encima de la lámina y se menciona como los estratos bajos el material que se encuentra por debajo de la lámina, siguiente al último nivel de grava se utilizó una capa de abono con el fin de brindarle nutrientes a las plantas, en cada tanque se introdujeron dos tubos de 1” de diámetro, el primero y más corto con el objetivo de darle respiración a los estratos de arriba y de llevar el agua a los estratos bajos, el segundo tubo y el más largo tenía la tarea de airear los estratos bajos como muestra la Figura 17. El tren de tratamiento es el mismo que en las investigaciones pasadas.

Figura 18. Sistema de riego inferior. Fuente: Elaboración propia.





3.4.EQUIPOS Y MATERIALES

Para facilitar la alimentación y evacuación de las aguas residuales domésticas, a tratar en la planta piloto, se contó con dos bombas una sumergida, colocada en el registro de agua residuales de la Universidad y la otra centrifuga la cual debía regresar el agua tratada en la planta al registro, las especificaciones técnicas de cada una se dan a conocer a continuación (ver Figura 19).

Figura 19. Bomba sumergible y motobomba centrifuga.Fuente: elaboración propia



Tabla 3. Características de la bomba sumergible

Flujo máximo (l/ min)	Cabeza dinámica m	Revoluciones r/min	Succión y Descarga pulg.	Potencia HP
117	7	1550	1 ½"	1/3

Tabla 4. Características de la motobomba centrifuga

Flujo máximo (l/ min)	Cabeza dinámica m	Revoluciones r/min	Succión y Descarga pulg.	Potencia HP
92	18	3530	1	1/3



Tanque de Almacenamiento.

Debido a que el sistema del humedal artificial necesita de un flujo constante este tanque es el encargado de recibir y almacenar las aguas residuales provenientes de las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar, las cuales son impulsadas por una bomba sumergida en el registro sanitario principal, el tanque con capacidad de recolectar hasta 1000 litros cuenta con un sistema eléctrico que acciona el apagado automático de la bomba cuando este se encuentre en su nivel máximo.

Tanque Séptico.

Este tanque tiene como función retener temporalmente las aguas negras provenientes de las instalaciones de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar con el fin de sedimentar material sólido.

Humedales Artificiales.

Se contó con tres humedales artificiales de los cuales dos tuvieron como vegetación Rizophora más conocido como mangle rojo y el tercer humedal será sin vegetación para utilizarlo como referencia y comparar la eficiencia de la planta. Estos humedales contarán con la siguiente composición: la primera capa será de 20cm de grava con un tamaño 1 ½”, la segunda capa tendrá 40cm de altura este lecho será dividido en dos para poder inundar la parte superior con el objetivo que las raíces de la planta puedan absorber mayor cantidad de nutrientes.

3.5.ANALISIS DE LOS ESCENARIOS

Luego de revisar toda la bibliografía existente en investigaciones realizadas sobre humedales artificiales en la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar se buscaron medidas para aumentar los niveles de remoción de materia orgánica y nutriente, teniendo en cuenta la participación del mangle rojo como vegetación.

3.5.1. Mangle Rojo.

Debido a que las investigaciones pasadas las eficiencias no fueron del todo las mejores se decidió a cambiar el tipo de vegetación de enea a Rhizophora Mangle (mangle rojo) gracias a la facilidad que tienen para adaptarse a cualquier terreno y su resistencia a



ambientes de baja y alta salinidad. En síntesis el efecto o la función depuradora del mangle fue medida a partir de la comparación cuantitativa de los resultados arrojados por las distintas muestras tomadas de dos unidades con vegetación mangle y una celda de referencia o unidad blanca la cual no tuvo vegetación; cuyo juicio final se vio expresado en las eficiencias halladas en cada celda de tratamiento sometidas a similares condiciones de trabajo.

Por último se comparó la eficiencia del sistema de humedal con mangle rojo como depurador de aguas residuales, con los sistemas de humedales utilizados en investigaciones anteriores con otro tipo de vegetación.

3.5.2. Tiempos de Retención.

Según la revisión bibliográfica que se realizó se encontró otro factor determinante en el proceso de remoción de materia orgánica, este serían los tiempos de retención, como ya se mencionó en el marco referencial. Gracias a la consulta de las investigaciones existentes se encontró que los tiempos de retención óptimos varían en un periodo de 3 a 4 días (Perez, 2003), sin embargo, según los resultados encontrados en el informe presentado por (Curiel & Palomino D. C.-R., 2012) el cual nos da a entender que se deben aumentar los tiempos de retención para lograr eficiencias más altas, por este motivo se tomó como conclusión tomar como tiempos de retención periodos de 3, 5 y 7 días.

3.5.3. Recolección de Muestras.

Las muestras que se tomaron en la planta piloto de humedal artificial fueron para identificar los resultados en eficiencias de remoción en DBO5, fósforo total y nitrógeno total, esto con el fin de determinar la eficiencia del humedal, las muestras se tomaron con los tiempos de retención de 3, 5 y 7 días, debido a que el humedal se dividió en dos secciones como lo muestra la Figura 17, el humedal tuvo dos lugares de muestra la parte superior en donde está la vegetación la capa de abono y una capa de grava y la segunda sección que está conformada por los estratos de piedra, se tomó una muestra para cada factor en cada día de muestreo que serán 3 días a la semana en la parte superior del tanque con excepción del último día de muestras de la semana del cual se tomaron muestras del final del humedal, es decir, las ultimas muestras del día viernes se tomaron tanto en la parte superior del humedal como en la parte inferior, las muestras se tomaron por un periodo de



2 meses (8 semanas), fueron 24 días de toma de muestras y con un resultado de 180 muestras para la investigación. La tabla 21 nos muestra un cuadro ordenado de como fue el proceso de toma de muestras.

Tabla 20, Esquema de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

# De muestras tomadas por día	Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4		
	3	5	7	10	12	14	17	19	21	24	26	28
	3	5	7	3	5	7	3	5	7	3	5	7
Tanque #1	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras
Tanque #2	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras
Blanco	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras	3 muestras	3 muestras	6 muestras
Tanque septico	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras	2 muestras
Tanque de almacenamiento	3 muestras	-	-	3 muestras	-	-	3 muestras	-	-	3 muestras	-	-

días de muestreo
tiempo de retención en días

Las muestras se tomaron en recipientes plásticos como se ve en la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 21. Recipientes usados para la toma de muestras. (Fuente: Elaboración propia).





Estos eran almacenados en neveras de icopor con la finalidad de mantener las condiciones originales hasta que las muestras fueran llevadas al cuarto frio en las instalaciones de CARDIQUE donde se realizaron los análisis de las muestras.

Las muestras fueron divididas en 3 recipientes por cada toma de los cuales eran para análisis fisicoquímico, microbiológica el cual se adiciona edta para someter a los metales a un proceso de quelacion y DQO el cual contenía ácido sulfúrico concentrado para bajar el ph a 2, de estos para este informe solo se utilizaron las muestras correspondientes a fisicoquímicos y biológico.

3.5.4. Efectos de la Evotranspiracion.

Según la definición dada en el marco referencial, esta combinación de procesos da lugar a la pérdida de agua por ende afecta de cierta manera el proceso de depuración de aguas residuales por parte del sistema de humedales, además la temperatura y las distintas condiciones climatológicas de la zona hacen indispensable su determinación e indagar a partir de ella su efecto.

Para su determinación se utilizó el método de Thornthwaite cuya explicación la detallamos anteriormente. Con esta ecuación se halló la evaporación potencial de la zona, partiendo de datos de radiación solar que se muestran en la Tabla 5 y en la

Tabla 6 obtenidos por la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad de los días en los cuales se trabajó con el humedal.



Tabla 5. Radiación solar mes de abril (Fuente: Estación meteorológica del aeropuerto).

HORA	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SUMA
DIA	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
01	0.0	0.0	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.0	0.0	9.2
02	0.0	0.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	9.3
03	0.0	0.0	0.3	1.0	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	5.9
04	0.0	0.0	0.4	0.6	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	8.9
05	0.0	0.0	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.0	9.7
06	0.0	0.0	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.0	9.8
07	0.0	0.0	0.4	0.5	0.2	0.3	0.3	0.4	0.9	1.0	1.0	0.4	0.0	0.0	5.4
08	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.4	0.6	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5
09	0.0	0.0	0.3	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.4	0.5	0.0	0.0	7.5
10	0.0	0.0	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0	1.0	0.8	0.0	0.0	8.8
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.7	0.3	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	2.3
12	0.0	0.0	0.6	1.0	1.0	0.8	0.4	0.9	1.0	1.0	0.8	0.7	0.0	0.0	8.2
13	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
14	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	0.9	0.0	0.0	7.2
15	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	0.3	0.0	0.1	0.9	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	6.2
16	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0	0.8	0.8	1.0	0.4	0.3	0.7	0.0	0.0	6.5
17	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	4.2
18	0.0	0.0	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	0.0	9.8
19	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.4	0.8	0.0	0.0	9.2
20	0.0	0.1	0.1	0.2	0.9	1.0	0.6	0.7	1.0	0.9	1.0	1.0	0.4	0.0	7.9
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.0	10.5
23	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.0	10.4
24	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	8.8
25	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.0	0.0	7.3
26	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
27	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.5	0.0	0.0	8.5
28	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.9	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	6.2
29	0.0	0.0	0.0	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	8.7
30	0.0	0.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	7.7

En la ecuación de Thornthwaite (Ec. 2) existe un factor de corrección mensual (K_i) que depende de la latitud, este factor supone que los meses duran 30 días y existen 12 horas de luz solar al día; sabiendo que $K_i = (N_d/30) * (N_i/12)$ (Ec.3) en donde N_d son los números de días del mes y N_i es la duración astronómica del día (horas sol) representada en las tablas bajo la columna suma y en vez de determinar una evotranspiración mensual y con el objetivo de calcular una evotranspiración diaria se optó por la determinación de un K_i diario el cual dependió de un N_i calculado a partir de los datos de la tabla 6 y 7, y un N_d igual a 1, el cual en lugar de dividirse sobre 30 lo haría también sobre la unidad(1) ya que se consideró que el K_i calculado sería diario y no mensual.



Tabla 6. Radiación solar del mes de mayo. (Fuente: Estación meteorológica del aeropuerto)

HORA	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SUMA
DIA	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	0.2	0.5	0.0	0.0	3.9
02	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	7.9
03	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.0	0.0	8.6
04	0.0	0.0	0.5	0.5	0.3	0.4	0.7	0.2	0.7	0.7	0.4	0.8	0.0	0.0	5.2
05	0.0	0.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
06	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	10.1
07	0.0	0.0	0.3	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	8.7
08	0.0	0.0	0.3	0.8	0.6	0.7	0.9	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
09	0.0	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	9.1
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.6
11	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	0.7	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
12	0.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.0	10.3
13	0.0	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	8.4
14	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	7.6
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.2	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.0	8.9
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
20	0.0	0.0	0.2	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.9	0.7	0.0	9.5
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
22	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.0
23	0.0	0.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	0.0	0.0	8.8
24	0.0	0.0	0.2	1.0	0.7	0.7	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	0.4	0.0	0.0	7.8
25	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
26	0.0	0.1	0.7	0.1	0.4	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	0.0	0.0	7.9
27	0.0	0.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	8.8
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.3	0.1	0.4	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0	2.2
30	0.0	0.2	0.9	0.7	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
31	0.0	0.0	0.4	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.5	0.9	1.0	0.9	0.3	0.0	8.8

Y con las temperaturas tomadas en el lugar del humedal por un lector de humedad y temperatura como se ve en la, se procedió a calcular la evotranspiración.

Figura 22. Lector de temperatura y humedad del ambiente. (Fuente: Elaboración propia)





4. RESULTADOS Y DISCUSION

Luego de realizar las consultas al material bibliográfico existente sobre tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales, se determinó que los tiempos de retención a evaluar serían los siguientes 3, 5 y 7 días con el objeto de tener eficiencias mayores.

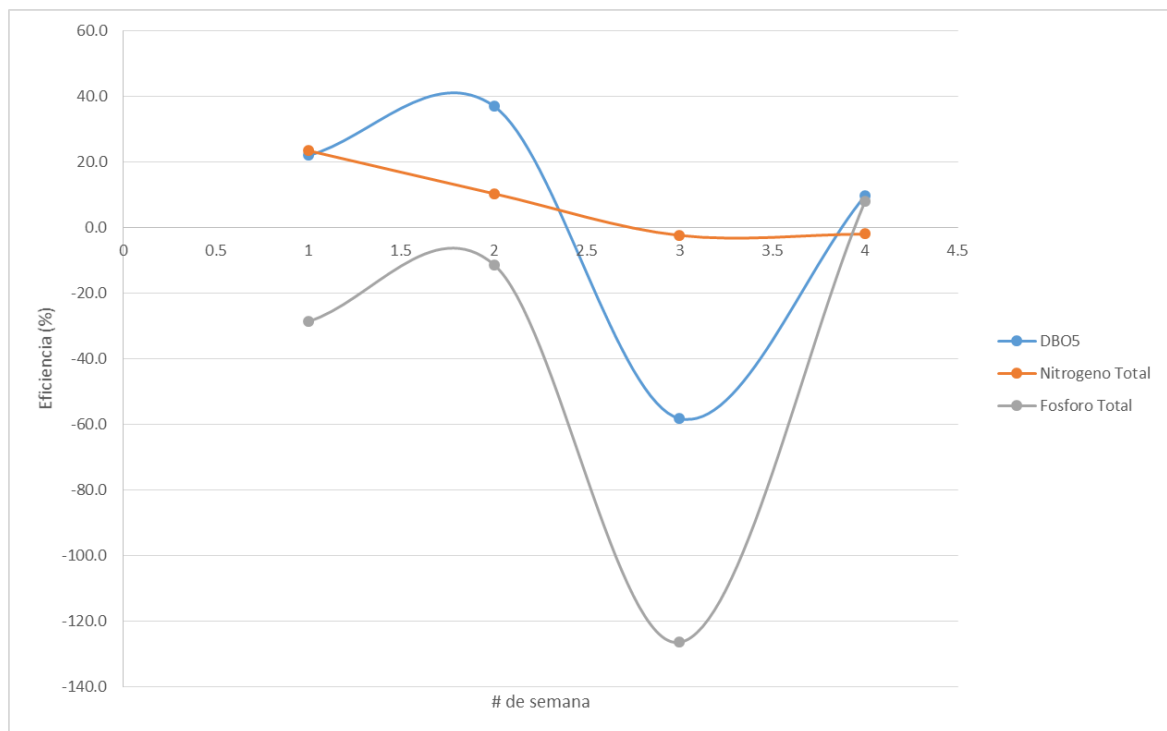
A continuación se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras tomadas en cada uno de los puntos de muestreo estipulado para los escenarios a evaluar.

