

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES HIBRIDOS  
COMO POST-TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PORCÍCOLA.

ANGELA DUQUE MORALES.

JUAN GUILLERMO ARDILA PELAEZ.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

FACULTAD DE INGENIERÍAS.

FACULTAD DE TECNOLOGÍA.

ESCUELA DE QUÍMICA.

PEREIRA.

2014.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES HIBRIDOS  
COMO POST-TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PORCÍCOLA.

ANGELA DUQUE MORALES.

JUAN GUILLERMO ARDILA PELAEZ.

Proyecto de grado requisito parcial para optar al título de:

Tecnólogo en Química.

DIRECTOR

CARLOS ANDRES SABAS RAMIREZ.

ING. AMBIENTAL. M.Sc. EN ECOTECNOLOGÍA.

Ph.D. EN CIENCIAS AMBIENTALES (C)

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

FACULTAD DE TECNOLOGÍA.

ESCUELA DE QUÍMICA.

PEREIRA.

2014.

## AGRADECIMIENTOS.

Al grupo de investigación en agua y saneamiento (GIAS), quien permitió llevar a cabo este proyecto, al laboratorio de procesos biológicos de la facultad de ciencias ambientales por permitirnos desarrollar la parte experimental de este trabajo.

A nuestros profesores por la dedicación y tiempo. A nuestro director Carlos Andrés Sabas Ramírez por su colaboración en este documento, al profesor Carlos Humberto Montoya Navarrete por su colaboración en las correcciones del presente. A Lorena Paulina Restrepo Trejos, ya que fue quien eso este proyecto posible para nosotros.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, por ser quienes nos motivan para seguir adelante con nuestros sueños.

A nuestros amigos, que aguantaron tantos momentos de frustración y de inconveniencia, pero nunca dejaron de apoyarnos, a Juan Sebastián Aguirre Motato, ya que sin su computador gran parte de este documento no se hubiera escrito.

A todos aquellos quienes hicieron posible el desarrollo, cumplimiento y culminación de este proyecto, solo podemos decir GRACIAS.

# Índice

<b>1. JUSTIFICACIÓN.</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.</b>	<b>13</b>
<b>3. MARCO DE REFERENCIA.</b>	<b>14</b>
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. . . . .	14
3.1.1. CONTAMINACIÓN. . . . .	14
3.1.2. CONTAMINACIÓN. . . . .	14
3.1.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. . . . .	15
3.1.4. CONDICIONES GENERALES DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. . . . .	15
3.1.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GRANJAS PORCICOLAS. . . . .	15
3.1.6. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y TRATAMIENTO. . . . .	16
3.2. MARCO TEÓRICO. . . . .	17
3.2.1. HUMEDALES. . . . .	17
3.2.2. TIPOS DE HUMEDALES. . . . .	17
3.2.3. CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES. . . . .	20
3.2.4. COMPONENTES DE UN HUMEDAL. . . . .	20
3.2.5. QUÍMICA DE LOS HUMEDALES. . . . .	21
3.2.6. BIOLOGÍA DE LOS HUMEDALES. . . . .	22
3.2.7. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. . . . .	23
3.2.8. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN HUMEDAL. . . . .	24
<b>4. METODOLOGÍA.</b>	<b>27</b>
4.1. MUESTRA DE ANÁLISIS. . . . .	27
4.2. ARRANQUE. . . . .	27
4.3. UNIDAD A ESCALA PILOTO. . . . .	27
4.4. ALIMENTACIÓN DE LOS HUMEDALES. . . . .	30
4.5. MUESTREO. . . . .	30
<b>5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.</b>	<b>31</b>
5.1. PRIMERA ETAPA. . . . .	31
5.1.1. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO. . . . .	35
5.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO. . . . .	36
5.1.3. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES. . . . .	38
5.1.4. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL. . . . .	39
5.2. SEGUNDA ETAPA. . . . .	41
5.2.1. Demanda Química de Oxígeno. . . . .	45
5.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno. . . . .	46
5.2.3. Sólidos Suspendidos Totales. . . . .	47
5.2.4. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL. . . . .	48
5.3. TERCERA ETAPA. . . . .	49
5.3.1. Demanda Química de Oxígeno. . . . .	53
5.3.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno. . . . .	55
5.3.3. Sólidos Suspendidos Totales. . . . .	56
5.3.4. NITRÓGENO TOTAL KEJDHAL. . . . .	57