4.1.TANQUE SEPTICO

Teniendo en cuenta la información brindada por las tesis anteriores se utilizó el tanque séptico para aumentar la eficiencia del sistema como elemento primario para que así los humedales que en este caso son el tratamiento secundario aumentarían su efectividad en la remoción de nutrientes, DBO y coliformes, el tiempo de retención que se utilizó en el tanque séptico fue de un día.

Estas son las eficiencias del tanque séptico:

Figura 23. Eficiencia del tanque séptico en las 4 semanas. Fuente: Elaboración propia

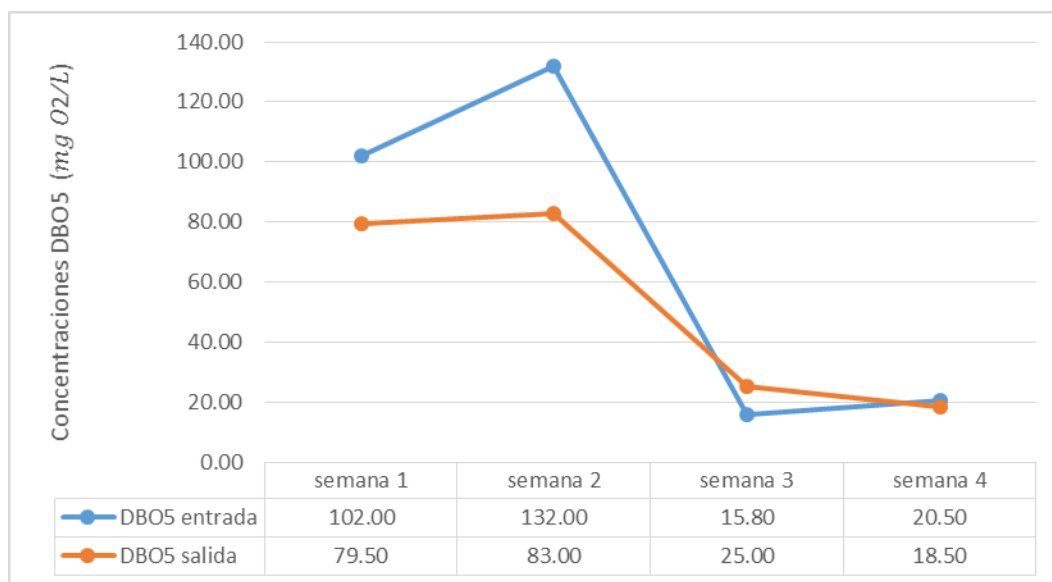




4.1.1. DBO5.

Se presentan concentraciones de entrada desde $15.8 \text{ mg } O_2/L$ hasta $132 \text{ mg } O_2/L$, concentraciones de salida desde $18.5 \text{ mg } O_2/L$ hasta $79.5 \text{ mg } O_2/L$ (Figura 24). A partir de los resultados obtenidos en las muestras se procedió a calcular las eficiencias que tuvo el tanque séptico como tratamiento primario y los resultados se muestran en la Figura 23.

Figura 24. Concentraciones de entrada vs salida de DBO5. Fuente: Elaboración propia.



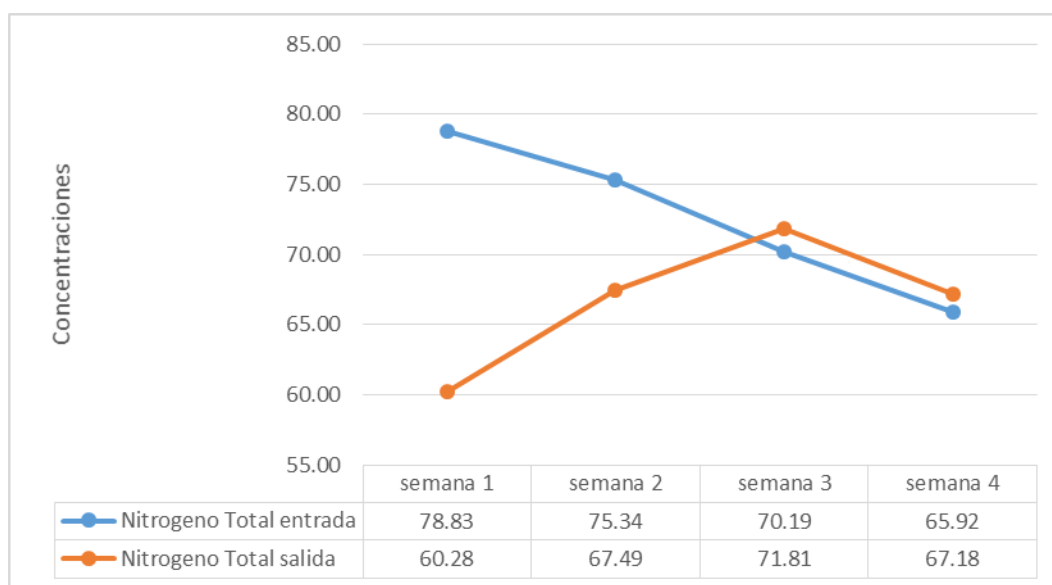
Como se puede ver en la Figura 23 en los dos primeros muestreos eficiencias de 22.1% y 37.1% se aprecia que el tanque tiene buenas eficiencias para ser un tratamiento primario ya que se aproximan al rango de 25% a 35% (MAVDT, 2002) e incluso lo superan, sin embargo, la eficiencia del tanque séptico correspondiente a la semana 3 muestra un valor negativo -58.2% lo que quiere decir que no existió ninguna eficiencia por contrario tuvo un aporte, seguido de la semana 4 donde la eficiencia es muy baja 9.8%, esto pudo ser el resultado de la sedimentación que ocurría en el tanque recolector debido a que el tanque no se vaciaba por completo el agua que quedaba iniciaba un proceso de sedimentación lo que disminuía las concentraciones de entrada del tanque séptico y este al tener poco tiempo de retención no cumplía con la función depuradora.



4.1.2. Nitrógeno Total.

Se observan concentraciones de entrada desde 65.92 mg/L hasta 78.83 mg/L y concentraciones de salida desde 60.28 mg/L hasta 71.81 mg/L. Podemos apreciar los cálculos de las eficiencias en la Figura 23.

Figura 25. Concentraciones de entrada vs salida de Nitrógeno total. Fuente: Elaboración propia.



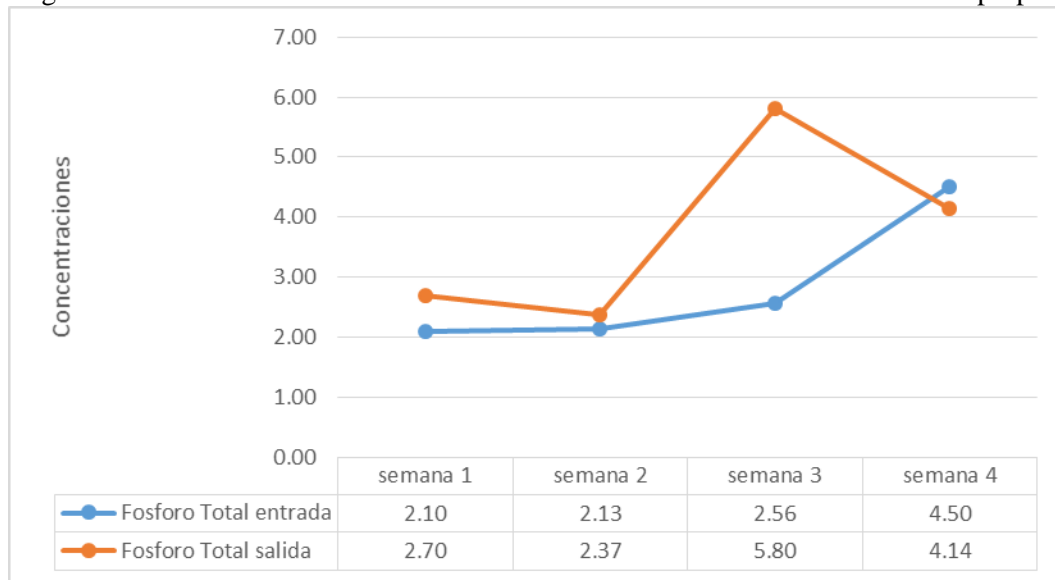
Como muestra la gráfica para las eficiencia del nitrógeno total vemos un caso similar con la DBO5 la cuales las dos primeras semanas las cuales fueron 23.5% para la primera semana y 10.4% para la segunda semana las cuales se encuentran por encima de los parámetros establecidos por el (RAS, 2000) que dice que los parámetros típicos para un tratamiento primario están comprendidos entre un 10 y 20%, sin embargo para las dos siguientes semanas se aprecian eficiencias de -2.3% para la tercera semana y -1.9% para la cuarta semana, lo que nos indica que no existió remoción, al igual que para la DBO5 las concentraciones de entrada se disminuyen debido al efecto de sedimentación que ocurre en el tanque de almacenamiento.

4.1.3. Fosforo Total.

Para los afluentes se obtuvieron resultados entre 2.1mg/L y 4.5mg/L, mientras que para los efluentes los resultados variaron entre 2.37mg/L y 5.8mg/L. Se calcularon las eficiencias de cada muestra tomando el efluente correspondiente a la misma fecha del afluente.



Figura 26. Concentraciones entradas vs salidas fosforo total. Fuente: Elaboración propia.



Según el (RAS, 2000) las eficiencias comunes para sistemas de tratamiento primarios con respecto al fosforo varían entre el 10 y el 20% al igual que para el nitrógeno. Como se puede apreciar en la Figura 23, los cálculos realizados solo muestran eficiencias negativas pero se observa como en la semana uno y la semana dos se presenta una mejora en la remoción mientras que en la semana tres una caída en cuanto a remoción para aumentar finalmente en la semana cuatro con valores en el orden por semana -28.6%, -11.3%, -126.6% y 8.0%, cabe recordar que al momento de utilizar el tanque séptico este ya contaba con una capa de lodos en su interior debido al corto tiempo que se tuvo para poner en marcha el sistema, esto pudo afectar el trabajo del tanque séptico, además de esto al trabajar con un flujo batch la capacidad del tanque séptico existente no nos permitía contar con largos tiempos de retención lo cual disminuía el trabajo del tanque séptico.

4.2.EFICIENCIA DE LOS HUMEDALES Y CELDA DE REFERENCIA EN LA REMOCION DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA

4.2.1. Materia Orgánica.

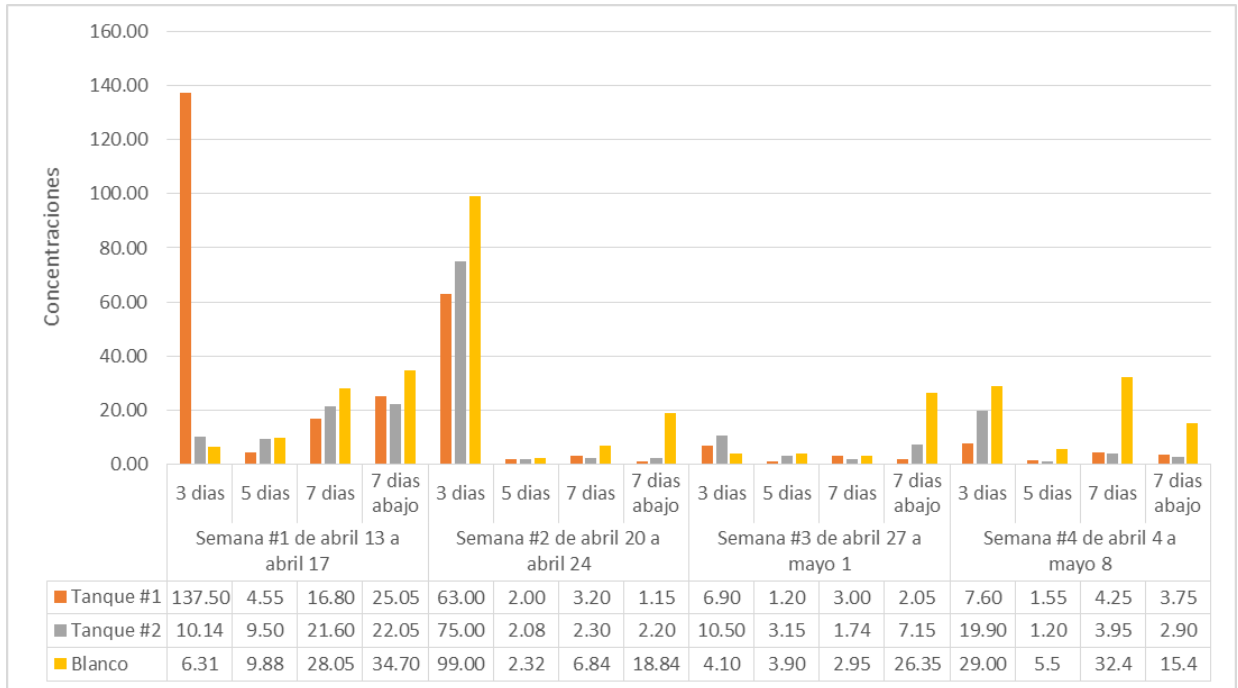
Según los criterios de calidad para los efluentes esperados e tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales, se espera que las concentraciones de DBO5 debe ser menor a 20 mg/L (RODRÍGUEZ, 2003). Como se puede apreciar en la Figura 27, la mayoría de los resultados de dicho estudio está por debajo de los 20 mg/L con excepción del día 10 que superan concentraciones de los 60 mg/L, como se supuso las eficiencias en



las dos celdas de tratamiento donde se encuentra la vegetación son superiores a la celda de referencia o tanque blanco.

Figura 27. Concentraciones de DBO5 vs Tiempo de Retención en Días. Fuente:

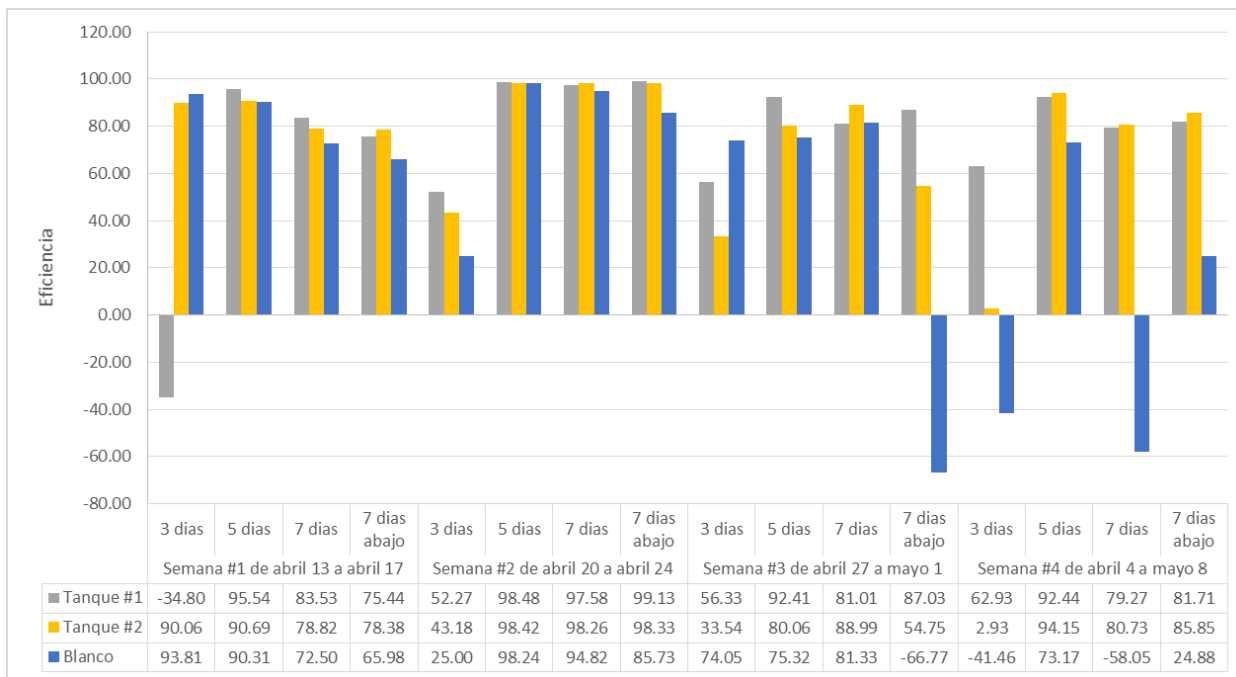
Elaboración propia.



A partir de los resultados obtenidos en las concentraciones de los efluentes a la salida del humedal y del filtro biológico, calculamos las eficiencias, los resultados se aprecian en la Figura 28. Según la resolución N° 0631 del 17 de marzo de 2015 los valores maximos permitidos de DBO5 están en el orden de los 50mgO2/l, como se observa en la gráfica la mayoría de las muestras tomadas superan dicho valor o se acerca, los valores tomados en la parte inferior de las celdas de tratamiento no varían mucho respecto a los resultados de las muestras tomadas en la parte superior del humedal a pesar que el agua tratada pasa por otra capa de estrato rocoso.



Figura 28. Eficiencia en la remoción de DOB5 en las celdas de tratamiento vs los días de retención. Fuente: elaboración propia.



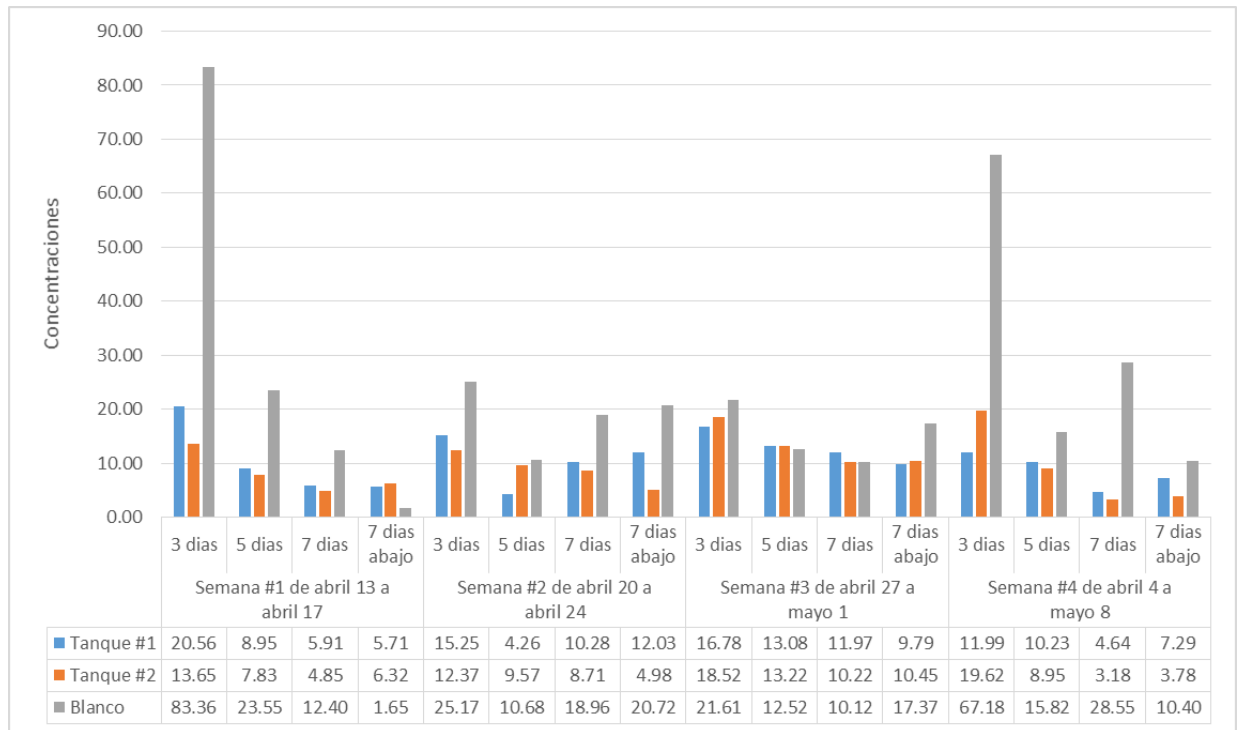
Algunos resultados tuvieron eficiencias negativas, esto puede ser porque las muestras provienen de la celda de referencia o tanque blanco el cual al no tener vegetación la acumulación de bacterias y de material orgánico en los estratos rocosos llego a un punto donde aportaba al agua tratada y con respecto a la muestra del tanque #1 que fue tomada el primer día puede ser por algún error al momento de tomar la muestra o porque las plantas no estaban perfectamente adaptadas a los tanques o existió un aporte de material por parte de la vegetación.

4.2.2. Nitrógeno Total.

Los resultados obtenidos con respecto a las concentraciones de salida en las celdas de tratamiento se aprecian en la Figura 29. Concentraciones de Nitrógeno Total vs Tiempo de Retención en Días. Realizando entonces una revisión con los estándares de calidad esperada en un efluente de un humedal con flujo subsuperficial donde la concentración de nitrógeno típica es menor a 10 mg/L (RODRÍGUEZ, 2003), se puede observar que los resultados del tercer día por lo general son mayores a las concentraciones típicas y que al pasar los días ^{estas} concentraciones van disminuyendo como era de esperar por mayor tiempo de retención.



Figura 29. Concentraciones de Nitrógeno Total vs Tiempo de Retención en Días.

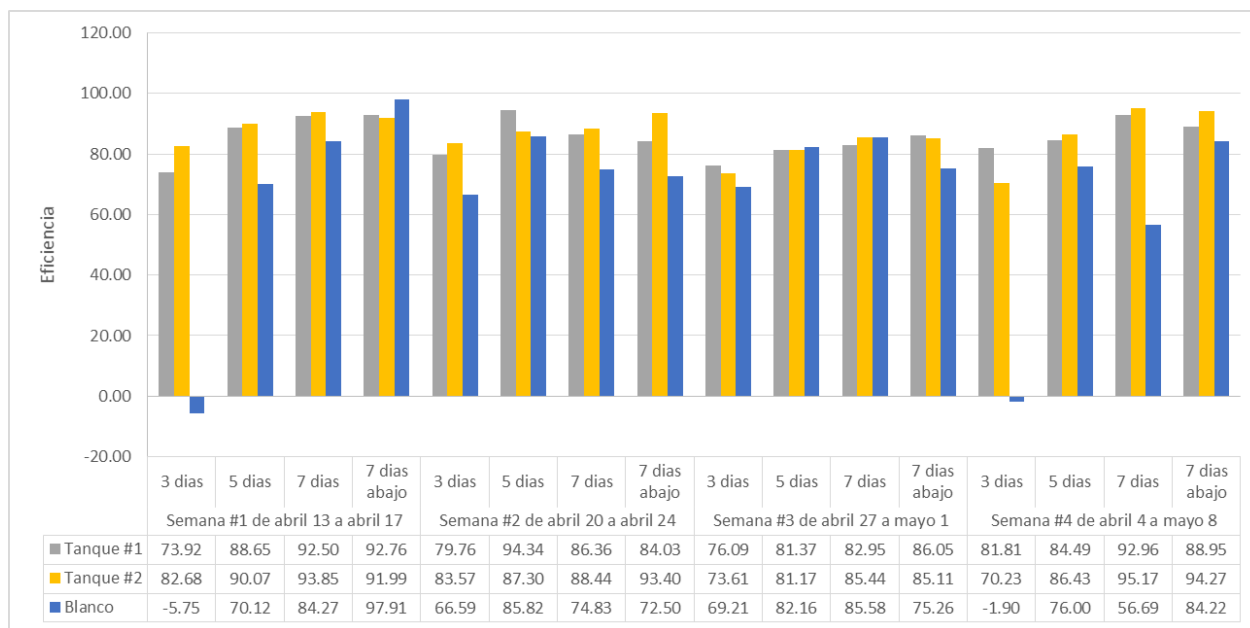


Teniendo en cuenta las concentraciones obtenidas en las celdas de tratamiento se calcularon las eficiencias que se pueden ver en la Figura 30. Como se aprecia en la gráfica los valores obtenidos en relación a las eficiencias para las celdas de tratamiento con vegetación varían en un rango entre 70% y 90% mientras que la celda de referencia tiene eficiencias menores con valores desde 60%.



Figura 30. Eficiencia en la Remoción de Nitrógeno vs Tiempo de Retención en Días.

Fuente: Elaboración Propia.



Se estima que para los humedales artificiales los porcentajes de remoción y nitrógenos totales debe ser superior a 90% (Brix & Arias, 2005), para los resultados obtenidos vemos que solo las muestras tomadas a los siete días en la parte superior y en la parte inferior de las celdas de tratamiento llegan a estas eficiencias o se acercan a los resultados esperados con excepción de la segunda semana el cual los valores que sobrepasan el 90% son de las muestras tomadas en el día 5. La razón para que esto sucediera, es que el nitrógeno orgánico que entra al sistema en el agua residual a tratar, sufre una serie de cambios debido a los procesos naturales a los que es sometido al oxigenar el agua realizando las descargas a las unidades de tratamiento, transformándose así, como lo indica su ciclo, en nitrato que posteriormente, debido a la desnitrificación producida por los microorganismos anaeróbicos presentes en el medio y el carbono producto de la descomposición de algunas de las plantas, se convierte en nitrato gaseoso y vuelve a la atmósfera (Curt & Gonzalez, 2001), este proceso se da en el interior del humedal, es decir los nitrógenos totales a mayor tiempo de retención tienen mayor probabilidad de ser eliminados del agua tratada.