<b>6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>59</b>
6.1. PRIMERA ETAPA. . . . .	59
6.2. SEGUNDA ETAPA. . . . .	60
6.3. TERCERA ETAPA. . . . .	61
<b>7. CONCLUSIONES.</b>	<b>65</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.</b>	<b>67</b>
<b>9. ANEXOS.</b>	<b>71</b>
9.1. Resultados de Laboratorio Primera Etapa. . . . .	71
9.2. Resultados de Laboratorio Segunda Etapa. . . . .	72
9.3. Resultados de Laboratorio Tercera Etapa. . . . .	73
9.4. Estudio Fotografico. . . . .	74

## Índice de figuras

1.	Humedal. . . . .	18
2.	Humedal De Flujo Libre. . . . .	18
3.	Humedal De Flujo Superficial. . . . .	19
4.	Sistema Experimental. . . . .	28
5.	Tanque de dilución y Sedimentador. . . . .	28
6.	Humedal Convencional. . . . .	29
7.	Humedal Modificado. . . . .	29
8.	Recorrido del agua residual en el sistema de tratamiento. . . . .	30
9.	Toma de muestras en el sistema. . . . .	31
10.	Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa. . . . .	35
11.	Concentraciones de DQO. Primera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	36
12.	Concentración de $DBO_5$ en los diferentes puntos de muestreo del sistema a través del tiempo. Primera Etapa. . . . .	37
13.	Concentraciones de $DBO_5$ . Primera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	37
14.	Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa. . . . .	38
15.	Concentraciones de SST. Primera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	39
16.	Concentración de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa. . . . .	40
17.	Concentraciones de NTK. Primera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	41
18.	Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa. . . . .	45
19.	Concentraciones DQO. Segunda Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	45
20.	Concentración de $DBO_5$ en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa. . . . .	46
21.	Concentraciones de $DBO_5$ . Segunda Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	47
22.	Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa. . . . .	47
23.	Concentraciones de SST. Segunda etapa. Gráfico de Barras. . . . .	48
24.	Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa. . . . .	48
25.	Concentraciones de NTK. Segunda Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	49
26.	Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa. . . . .	53
27.	Concentraciones de DQO. Tercera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	54
28.	Concentración de $DBO_5$ en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa. . . . .	55
29.	Concentraciones $DBO_5$ . Tercera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	55
30.	Concentración de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa. . . . .	56
31.	Concentraciones SST. Tercera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	57
32.	Concentración de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa. . . . .	57
33.	Concentraciones NTK. Tercera Etapa. Gráfico de Barras. . . . .	58
34.	Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Primera Etapa. . . . .	60
35.	Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Segunda Etapa. . . . .	60

36.	Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Segunda Etapa. . . . .	61
37.	Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Tercera Etapa. . . . .	62
38.	Porcentajes de remoción en masa en las tres etapas. Humedal Modificado. . . . .	64
39.	Tanque de dilución. Primera Etapa. . . . .	74
40.	Salida Humedal. Primera Etapa. . . . .	74
41.	Sedimentador. Segunda Etapa. . . . .	75
42.	Salida Humedal Convencional y Modificado. Segunda Etapa. . . . .	75
43.	Tanque de dilución. Tercera Etapa. . . . .	75
44.	Salida Humedal. Tercera Etapa. . . . .	76
45.	Trabajo de laboratorio. . . . .	76