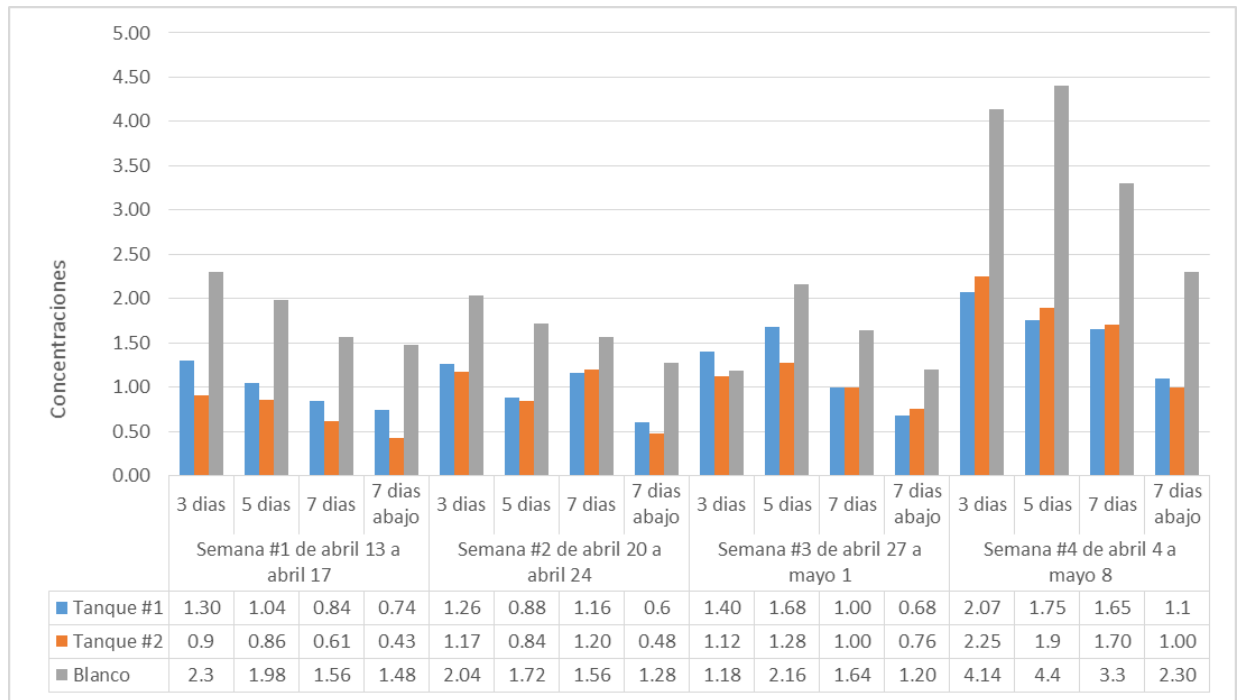
4.2.3. Fosforo Total.

Las concentraciones obtenidas en los efluentes de las celdas de tratamiento tanto las que tienen vegetación como la de referencia se pueden ver en la Figura 31. Según



(RODRÍGUEZ, 2003) estipula que las concentraciones esperadas para un tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales debe ser de 5/mg/L en cuestión a los fósforos totales para ser un agua de calidad. Se puede apreciar que los resultados obtenidos cumplen con los estándares de calidad donde la mayor concentración es de 4.4/mg/L. las concentraciones más altas en los efluentes siempre son para la celda de referencia, también vemos que solo la primera semana y la última presentan relación con los otros factores donde las concentraciones disminuían a medida que aumentaba el tiempo de retención, mientras que para la semana 2 y 3 hay un aumento en la concentración en el quinto o séptimo día.

Figura 31. Concentración de Fósforos Totales vs Tiempo de Retención en Días. Fuente: Elaboración Propia.

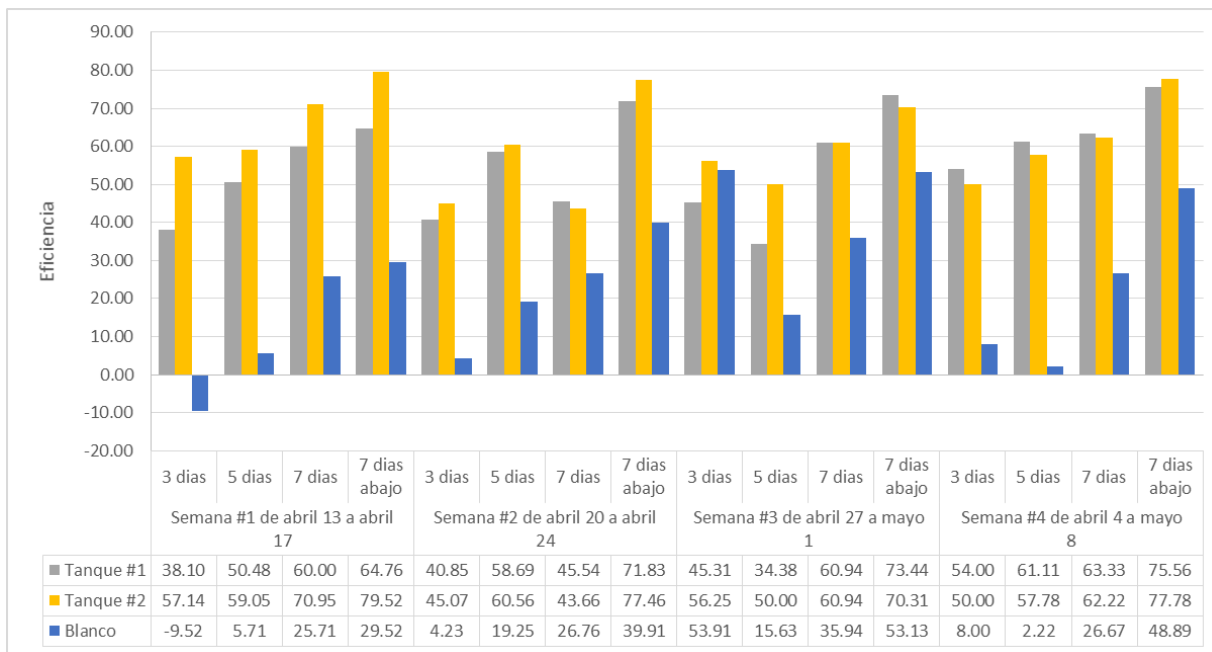


A partir de los resultados obtenidos se calcularon las eficiencias de cada celda de tratamiento, las que tenía vegetación como la celda de referencia o tanque blanco, estos resultados se puede apreciar en la Figura 32. Se puede observar que las eficiencias en las celdas de tratamiento donde se encuentra la vegetación son mayores que en la celda de referencia o tanque blanco, también podemos ver que las muestras que se recogieron en la parte inferior de los tanques presenta mayores eficiencias esto se debe a que el agua tratada



por las plantas es filtrada por otro estrato rocoso lo que actúa como un segundo filtro en el humedal.

Figura 32. Eficiencias en la Remoción de Fósforos Totales vs Tiempo de Retención en Días. Fuente: Elaboración Propia.



4.2.4. Coliformes Totales y Fecales.

Los resultados obtenidos en la determinación de las eficiencias en los Coliformes Totales y Fecales en cada uno los humedales de estudio dan resultados superiores al 80%, ajustándose a lo requerido en la normatividad Colombiana para vertimientos líquidos a través de la Resolución N° 0631 de 17 de marzo de 2015.



Figura 33. Concentraciones de Coliformes Totales vs Tiempo de Retención en Días.

Fuente: Elaboración propia.

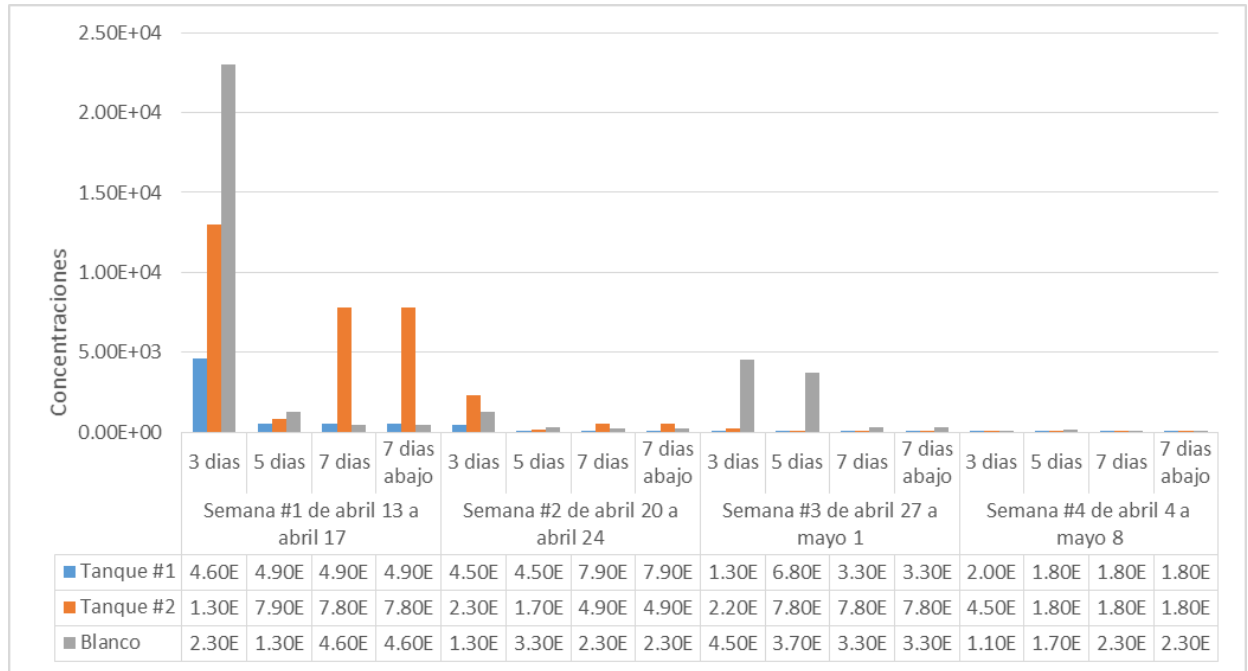
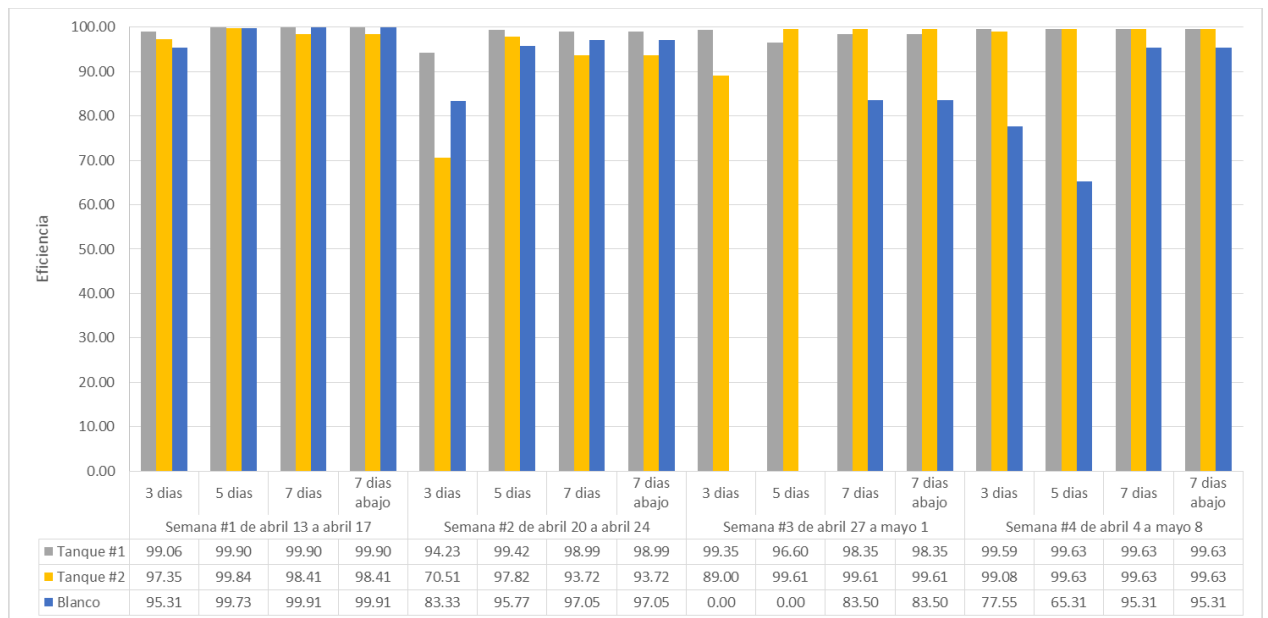


Figura 34. Eficiencia Coliformes Totales vs Tiempo de Retención en Días. Fuente:

Elaboración Propia.



La Figura 34 muestra la variación en la remoción de Coliformes Totales en cada uno de los Humedales de estudio mostrando mejor comportamiento en las eficiencias en los



humedales 1 y 2, siendo menos eficiente el humedal de referencia hacia la cuarta (4) semana.

No se observa algunos datos durante la tercera (3) semana, debido al proceso de biodegradación dado en el tanque de almacenamiento, haciendo que la remoción disminuyera de tal manera que no mostrara eficiencia el sistema.

Figura 35. Concentraciones de Coliformes Fecales vs Tiempo de Retención en Días.

Fuente: Elaboración Propia.