## Índice de cuadros

1.	Parámetros de medición. . . . .	31
2.	Concentración de DQO en mg/L Tanque. Primera Etapa. . . . .	31
3.	Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Primera Etapa. . . . .	32
4.	Concentración de DQO en mg/L H. Convencional. Primera Etapa. . . . .	32
5.	Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Primera Etapa. . . . .	32
6.	Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa. . . . .	32
7.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L Tanque. Primera Etapa. . . . .	32
8.	Concentración de $DBO_5$ Sedimentador. Primera Etapa. . . . .	32
9.	Concentración de $DBO_5$ H. Convencional. Primera Etapa. . . . .	33
10.	Concentración de $DBO_5$ H. Modificado. Primera Etapa. . . . .	33
11.	Concentraciones de $DBO_5$ en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa. . . . .	33
12.	Concentración SST en mg/L Tanque. Primera Etapa. . . . .	33
13.	Concentración de SST en mg/L Sedimentador. Primera Etapa. . . . .	33
14.	Concentración de SST en mg/L H. Convencional. Primera Etapa. . . . .	33
15.	Concentración de SST en mg/L H. Modificado. Primera Etapa. . . . .	34
16.	Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa. . . . .	34
17.	Concentración de NTK en mg/L Tanque. Primera Etapa. . . . .	34
18.	Concentración de NTK en mg/L Sedimentador. Primera Etapa. . . . .	34
19.	Concentración de NTK en mg/L H. Convencional. Primera Etapa. . . . .	34
20.	Concentración de NTK en mg/L H. Modificado. Primera Etapa. . . . .	34
21.	Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa. . . . .	35
22.	Concentración de DQO en mg/L Tanque. Segunda Etapa. . . . .	41
23.	Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa. . . . .	41
24.	Concentración de DQO en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa. . . . .	42
25.	Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa. . . . .	42
26.	Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa. . . . .	42
27.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L Tanque. Segunda Etapa. . . . .	42
28.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa. . . . .	42
29.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa. . . . .	42
30.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa. . . . .	43
31.	Concentraciones de $DBO_5$ en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa. . . . .	43
32.	Concentración de SST en mg/L Tanque. Segunda Etapa. . . . .	43
33.	Concentración de SST en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa. . . . .	43
34.	Concentración de SST en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa. . . . .	43
35.	Concentración de SST en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa. . . . .	43
36.	Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa. . . . .	44
37.	Concentraciones de NTK en mg/L Tanque. Segunda Etapa. . . . .	44
38.	Concentraciones de NTK en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa. . . . .	44
39.	Concentraciones de NTK en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa. . . . .	44
40.	Concentraciones de NTK en mg/L. H. Modificado. Segunda Etapa. . . . .	44
41.	Concentraciones NTK en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa. . . . .	44
42.	Concentración de DQO en mg/L Tanque. Tercera Etapa. . . . .	50
43.	Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Tercera etapa. . . . .	50
44.	Concentración de DQO en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa. . . . .	50
45.	Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa. . . . .	50
46.	Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa. . . . .	50
47.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L Tanque. Tercera Etapa. . . . .	50



48.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa. . . . .	51
49.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa. . . . .	51
50.	Concentración de $DBO_5$ en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa. . . . .	51
51.	Concentraciones de $DBO_5$ en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa. . . . .	51
52.	Concentración de SST en mg/L Tanque. Tercera Etapa. . . . .	51
53.	Concentraciones de SST en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa. . . . .	51
54.	Concentraciones de SST en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa. . . . .	52
55.	Concentraciones de SST en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa. . . . .	52
56.	Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa. . . . .	52
57.	Concentración de NTK en mg/L Tanque. Tercera Etapa. . . . .	52
58.	Concentración de NTK en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa. . . . .	52
59.	Concentración de NTK en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa. . . . .	52
60.	Concentración de NTK en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa. . . . .	53
61.	Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa. . . . .	53
62.	Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Primera Etapa. . . . .	59
63.	Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Tercera Etapa. . . . .	61
64.	Porcentajes de remoción en masa del Humedal Convencional en cada etapa. . . . .	63
65.	Porcentajes de remoción en masa en las tres etapas. Humedal Convencional. . . . .	63
66.	Porcentajes de remoción en masa del Humedal Modificado en cada etapa. . . . .	63
67.	Punto de Muestreo, $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Primera etapa. . . . .	71
68.	Punto de Muestreo, $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Segunda Etapa. . . . .	72
69.	Punto de Muestreo, $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Tercera Etapa. . . . .	73

## Resumen

La contaminación es la presencia de sustancias en los ecosistemas, que por sus características afectan de manera negativa las condiciones ambientales y la configuración de la biodiversidad, desde la llegada de la era industrial, la contaminación se ha multiplicado y globalizado.

La actividad porcícola es una de las actividades agrícolas que generan mayor contaminación de tipo orgánico, dada la composición propia del agua generada en los procesos que se llevan a cabo en la cría de cerdos, pues en estas tareas se generan excrementos, orina y residuos de comida en gran cantidad (Sánchez et al, 2002), los cuales hacen que el agua residual presente considerables concentraciones de microorganismos patógenos, materia orgánica, fósforo, potasio y nitrógeno (FAO, 1994).

En la actualidad las granjas porcinas, principalmente las grandes, usan como sistemas de tratamiento, tamices para la separación de sólidos seguidos de biodigestores, estos últimos han logrado aceptación por su fácil operación y bajo costo. Sin embargo, estos sistemas resultan insuficientes para alcanzar las eficiencias de referencia exigidas en la legislación. (Ministerio del Medio Ambiente, 2002- Decreto 1594 de 1984).

La problemática ambiental producida por el vertimiento de residuos biológicos y químicos a las afluentes de agua, se ha convertido en un tema a tratar, ya que la contaminación que estos producen al ambiente y a la población son nefastas, por lo que se están buscando alternativas menos costosas, para la descontaminación del agua como: la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales; la utilización de lodos; una de estas alternativas es la implementación de humedales artificiales, ya que los humedales artificiales o naturales, mediante procesos biológicos degradan la materia orgánica, el cual es el principal contaminante de las aguas residuales. (Los Humedales en Risaralda-Andrés A. Duque N, Jaime Andrés Carranza).

Este trabajo estudió la eficiencia de la remoción de materia orgánica, en un sistema piloto de humedales híbridos (flujo vertical y flujo horizontal), los cuales fueron utilizados como post-tratamiento del agua residual de la porcícola el Cortijo, ubicada en el sector rural de Santa Rosa de Cabal, Risaralda-Andrés Colombia.

Se evaluaron dos humedales híbridos, sembrados con la especie *Phragmites Australis*, con condiciones de operación iguales; para la determinación de la remoción de materia orgánica se realizaron los siguientes análisis: demanda química de oxígeno (DQO) por método fotométrico de refluo cerrado, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) por oxitop, nitrógeno total (NT) por el método Kjendhal, y sólidos suspendidos totales (SST) por el método gravimétrico. (Standard Methods).

Con este trabajo se pudo caracterizar el agua proveniente de los humedales, y a partir de ello hallar la remoción de la materia orgánica, lo cual permitió determinar la eficiencia de estos en el tratamiento de aguas industriales del sector porcícola; este documento posee información acerca de los humedales híbridos y su funcionamiento en el tratamiento de aguas residuales para el sector porcicultor.

## INTRODUCCIÓN.

A lo largo de los años el incremento en la generación de aguas residuales, ha llevado a buscar nuevas alternativas en cuanto a: depuración eficiente de la materia contaminante, sistemas económicamente viables y de fácil manejo, una de estas alternativas, es el tratamiento de dichas aguas, en humedales artificiales, los cuales semejan las condiciones de un humedal natural, además de cumplir las funciones de estos, como fijar físicamente la materia orgánica y los contaminantes a el suelo, utilizar y transforman los elementos del agua, por intermedio de microorganismos, y lograr la remoción de los contaminantes con bajos niveles de energía y mantenimiento.