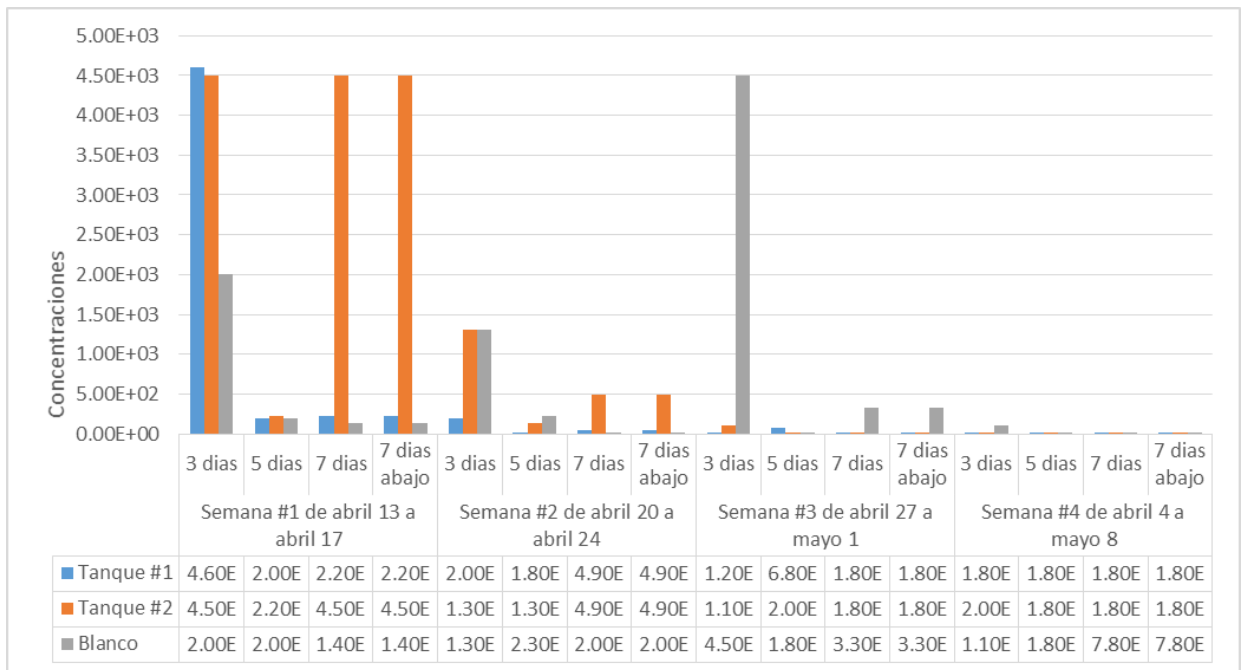
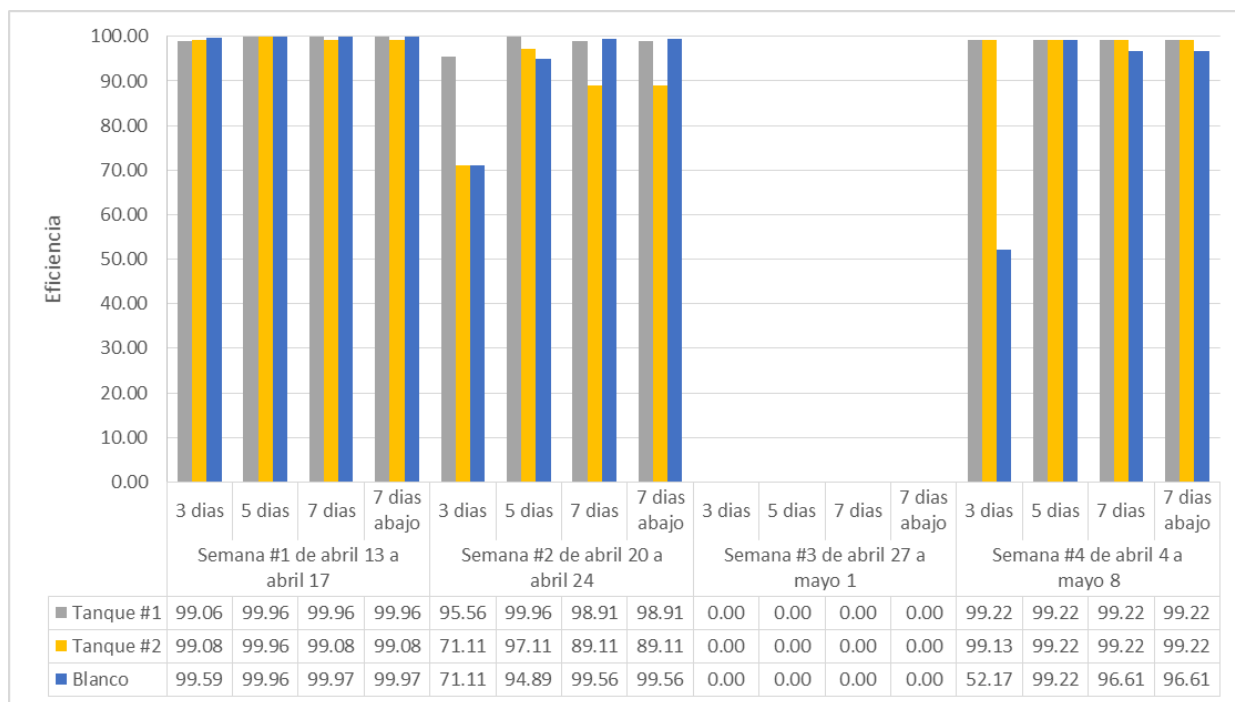




Figura 36. Eficiencia Coliformes Fecales vs Tiempo de Retención en Días. Fuente:

Elaboración Propia.



La muestra la variación en la remoción de Coliformes Fecales en cada uno de los Humedales de estudio mostrando mejor comportamiento en las eficiencias en los humedales 1 y 2, siendo menos eficiente el humedal de referencia hacia la cuarta (4) semana.

No se observa datos durante la tercera (3) semana, debido al proceso de biodegradación dado en el tanque de almacenamiento, haciendo que la remoción disminuyera de tal manera que no mostrara eficiencia el sistema.

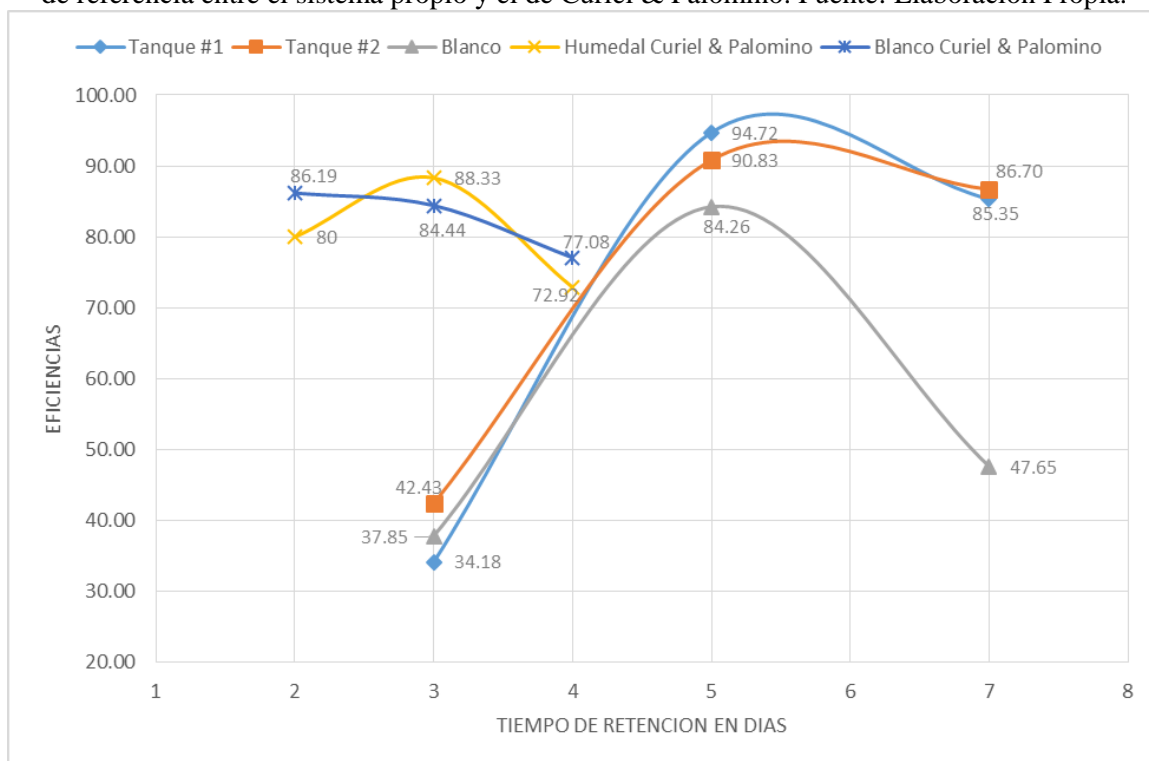
4.3. EFECTOS DEL MANGLE ROJO EN LA PLANTA PILOTO

Observado las investigaciones pasadas las cuales utilizaron como material biológico la planta enea podemos realizar una comparación y determinar qué beneficios puede traer realizar tratamientos de aguas residuales por medio de humedales artificiales utilizando como biofiltro el mangle rojo.

Para comparar la investigación actual con la de Curiel & Palomino D. C., (2012) con relación a la DBO_5 se tomaron los promedios de cada tiempo de retención los cuales se muestran en la Figura 37.



Figura 37. Comparación de promedio de eficiencia de remoción de DBO5 en los humedales y celda de referencia entre el sistema propio y el de Curiel & Palomino. Fuente: Elaboración Propia.



Según la Figura 37 las eficiencias para ambas investigaciones tienen cierta similitud y alcanzan los valores exigidos por las normas colombianas, sin embargo es necesario resaltar que las investigaciones tienen además del tipo de vegetación los tiempos de retención son diferentes; para el sistema propio los tiempos son de 3, 5 y 7 días mientras que para (Curiel & Palomino D. C., 2012) los tiempos son de 2, 3 y 4 días.

Para hacer este comparativo con Simanca & Herrera E. S., (2011) se tomaron los promedios semanales.

Tabla 7, Promedio semanal eficiencia DBO5. Fuente: (Simanca & Herrera E. S., 2011)

Unidad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Eficiencia en el Humedal 1(%)	57.60	70.00	77.50	62.50	81.58
Eficiencia en el Filtro biológico (%)	61.20	68.33	75.00	57.50	80.53



Tabla 8, Promedio semanal eficiencia DBO5. Fuente: Elaboración propia.

Unidad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Tanque #1	48.09	82.78	76.58	78.21
Tanque #2	86.52	79.95	67.53	59.27
Blanco	85.54	72.69	76.90	-8.78

La diferencia entre eficiencias en algunos caso supera el 10% sin embargo hay que recordar que para Simanca & Herrera E. S., 2011, los tiempos de retencion fueron de dos dias con esto nos damos cuenta que las eficiencias al igual que con la investigacion de Curiel & Palomino D. C., 2012 los resultados fueron bastante parecidos.

4.4. REMOCION DE LA CARGA ORGANICA EN LOS HUMEDALES Y LA CELDA DE REFERENCIA

Para realizar los cálculos correspondientes a la carga orgánica en los humedales y en la celda de referencia se tuvo en cuenta el caudal consumido por la evotraspiracion, la cual fue calculada por el método de Thornthwaite. Los valores de la evotraspiracion diaria obtenida durante el tiempo de operación y los caudales de salida respectivos se visualizan en la Tabla 9.



Tabla 9. Calculo de evotranspiracion y caudales de salida (método de thornthwaite). (Fuente: elaboración propia).

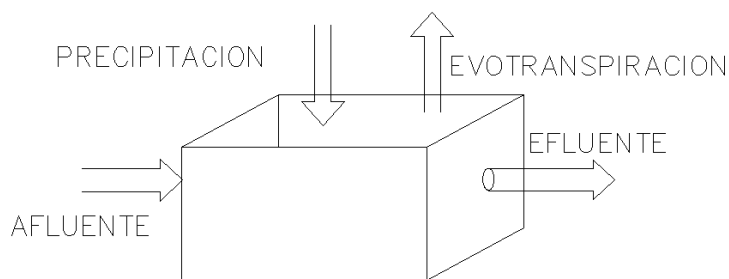
mes	días	Temperatura media diaria	Indice de Calor mensual	Eto Diario (mm/día)	# de días	a	No de horas Luz /día	Eto Diario corregida (mm/días)	Evotranspiracion(mm3)	Evotranspiracion (L)	caudal de entrada (L/d)	caudal salida(L/d)
abril	11.0	32.5	17.0	4.7	1.0	1.2	2.3	0.9	561709.9	0.6		
	12.0	30.0	15.1	4.3	1.0	1.2	8.2	2.9	1816337.4	1.8		
	13	30.5	15.45	4.36	1	1.22	2.4	0.87	542437.997	0.54	38.08	37.54
	14	28.5	13.94	4.01	1	1.22	7.2	2.41	1498108.41	1.50	0	
	15	29	14.32	4.10	1	1.22	6.2	2.12	1317696.76	1.32	22.848	21.53
	16	28	13.58	3.93	1	1.22	6.5	2.13	1323573.27	1.32	0	
	17	28	13.58	3.93	1	1.22	4.2	1.37	855231.958	0.86	16.32	15.46
	18	29.5	14.69	4.19	1	1.22	9.8	3.42	2126696	2.13	0	
	19	29.5	14.69	4.19	1	1.22	9.2	3.21	1996490.12	2.00	0	
	20	30.5	15.45	4.36	1	1.22	7.9	2.87	1785525.07	1.79	38.08	36.29
	21	30.5	15.45	4.36	1	1.22	0	0.00	0	0.00	0	
	22	27	12.85	3.76	1	1.22	10.5	3.29	2045307.71	2.05	22.848	20.80
	23	28.5	13.94	4.01	1	1.22	10.4	3.48	2163934.37	2.16	0	
	24	27.5	13.21	3.84	1	1.22	8.8	2.82	1752960.94	1.75	16.32	14.57
25	27	12.85	3.76	1	1.22	7.3	2.29	1421975.83	1.42	0		
26	28	13.58	3.93	1	1.22	3.6	1.18	733055.964	0.73	0		
27	30.5	15.45	4.36	1	1.22	8.5	3.09	1921134.57	1.92	38.08	36.16	
28	28.5	13.94	4.01	1	1.22	6.2	2.07	1290037.8	1.29	0		
29	28	13.58	3.93	1	1.22	8.7	2.85	1771551.91	1.77	22.848	21.08	
30	28.5	13.94	4.01	1	1.22	7.7	2.58	1602143.72	1.60	0		
mayo	1	30	15.07	4.27	1	1.22	3.9	1.39	863867.81	0.86	16.32	15.46
	2	29.5	14.69	4.19	1	1.22	7.9	2.76	1714377.38	1.71	0	
	3	31	15.84	4.45	1	1.22	8.6	3.19	1982673.07	1.98	0	
	4	31.5	16.23	4.53	1	1.22	5.2	1.96	1222452.43	1.22	38.08	36.86
	5	29	14.32	4.10	1	1.22	7.1	2.43	1508975.32	1.51	0	
	6	32	16.62	4.62	1	1.22	10.1	3.89	2420429.74	2.42	22.848	20.43
	7	26	12.13	3.59	1	1.22	8.7	2.60	1618438.39	1.62	0	
	8	26.5	12.49	3.67	1	1.22	4.3	1.32	818720.949	0.82	16.32	15.50

Los datos aquí obtenidos corresponden al tiempo de operación del sistema, las casillas marcadas en amarillo corresponden a los días respectivos según los tiempos de retención por semana.