Los humedales son sistemas naturales o artificiales que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales; tanto los primeros como los segundos, son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas, la vegetación que crece en estas aguas, proporciona la formación de películas bacterianas, lo cual facilita la adsorción de la materia orgánica presente en el agua residual.

Los humedales artificiales tienen como objetivo replicar las características y capacidad de reciclaje de los pantanos de aguas naturales, este tipo de sistemas varía de acuerdo al terreno y el contaminante a tratar, hay que tener en cuenta el tipo de flujo de agua de los humedales ya que estos pueden ser diferentes: horizontal, vertical, subsuperficial; para este trabajo se utilizaron humedales híbridos, los cuales están compuestos por un flujo de agua vertical y horizontal dentro del mismo sistema, de acuerdo a esto, la combinación de estos tipos de humedales obtiene buenos rendimientos en la eliminación de DQO, fósforo, metales pesados, microorganismos patógenos; y se mejora la eliminación de nitrógeno al favorecer la nitrificación-desnitrificación y posterior volatilización del nitrógeno gaseoso. Para un óptimo diseño de estos sistemas, se hace necesario un buen conocimiento de la cinética de eliminación de cada uno de los contaminantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca encontrar alternativas eficientes y viablemente económicas en el tratamiento de las aguas residuales desechadas por una porcícola, ya que estas empresas, generan una carga muy alta de contaminantes químicos y biológicos que no deben ser vertidos en los afluentes de aguas naturales, debido a que se pone en riesgo la salud y el medio ambiente, por lo que se muestra como alternativa un sistema piloto de humedales híbridos, los cuales, son sistemas con remociones de materia orgánica eficientes, de bajos costos y fácil operación y mantenimiento, comparado con sistemas de tratamiento convencionales.

## 1. JUSTIFICACIÓN.

Este trabajo se desarrolla para buscar alternativas eficientes y económicas, para el tratamiento de aguas residuales, ya que el vertimiento de las mismas en los ríos, causa un impacto ambiental muy alto y los medios convencionales para el tratamiento de aguas residuales son muy costosos. También se realiza para contribuir a la descontaminación de los afluentes de agua, el mejoramiento de estas, y el cumplimiento con los parámetros ambientales instaurados por la normatividad colombiana.

La utilización de recursos renovables y no renovables en el mundo, se da indiscriminadamente, por lo que el agotamiento y contaminación de estos, se convierte en un grave problema ambiental.

La utilización del agua proveniente de afluentes naturales de carácter ribereño, es aprovechada por la comunidad agrícola en gran parte, por lo que la contaminación de quebradas, lagunas o estanques, no solo es un problema ambiental, ya que los pobladores de estos lugares consumen agua de este tipo de afluentes, y al no haber un tratamiento de estas aguas antes de su consumo, no se garantiza la desaparición de agentes patógenos y químicos, los cuales son perjudiciales para la salud.

La actividad porcícola, es uno de los sectores que resulta de gran interés para mejorar los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, por el aporte de descargas contaminantes a las microcuencas aledañas de las granjas donde se lleva a cabo la actividad. El daño ambiental generado por las labores realizadas en la porcicultura, tiene implicaciones en el suelo, agua y aire, ya que a partir de esto se producen problemas de olores, plagas y enfermedades.

Para el tratamiento de aguas residuales hay múltiples opciones, como la construcción de plantas de tratamiento, la utilización de lodos, las lagunas, los humedales, y demás, el sector porcicultor es uno de los sectores que más produce aguas residuales industriales, por lo que se necesita crear un sistema de depuración que cumpla con la normatividad exigida específicamente para la porcicultura.