El método de Thornthwaite permitió calcular valores de evotranspiracion diarios (Eto diario corregida) en mm/días, se determinó el volumen evapotranspirado correspondiente a la lámina de agua según la geometría de sistema y por consiguiente el valor del caudal de salida, el cual fue resultado de restarle la evotranspiracion al caudal entrante, según lo indica el balance hídrico.



Figura 38. Balance Hídrico. Fuente: Elaboración propia.



Tras analizar lo anterior se determinó las eficiencias de remoción en cuanto a carga orgánica se refiere. Conociendo las concentraciones de entrada y salida del sistema, y conociendo también los caudales de entrada y salida por cada día de retención, el cálculo de las distintas cargas orgánicas se resumió a la tarea de multiplicar las concentraciones de DBO con sus respectivos caudales, y por ende calcular las eficiencias.

Tabla 10. Eficiencia de Remoción de Carga Orgánica. Fuente: Elaboración Propia.

% Eficiencia Carga orgánica												
	Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4		
	Abril 13/2015	Abril 15/2015	Abril 17/2015	Abril 20/2015	Abril 22/2015	Abril 24/2015	Abril 27/2015	Abril 29/2015	Mayo 4/2015	Mayo 1/2015	Mayo 6/2015	Mayo 8/2015
Humedal No 1		95,79	84,34	54,53	98,62	97,83	58,51	92,97	54,26	85,83	93,23	80,29
Humedal No 2	90,22	91,22	79,86	45,87	98,56	98,44	36,86	81,55	89,53	5,98	94,76	81,68
Referencia	93,91	90,87	73,85	28,54	98,40	95,36	75,34	77,16	82,25		75,99	

Evaluando el sistema, nos damos cuenta que los porcentajes de remoción en cuanto a carga orgánica se refiere muestra eficiencias favorables de manera general, a simple vista se percato que la mayoría de los porcentajes superan el 80% e inclusive muchos pasaron la barrera de los 90% hasta el punto de casi tocar el 100% como es el caso de la semana 2 de operación, en donde se notó que a los cinco días de retención en las tres celdas alcanzaron remociones de más del 98%. Otro punto notable el cual califica de manera positiva las celdas con mangle es que, si bien es cierto que las tres celdas alcanzaron eficiencias muy aceptables, las celdas con vegetación mangle lograron en diez de los doce días de toma de muestra evaluados remociones por encima de las alcanzadas en la celda de referencia, sin embargo en algunos casos la diferencia entre sus remociones fueron mínimas, por ejemplo



a los cinco días de retención tanto en la semana 1 como en la semana 2 la diferencia entre la celda de referencia y el humedal 2 no supera el 1% , lo que nos lleva a concluir que es necesario la evaluación de este tipo de sistema con mucho más tiempo de operación; con lo anterior se permite asegurar que el sistema en cuanto a remoción de carga orgánica es eficiente.

Cabe aclarar que las casillas en blanco en la tabla de eficiencias corresponden a datos excluidos dentro del ítem de evaluación ya que difería mucho en comparación de los otros, posiblemente errores en la toma de muestra.

En la Tabla 11 muestra los valores de las cargas orgánicas en el efluente (gDBO/d), podemos distinguir como en el efluente de las celdas con vegetación se presentan generalizando cargas orgánicas menores que las halladas en la celda de referencia.

Tabla 11. Cargas Orgánicas en el Efluente del Sistema. Fuente: Elaboración Propia.

gDBO/d del afluente												
	Semana 1			Semana 2			Semana 3			Semana 4		
	Abril 13/2015	Abril 15/2015	Abril 17/2015	Abril 20/2015	Abril 22/2015	Abril 24/2015	Abril 27/2015	Abril 29/2015	Mayo 4/2015	Mayo 1/2015	Mayo 6/2015	Mayo 8/2015
Humedal No 1	5,16	0,10	0,26	2,29	0,04	0,05	0,25	0,03	0,12	0,11	0,03	0,07
Humedal No 2	0,38	0,20	0,33	2,72	0,04	0,03	0,38	0,07	0,03	0,73	0,02	0,06
Referencia	0,24	0,21	0,43	3,59	0,05	0,10	0,15	0,08	0,05	1,07	0,11	0,50

Con los resultaos obtenidos en esta investigación y realizando un análisis de la planta piloto en la remoción de los elementos a tratar se puede considerar que el Rhizophora Mangle o mangle rojo tuvo buenos resultados sin embargo se observó que a medida que pasaron las semanas la función depuradora de las plantas aumentaba esto quiere decir que con un mayor tiempo de adaptación y mejorando algunas características como en la modificación de tanque séptico este sistema podría tener grandes eficiencias.



5. CONCLUSIONES

- Las eficiencias obtenidas de remoción de materia orgánica y nutrientes en el sistema de humedal con mangle rojo, superaron las expectativas al obtener resultados en el orden de 90% y más, posicionándolo como una herramienta potente para el tratamiento de las aguas residuales
- Se puede concluir que la remoción de Coliformes Totales y Fecales en este tipo de humedales con la vegetación utilizada es recomendable desde el punto de vista de cumplimiento a la norma Colombiana, sin embargo la variación entre el TRH que va del 3 al 7 día en las eficiencias no es muy significativo.
- Aunque las eficiencias del Rhizophora Mangle o mangle rojo en cuestión de humedales es muy similar a las producidas por la planta enea esta se vuelve la mejor opción al hablar de ciudades costeras gracias a su fuerte asimilación con el medio, su gran capacidad para resistir altas concentraciones de sal y a las sustancias que esta produce que ayudan a la limpieza de las aguas residuales.
- El mejor tiempo de retención para este sistema fue de cinco días en donde siempre fue superior que los otros tiempos de retención.
- Las remociones de carga orgánica en el sistema estuvieron por encima del 80% e incluso mucho de los valores pasaron del 90% hasta rozar el 100%, indicando así la viabilidad del sistema para ser implementado para la depuración de aguas residuales o como elemento participativo dentro de un sistema macro de tratamiento de aguas residuales.
- En las tres celdas de operación los valores de remoción de carga orgánica fueron demasiado eficientes, pero es importante aclarar que las celdas con vegetación alcanzaron porcentajes de remoción más altos que los obtenidos por la celda de referencia, mostrando así la existencia de un factor beneficioso aportado por el mangle para la depuración de aguas residuales.
- La evotranspiración es un elemento importante, en los procesos de depuración de aguas residuales ya que este influye directamente sobre el caudal saliente de los sistemas eliminando una cantidad considerable de agua como en el caso de esta investigación que eliminaba entre 0.5 litros y 2.5 litros de agua residual y por ende



en la remoción de carga de orgánica. Omitir el efecto de la evotranspiración conllevaría a obtención de resultados alejados de la realidad.

- Respecto a la vegetación sembrada en el humedal se puede decir que esta presentó una adecuada adaptación a las condiciones del medio, evidenciado esto en su buen crecimiento y desarrollo.
- Para el corto tiempo en el que se desarrolló el proyecto los resultados del agua tratada a pesar de ser una aproximación al comportamiento de un humedal con Rhizophora Mangle o mangle rojo, presentaron eficiencias aprobadas por la norma lo que indica que pueden verse en cuerpos de agua.
- La implementación de los humedales artificiales como sistema de tratamiento de los efluentes de fuentes domésticas y también de otros establecimientos que estén vertiendo sus residuos o desechos orgánicos, sobre todo en áreas consideradas reservas naturales, o en comunidades de bajos recursos se considera viable y se recomienda para utilizarse en cualquier sitio que disponga de las condiciones necesarias y que tenga el firme propósito de contaminar el medio que les rodea.



6. RECOMENDACIONES

- La evaluación de la función depuradora del mangle en el proyecto fue exitosa, sin embargo se recomienda seguir con investigaciones acerca del mismo, para tener más veracidad y obtener mejores resultados.
- Si se continuaran estudios con este tipo de plantas con raíces de poca profundidad es recomendable cambiar los humedales por unos más bajos es decir humedales de flujo horizontal, esto aumentaría el trabajo de la planta en el agua.
- Los sistemas de tratamientos de aguas residuales por humedales artificiales no son eficientes en la remoción cuando el afluente trae partículas sólidas de gran tamaño por esto es indispensable realizar un pre tratamiento y así se logra el objetivo que es las plantas actúen sobre los fluidos y no sobre los sólidos sedimentables.
- Para trabajar con un flujo batch es preferible no contar con un tanque de almacenamiento, ya que, en este al tener agua acumulada se presenta una sedimentación y se crea una capa de lodos y entraría a formar parte del tratamiento de aguas lo que no debe ocurrir.
- La implementación de un tanque séptico es correcta para humedales artificiales, sin embargo, estos deben implementarse en un flujo pistón donde el agua está en un movimiento constante y pueda trabajar con un tiempo de retención aunque sea mínimo, para el caso del flujo batch es necesario asegurar que el tanque séptico tendrá el suficiente volumen para llenar por completo los humedales a tratar y tener un tiempo de retención adecuado.
- El estudio de humedales artificiales con mangle rojo no debe quedar solo en este informe debe ser optimizado para que más adelante el sistema pueda contar con remociones mayores al 97%.
- Para futuras investigaciones con Rhizophora Mangle o mangle rojo se debe tener en cuenta mayores tiempos de adaptación para la planta como para el tanque séptico.



7. REFERENCIAS

- BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD. (2009). *BIODIVERSITAS*.
- Arroyo, P. A. (2010). *Los humedales construidos como sistemas para el tratamiento de agua residual industrial y urbana. Caracterización de las comunidades de bacterias presentes en estos ecosistemas*. Leon: Universidad de León.
- BotBln, 2. B.-D. (2005). *Rhizophora Mangle*. Berlin, Alemania.
- Brix & Arias, H. B. (2005). *The use of vertical flow constructed wetlands for on-site*.
- C. A. Verhoeven, C. Maksimovic, J. J. Blom. (2007). *Proyecto de humedal artificial de flujo vertical de Leidsche Rijn (Holanda): resultados de la investigación de la planta piloto*. Ciudad de Utrecht: residuos, revista tecnica.
- Curiel & Palomino, D. C. (2012). *OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA SEDE PIEDRA DE BOLÍVAR*. Cartagena, Bolivar: Universidad de Cartagena.
- Curiel & Palomino, D. C.-R. (2012). *Obtencion de una Planta Piloto de Humedal Artificial de Flujo Vertical para el Tratamiento de las Aguas Residuales de la Universidad de Cartagena sede Piedra de Bolivar*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Curiel & Palomino, D. M. (2012). *OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD DE CARTAGENA SEDE PIEDRA BOLIVAR*. universidad de cartagena, tesis (ingenieria civil) , faculta de ingenieria.
- Curt & Gonzalez, C. F. (2001). *Fitodepuración en humedales: Conceptos generales*. Manual de Fitodepuración: Filtros de Micrófitas en Flotación. En C. F. MORA. Madrid.
- Estrada, I. Y. (2010). *(MONOGRAFÍA SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HAFSS) PARA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES*. PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGÍAS ESCUELA DE QUÍMICA.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. En *Estudio FAO Riego y Drenaje 56*. roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA.
- Gómez, R. (2008). *Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales*.
- H. Brix & C. Arias, H. B. (2008). *WasterWater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow*. En. L. K. Jan V Ymazal.



- Juan Herrera Romero, E. S. (2011). *determinacion de la eficiencia de una planta piloto de un humedal de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domesticas*. cartagena: universidad de cartagena.
- Langergraber, G. (2010). *Vertical flow constructed wetlands – current practices and optimization potential* INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT: TRANSFER OF KNOWLEDGE TO LATIN-AMERICAN. Ponencia del International conference on constructed wetlands for wastewater treatment: transfer of knowledge to Latin-American. BOKU University. 64 p. LARA BORRERO, Jaime Andrés. Depuración de Aguas.
- LLAGAS CHAFLOQUE, W. A. ((2006)). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. Vol. 15, Nº 17, 85-96, 12 p. MISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico).
- Marin, V. M. (2010). *EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TEÓRICA Y LA EVAPORACIÓN REGISTRADA EN LOS DEPARTAMENTOS DE CUNDINAMARCA Y VALLE DEL CAUCA*. Bogota: tesis, pontifica universidad javeriana facultad de ingenieria.
- MAVDT, M. d. (2002). *Guía de Manejo y Tratamiento de Aguas Residuales del Medio Ambiente*. .
- Mena, J. M. (2008). congreso nacional de medio ambiente. cumbre del desarrollo sostenible.
- Monsalve, G. (1995). *Hidrologia en la ingenieria*. Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- moroyoqui flores & carmona. (2014). *BALANCE DE NUTRIENTE EN UN HUMEDAL UTILIZANDO MANGLES(laguncularia racemosa y rhizophora mangle) INTEGRADO A ESTANQUES CON CAMARON(litopenaeus vannamei)*. universidad nacional autonoma de mexico, unidad academica mazatlan, instituto de ciencias del mar y limnologia.
- Moroyoqui& Carmona, I. M.-r. (s.f.). *ALANCE DE NUTRIENTE EN UN HUMEDAL UTILIZANDO MANGLES(laguncularia racemosa y rhizophora mangle) INTEGRADO A ESTANQUES CON CAMARON(litopenaeus vannamei)*. universidad nacional autonoma de mexico, unida.
- Perez, R. P. (2003). Humedales construidos. Estado del arte. *Ingenieria Hidraulica y Ambiental*, XXIV(3), II.
- Q. Yang, N. T. (2008). Potential use of mangroves as constructed wetland for municipal. *Marine Pollution Bulletin*, 735-743.
- Ramos & Uribe, R. Y. (2008). *PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE ACESCO POR MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS - LAMINAS FILTRANTES*. ACERIAS DE COLOMBIA . ACESCO & CIA. S. C. A.



RAS, M. d. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO MUNICIPALES*. Bogota.

(2003). Ingeniería Hidráulica y Ambiental. En C. R. rodriguez, *VOL. XXIV, No. 3, humedales construidos*. Ciudad de La Habana: Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior.

RODRÍGUEZ, R. P. (2003). *Humedales construidos. Estado del arte. (II)*. En: *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, VOL. XXIV, No. 3*.

Rovira, A. (1976). Selección de fórmula para estimar evapotranspiración potencial en Chillán-Chile. *Notas geográficas*, págs. 31-44.

Simanca & Herrera, E. S. (2011). *DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA PLANTA PILOTO DE HUMEDAL DEFLUJO VERTICAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS*. Cartagena, Bolívar: Universidad de Cartagena .

Simanca & Herrera, E. S.-J. (2011). *Determinacion de la Eficiencia de una Planta Piloto de Humedal de Flujo Vertical para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Y. Wu, A. C. (2008). Constructed mangrove wetland as secondary treatment. *Ecological Engieniering*, 137-146.



8. ANEXOS

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE

CARDIQUE

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE

**SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL
HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL**

NIT 800.254.453-5

Transversal 54 No 16 – 190 / Teléfono 6694059 / 6694262

**REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE MUESTRAS DE AGUAS**

**Muestras recibidas durante los días 13, 15, 17, 20, 22, 24, 29, 30 de
abril y 4, 6 y 8 de mayo de 2015**

Operativo de Gestión. No. 0173-15

Junio de 2015

**NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA
NORMA ISO 17025**

Página 1 de 13

**Bosque Sector Manzanillo, Transv. 52 No. 16 – 190
Teléfonos 6694262 – 6694059
[http: www.cardique.gov.co](http://www.cardique.gov.co) - Email Laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena de Indias D.T y C.**



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa	NA
Entrada al Laboratorio	LA15: 0496-0497-0498-0499-0500
Reporte de Análisis	0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	5
# de Análisis	83
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 13 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	2 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque Entrada	Tanque Séptico	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	0,038	0,029	0,025	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	1201,00	1200,00	1379,00	1375,00	1136,00	NA	Abril 13/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	102,00	79,50	137,50	10,14	6,31	0,46	Abril 13/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	189,50	791,50	200,00	527,10	43,78	14,68	Abril 23/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	2,10	2,70	1,30	0,90	2,30	0,05	Abril 14/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,217	0,161	2,080	2,850	0,114	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,039	0,036	0,104	0,105	0,271	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	0,0209	<LD	1,9040	1,6170	3,9710	0,0104	Abril 15/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	0,0649	0,1792	2,4330	1,9820	1,4080	0,0022	Abril 15/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} , 4500 - NH ₃ B, C	78,740	60,100	16,220	10,500	77,980	0,402	Abril 16/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	78,826	60,279	20,557	14,099	83,359	NA	Abril 16/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,44	8,82	8,30	7,95	7,60	NA	Abril 13/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,50	0,60	0,70	0,60	0,50	NA	Abril 13/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	27,00	58,00	167,00	67,00	7,00	4,21	Abril 15/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,02	0,02	0,02	0,02	<LD	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	49 X 10 ⁴	*	46 X 10 ²	13 X 10 ³	23 X 10 ²	NA	Abril 13/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	49 X 10 ⁴	*	46 X 10 ²	45 X 10 ²	20 X 10 ²	NA	Abril 13/15

Nota: No se recibió muestra del tanque séptico para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina García Vergara

MADY CAROLINA GARCÍA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 8694262 - 8694059
http://www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15: 0511-0512-0513 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	3
# de Análisis	51
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 15 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	3 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,030	0,031	0,029	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	1360,00	1304,00	1059,00	NA	Abril 21/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	4,55	9,50	9,88	0,46	Abril 15/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	233,50	198,20	133,40	14,68	Abril 23/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,04	0,86	1,98	0,05	Abril 21/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,867	1,350	0,138	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,052	0,064	0,326	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	0,8484	1,0352	0,9862	0,0104	Abril 24/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	0,3478	0,2750	0,1834	0,0022	Abril 24/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} , 4500 - NH ₃ B, C	7,950	6,520	22,380	0,402	Abril 22/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT)	8,946	7,830	23,550	NA	Abril 24/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	8,02	8,00	7,95	NA	Abril 21/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,60	0,60	0,50	NA	Abril 21/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	5,00	12,00	5,00	4,21	Abril 21/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,02	0,02	0,01	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	49 X 10	79 X 10	13 X 10 ²	NA	Abril 15/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	20 X 10	22 X 10	20 X 10	NA	Abril 15/15

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina Garcia Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA
Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15: 0525-0526-0527-0528-0529-0530 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	6
# de Análisis	96
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 17 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descriptos
Página	4 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1 Arriba	Tanque 2 Arriba	Blanco Arriba	Tanque 1 Abajo	Tanque 2 Abajo	Blanco Abajo	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,035	0,030	0,030	0,033	0,035	0,099	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	μS/cm	S.M 2520-A	1262,00	1193,00	999,00	1177,00	1062,00	1033,00	NA	Abril 17/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	16,80	21,60	28,05	25,05	22,05	34,70	0,46	Abril 17/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	90,50	40,04	789,30	79,80	49,30	76,80	14,68	Abril 23/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	0,84	0,61	1,56	0,74	0,43	1,48	0,05	Abril 20/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,572	0,984	0,084	0,053	0,048	0,994	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,042	0,066	0,405	0,054	0,151	0,538	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	0,7588	1,0362	0,7994	0,6052	0,8294	0,9449	0,0104	Abril 24/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	0,2648	0,1602	0,1276	0,2352	0,3876	0,1673	0,0022	Abril 24/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} , 4500 - NH ₃ B, C	4,890	4,530	11,470	5,050	5,100	16,050	0,402	Abril 22/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	5,914	5,726	12,397	5,890	6,317	17,162	NA	Abril 24/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,60	7,66	7,45	7,60	7,57	7,62	NA	Abril 17/15
Salinidad	clcc	S.M. 2520 - B	0,60	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	NA	Abril 17/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	19,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,21	Abril 20/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,01	0,01	<LD	<LD	<LD	0,10	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	49 X 10	78 X 10 ²	46 X 10	NA	Abril 17/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	22 X 10	45 X 10 ²	14 X 10	NA	Abril 17/15

Nota: No se recibió muestra del tanque 1 y 2 arriba y blanco arriba para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina García Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15: 0532-0533-0534-0535-0536 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	5
# de Análisis	83
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 20 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	5 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque Captación	Tanque Séptico	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	0,031	0,042	0,040	0,037	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	1245,00	1204,00	867,00	775,00	834,00	NA	Abril 21/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	132,00	83,00	63,00	75,00	99,00	0,46	Abril 20/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	174,90	753,30	87,90	138,40	104,70	14,68	Abril 23/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	2,13	2,37	1,26	1,17	2,04	0,05	Abril 21/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,266	0,309	1,475	1,401	0,336	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,024	0,047	0,194	0,192	0,283	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	<LD	<LD	2,2719	2,0000	3,3511	0,0104	Mayo 11/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -B	0,0758	0,0284	0,7836	0,8747	0,5049	0,0022	Mayo 11/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} , 4500 - NH ₃ B, C	75,260	67,460	9,140	9,700	21,310	0,402	Abril 27/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT)	75,336	67,488	12,196	12,375	25,166	NA	Mayo 11/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,94	8,00	7,81	7,88	7,77	NA	Abril 21/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,60	0,50	0,40	0,30	0,30	NA	Abril 21/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	5,00	13,00	12,00	12,00	<LD	4,21	Abril 21/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	78 X 10 ²	*	45 X 10	23 X 10 ²	13 X 10 ²	NA	Abril 20/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	45 X 10 ²	*	20 X 10	13 X 10 ²	13 X 10 ²	NA	Abril 20/15

Nota: No se recibió muestra del tanque séptico para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA
Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
http://www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa	NA
Entrada al Laboratorio	LA15: 0566-0567-0568
Reporte de Análisis	0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	3
# de Análisis	51
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 22 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	6 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,040	0,039	0,030	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	840,00	837,00	748,00	NA	Mayo 6/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	2,00	2,08	2,32	0,46	Abril 23/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	18,08	108,40	59,68	14,68	Abril 27/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	0,88	0,84	1,72	0,05	Mayo 5/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,599	0,145	0,201	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,062	0,129	0,304	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	<LD	0,5210	4,087	0,0104	Mayo 11/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	1,2545	0,0700	1,3170	0,0022	Mayo 11/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} ; 4500 - NH ₃ B, C	3,010	8,980	5,280	0,402	Abril 28/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT)	4,265	9,571	10,684	NA	Mayo 11/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,68	8,10	7,60	NA	Mayo 6/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,30	0,30	0,30	NA	Mayo 6/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	<LD	<LD	5,00	4,21	Abril 24/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,01	<LD	0,01	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	45	17 X 10	33 X 10	NA	Abril 22/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	<1,8	13 X 10	23 X 10	NA	Abril 22/15

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DE CARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina García Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA
Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15_0600-0601-0602-0603-0604-0605 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	6
# de Análisis	96
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 24 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	7 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1 Arriba	Tanque 2 Arriba	Blanco Arriba	Tanque 1 Abajo	Tanque 2 Abajo	Blanco Abajo	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,045	0,044	0,039	0,040	0,046	0,043	0,020	Abril 24/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	895,00	886,00	779,00	1060,00	886,00	940,00	NA	Mayo 4/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	3,20	2,30	6,84	1,15	2,20	18,84	0,46	Abril 24/15
DOO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	93,80	183,80	61,20	139,60	16,42	65,10	14,68	Mayo 27 y 28/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,16	1,20	1,56	0,60	0,48	1,28	0,05	Abril 30/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,327	0,089	0,124	0,042	0,083	0,076	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	0,044	0,353	0,092	0,380	0,460	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	3,4680	2,0160	5,7650	7,8330	0,3235	5,4730	0,0104	Mayo 13/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	4,7180	4,4820	2,3410	0,1665	0,0120	2,4150	0,0022	Mayo 13/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} 4500 - NH ₃ B, C	2,090	2,210	2,750	4,030	4,640	12,830	0,402	Mayo 5 y 12/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	10,276	8,708	10,856	12,030	4,976	20,718	NA	Mayo 13/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,62	8,07	7,70	7,64	8,17	8,05	NA	Mayo 4/15
Salinidad	o/co	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,30	0,50	0,40	0,40	NA	Mayo 4/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	8,00	<LD	<LD	10,00	<LD	<LD	4,21	Abril 30/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,01	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	79	49 X 10	23 X 10	NA	Abril 24/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	49	49 X 10	20	NA	Abril 24/15

Nota: No se recibió muestra del tanque 1 y 2 arriba y blanco arriba para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Garcia

MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email:laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa	NA
Entrada al Laboratorio	LA15: 0610-0611-0612-0613-0614
Reporte de Análisis	0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	5
# de Análisis	83
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 27 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	8 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Tanque Captación	Tanque Séptico	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,051	0,050	0,048	0,174	0,044	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	939,00	1080,00	911,00	1220,00	1191,00	NA	Mayo 4/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	6,90	10,50	4,10	15,80	25,00	0,46	Abril 27/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	334,70	152,70	41,15	26,90	166,90	14,68	Mayo 28/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,40	1,12	1,88	2,56	5,80	0,05	Abril 30/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	1,017	0,587	0,108	0,127	0,111	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,116	0,123	0,267	0,043	0,058	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	6,7600	5,2200	7,1300	0,2590	0,1675	0,0104	Mayo 13/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	2,242	2,464	1,652	0,1060	0,1465	0,0022	Mayo 13/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} 4500 - NH ₃ B, C	7,780	10,840	12,830	69,820	71,500	0,402	Mayo 12/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	16,782	18,524	21,612	70,185	71,814	NA	Mayo 13/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,86	7,82	7,77	8,17	8,02	NA	Mayo 4/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,50	0,40	0,60	0,50	NA	Mayo 4/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	<LD	<LD	<LD	8,00	11,00	4,21	Abril 30/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,02	0,01	<LD	0,01	0,01	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	13	22 X 10	45 X 10 ²	20 X 10 ²	*	NA	Abril 27/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	12	11 X 10	45 X 10 ²	<1,8	*	NA	Abril 27/15

Nota: No se recibió muestra del tanque séptico para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina Garcia Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6594262 - 6594059
http://www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia





TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa	NA
Entrada al Laboratorio	LX15: 0645-0646-0647
Reporte de Análisis	0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	3
# de Análisis	51
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Abril 29 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	9 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,033	0,053	0,046	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	913,00	926,00	873,00	NA	Mayo 4/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	1,20	3,15	3,90	0,46	Abril 29/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	24,90	125,80	85,07	14,68	Mayo 28/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,88	1,28	2,16	0,05	Abril 30/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,449	0,409	0,110	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,070	0,079	0,310	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	5,8100	5,9040	7,258	0,0104	Mayo 13/15
Nitrato	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	2,2280	3,1640	1,5720	0,0022	Mayo 13/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} ; 4500 - NH ₃ B, C	5,040	4,150	3,690	0,402	Mayo 12, 14 y 15/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	13,078	13,218	12,520	NA	Mayo 14 y 15/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,67	7,71	7,76	NA	Mayo 4/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,40	NA	Mayo 4/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	39,00	9,00	<LD	4,21	Abril 30/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,01	0,01	<LD	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	68	7,8	37 X 10 ²	NA	Abril 29/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	68	2	<1,8	NA	Abril 29/15

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady García Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA
Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email:laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa: NA
Entrada al Laboratorio: LA15: 0663-0665-0667-0664-0666-0668
Reporte de Análisis: 0173-15

Naturaleza de la Muestra: Agua
de Muestras: 6
de Análisis: 96
Fecha de Toma de Muestras: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo: Abril 30 de 2015
Fecha de Emisión de Informe: Junio 1 de 2015
Recolector: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización: Operativo de Gestión
Plan de Muestreo: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo: Abajo descritos
Página: 10 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1 Arriba	Tanque 2 Arriba	Blanco Arriba	Tanque 1 Abajo	Tanque 2 Abajo	Blanco Abajo	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E-3111-B	0,053	<LD	<LD	0,054	<LD	0,063	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	898,00	900,00	891,00	954,00	953,00	886,00	NA	Mayo 4/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	3,00	1,74	2,95	2,05	7,15	26,35	0,46	Abril 30/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	23,50	7,99	103,20	207,70	62,73	26,95	14,68	Mayo 28/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P, B, E	1,00	1,00	1,64	0,68	0,76	1,20	0,05	Mayo 5/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E-3111-B	0,072	<LD	<LD	0,074	<LD	0,028	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E-3111-B	0,043	0,016	0,232	0,064	0,030	0,393	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	6,7970	5,1790	4,7880	5,3640	5,6100	8,3570	0,0104	Mayo 13/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	2,6230	2,3730	4,4620	1,3280	1,7320	1,8290	0,0022	Mayo 13/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} : 4500 - NH ₃ B, C	2,550	2,670	0,870	3,100	3,110	7,180	0,402	Mayo 14 y 15/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	11,970	10,222	10,120	9,792	10,452	17,366	NA	Mayo 14 y 15/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,77	7,90	7,67	7,66	7,70	7,72	NA	Mayo 4/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	NA	Mayo 4/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	5,00	<LD	5,00	<LD	<LD	<LD	4,21	Mayo 5/16
Zinc	mg/L	S.M 3030-E-3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,05	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	33	7,8	33 X 10	NA	Abril 30/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	<1,8	<1,8	33 X 10	NA	Abril 30/15

Nota: No se recibió muestra del tanque 1 y 2 arriba y blanco arriba para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DE CARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolyna Garcia Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email:laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15: 0671-0672-0673-0674-0675 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	5
# de Análisis	83
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Mayo 4 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	11 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Tanque Captación	Blanco	Tanque Séptico	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	878,00	953,00	1126,00	844,00	1177,00	NA	Mayo 6/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	7,60	19,90	20,50	29,00	18,50	0,46	Mayo 4/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	315,50	247,80	270,70	299,80	516,40	14,68	Junio 1/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	2,07	2,25	4,50	4,14	4,14	0,05	Mayo 8/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,143	0,416	0,210	0,369	0,363	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,025	0,033	0,028	0,218	0,037	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	5,7130	13,2530	1,4790	11,9480	0,5840	0,0104	Mayo 15/15
Nitrato	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	1,9190	2,0290	4,6640	3,9620	0,2910	0,0022	Mayo 15/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} 4500 - NH ₃ B, C	4,360	4,340	59,780	6,360	66,300	0,402	Mayo 21/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	11,992	19,622	65,923	22,270	67,175	NA	Mayo 21/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,80	7,80	8,08	7,54	8,20	NA	Mayo 6/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,50	0,30	0,50	NA	Mayo 6/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	<LD	<LD	5,00	<LD	<LD	4,21	Mayo 5/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	0,01	<LD	<LD	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	2	4,5	49 X 10	11 X 10	*	NA	Mayo 4/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	<1,8	2	23 X 10	11 X 10	*	NA	Mayo 4/15

Nota: No se recibió muestra del tanque séptico para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina Garcia Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
http://www.cardique.gov.co - Email: laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
Dirección de la Empresa	SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Entrada al Laboratorio	NA
Reporte de Análisis	LA15: 0676-0677-0678 0173-15

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	3
# de Análisis	51
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo	Mayo 6 de 2015
Fecha de Emisión de Informe	Junio 1 de 2015
Recolector	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización	Operativo de Gestión
Plan de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo	Abajo descritos
Página	12 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1	Tanque 2	Blanco	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,023	0,022	0,023	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	889,00	898,00	887,00	NA	Mayo 6/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	1,55	1,20	5,50	0,46	Mayo 6/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M.5220 - C	170,10	221,30	277,00	14,68	Junio 1/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,75	1,90	4,40	0,05	Mayo 7/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,045	0,218	0,074	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	0,016	0,016	0,171	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	8,4030	7,5550	12,6520	0,0104	Mayo 15/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	0,5020	0,1840	2,4020	0,0022	Mayo 15/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} , 4500 - NH ₃ B, C	1,320	1,310	0,770	0,402	Mayo 21/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT)	10,225	9,049	15,824	NA	Mayo 21/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,66	7,56	7,71	NA	Mayo 6/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,40	NA	Mayo 6/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	<LD	<LD	<LD	4,21	Mayo 20/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E:3111-B	<LD	<LD	<LD	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	<1,8	<1,8	17 X 10	NA	Mayo 4/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	<1,8	<1,8	<1,8	NA	Mayo 4/15

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina Garcia Vergara
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA
Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email:laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

Nombre de la Empresa: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE / CARDIQUE
SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL (HUMEDALES ARTIFICIALES FLUJO VERTICAL)
Dirección de la Empresa: NA
Entrada al Laboratorio: LA15: 0690-0691-0692-0693-0694-0695
Reporte de Análisis: 0173-15

Naturaleza de la Muestra: Agua
de Muestras: 6
de Análisis: 96
Fecha de Toma de Muestras: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Hora de Toma de Muestras: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Fecha de Recibo: Mayo 8 de 2015
Fecha de Emisión de Informe: Junio 1 de 2015
Recolector: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Tipo de Caracterización: Operativo de Gestión
Plan de Muestreo: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Procedimiento de Muestreo: Información disponible por la Subdirección de Gestión ambiental
Punto de Muestreo: Abajo descriptos
Página: 13 de 13

Parámetros	Unidades	Métodos	Tanque 1 Arriba	Tanque 2 Arriba	Blanco Arriba	Tanque 1 Abajo	Tanque 2 Abajo	Blanco Abajo	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,033	0,033	0,029	0,034	0,037	0,081	0,020	Mayo 14/15
Conductividad	µS/cm	S.M 2520-A	922,00	928,00	887,00	927,00	931,00	852,00	NA	Mayo 11/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	4,25	3,95	32,40	3,75	2,90	15,40	0,46	Mayo 8/15
DQO	mg O ₂ /L	S.M 5220 - C	293,00	168,20	249,10	261,40	275,30	456,40	14,68	Junio 1/15
Fósforo Total	mg/L	S.M. 4500-P B, E	1,65	1,70	3,30	1,10	1,00	2,30	0,05	Mayo 12/15
Hierro	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,091	0,095	0,131	0,044	0,047	0,041	0,025	Mayo 14/15
Manganeso	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,049	0,054	0,029	0,009	0,088	0,369	0,015	Mayo 14/15
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	S.M 4500-NO ₃ -E	2,4000	0,6130	14,8590	4,4060	0,9860	1,8670	0,0104	Mayo 20/15
Nitrito	mg NO ₂ -N/L	S.M 4500-NO ₂ -B	0,2240	0,2390	12,8310	0,3110	0,0630	2,0460	0,0022	Mayo 20/15
NKT	mg/L	S.M. 4500-N _{org} -4500 - NH ₃ B, C	2,020	2,330	0,860	2,570	2,730	6,490	0,402	Mayo 21 y 25/15
Nitrogeno Total	mg/L	Σ(NO ₃ -NO ₂ -NKT.)	4,644	3,182	28,550	7,287	3,779	10,403	NA	Mayo 21 y 25/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	7,49	7,51	7,87	7,86	7,63	7,73	NA	Mayo 11/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	NA	Mayo 11/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540-D	18,00	18,00	<LD	<LD	<LD	<LD	4,21	Mayo 12/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06	0,01	Mayo 14/15
Coliformes Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	<1,8	<1,8	23	NA	Mayo 8/15
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	*	*	*	<1,8	<1,8	7,8	NA	Mayo 8/15

Nota: No se recibió muestra del tanque 1 y 2 arriba y blanco arriba para análisis microbiológico.

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados Válidos únicamente para las muestras analizadas

Este documento no debe ser reproducido sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DECARDIQUE

El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este informe

Mady Carolina V.
MADY CAROLINA GARCIA VERGARA

Jefe de Oficina de Laboratorio de calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Barrio el Bosque Sector Manzanillo Transversal 52 No 16 - 190
Teléfono 6694262 - 6694059
hppt:www.cardique.gov.co - Email:laboratorio@cardique.gov.co
Cartagena - Colombia



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGANICA EN UN HAFV.



MADY C G.
Amemai
Oru

Cartagena de Indias D.T y C. 10 de Abril del 2015



Universidad de Cartagena
Fundada en 1827

Dr. OLAFF PUELLO CASTILLO
Director General
CARDIQUE



Oficina de Recepcion
Numero Radicado: 000002252
Fecha / hora: 2015-04-13 10:20

Xlomaru

El recibo de este documento no implica aceptacion

Cordial saludo:

Como parte del trabajo de grado "Evaluación de un Humedal Artificial de Flujo Vertical con Especies Nativas de Manglar de La Región Caribe Colombiana en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas", adelantado por el Ing. Efrén Escaffi Theran como requisito para obtener el título de magister en Ingeniería Ambiental, se requiere realizar un análisis físico-químico de las aguas residuales tomadas de la planta piloto, ubicada en la sede Piedra de Bolívar. Por tal motivo, le solicitamos muy respetuosamente su colaboración y apoyo para lograr la toma de muestras en el sector señalado y analizarlas por intermedio del laboratorio de Calidad ambiental de CARDIQUE. Con la tesis se busca fundamentalmente, alternativas de tratamiento de las aguas residuales con el Mangle Rojo, para comunidades ubicadas en zonas costeras.

Para determinar el grado de contaminación de estas muestras de agua se requerirían de los siguientes análisis: pH, Conductividad, Salinidad, DBO₅, DQO, S.S.T, Fósforo Total, Nitrógeno Total, metales pesados (Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre), Coliformes Totales y fecales. Estos análisis nos permitirán conocer el estado inicial del agua a tratar y poder comparar la calidad del agua después del proceso propuesto en la tesis de maestría.

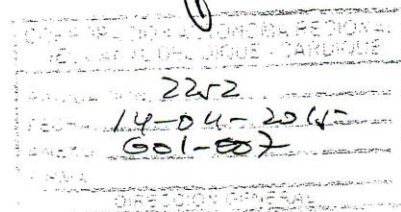
Se contará para la toma de muestras con la colaboración de los estudiantes Reynaldo Osorio Fernandez y Jhonatan Caballero Peluffo, identificados con los números de cédula de ciudadanía No 1047443439 y 1047445751 respectivamente, ambos de Cartagena, quienes se encuentran cursando decimo semestre del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena y quienes hacen parte del proyecto.

Agradeciéndole de antemano su colaboración y atención.

[Firma manuscrita]

EDGAR QUIÑONES BOLAÑOS, Ph.D.
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Ambiental
Universidad de Cartagena

[Firma manuscrita]



Piedra de Bolívar – Av. Del Consulado, Calle 30 No. 48-152 Telefax: 6699173 - 6601881
Correo Electrónico: equinonesb@unicartagena.edu.co
Cartagena de Indias, D.T. y C. – Colombia