Ante el impacto ambiental observado, se implementa la utilización de un humedal híbrido, para obtener un mayor rendimiento, debido a la unión del flujo horizontal y vertical del agua en un mismo humedal, con esto se busca una mayor remoción de la carga orgánica, la cual es el principal contaminante del agua, y la desaparición de agentes tóxicos.

La remoción de la carga orgánica se caracteriza por medio de pruebas químicas, lo cual permite la determinación de la concentración del agua en parámetros específicos, cuando es desechada y luego de pasar por el humedal, las pruebas químicas a realizar son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT).

Se espera que por medio de estos análisis se pueda tener conocimiento de las concentraciones del agua, y así, poder caracterizar la misma, para obtener el rendimiento del humedal en términos de carga orgánica.

## **2. OBJETIVOS.**

### **Objetivo general.**

- Determinar el efecto que tiene el tipo de humedal híbrido (convencional y modificado) en las eficiencias de remoción de materia orgánica, con aguas residuales provenientes de una porcícola.

### **Objetivos específicos.**

- Evaluar la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) y SST de dos humedales híbridos construidos (convencional y modificado).
- Determinar el comportamiento de la eficiencia del sistema piloto, teniendo en cuenta la variación de la carga orgánica por medio de diluciones en el afluente.

### **3. MARCO DE REFERENCIA.**

#### **3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.**

A finales del siglo XIX la revolución industrial había estimulado el crecimiento de las ciudades así como, la costumbre de arrojar el agua residual a los ríos cercanos, convirtiéndolos en pozos negros y como la mayor parte del agua potable se tomaba de los mismos ríos contaminados, surgieron epidemias y por lo tanto la primera preocupación real por la contaminación en aguas (Arcos et al., 2000).

Durante los años cincuenta fueron descubiertos principalmente en Alemania, los humedales naturales, los cuales son capaces de remover gran cantidad de contaminantes y en los últimos años se han desarrollado prácticas e investigaciones para optimizar e implementar el sistema de manera artificial.

Para el tratamiento de los desechos líquidos y sólidos porcinos en el ámbito mundial se han aplicado esquemas completos que incluyen el rehúso de estos desechos; Utilizándolos para el tratamiento de las aguas residuales porcinas en su gran parte procesos biológicos y muy poco los químicos. Los procesos biológicos utilizados en su mayoría se han enfocado en la remoción de materia orgánica (digestores anaerobios, lagunas anaerobias y facultativas), nutrientes (biofiltros) y bacterias coliformes (lagunas aerobias).

##### **3.1.1. CONTAMINACIÓN.**

Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Romero et al., 2009).

La EPA (Environmental Protection Agency) (1988) define como los principales contaminantes de las aguas residuales bajo las siguientes categorías: Nitrógeno, Fósforo, Organismos Patógenos, Metales Pesados y trazas de compuestos orgánicos.

El impacto ambiental creado por las labores realizadas en la porcicultura, tiene implicaciones en el suelo, agua y aire, ya que a partir de esto se generan problemas de olores, plagas y enfermedades. Para efectos del recurso hídrico, las actividades elaboradas en la alimentación de los cerdos y el lavado de las porquerizas, son la que aportan la mayor carga contaminante, debido a que en estas tareas se contribuye con excrementos, orina y residuos de comida en gran cantidad (Sánchez et al, 2002). Las características del agua residual generada en las porcícolas, dependen de las condiciones fisiológicas de los animales (tamaño, edad y raza) y los alimentos (contenido de proteínas y fibras), del mismo modo el ambiente en el que se desarrollan los cerdos juega un papel importante (Fernández et al, 2002).

En investigaciones realizadas por Taiganides en 1992 (citado por Pérez), fueron cuantificados por unidad de producción animal, en un aporte de 55 % de heces fecales y 45 % de orina, convirtiendo el agua residual generada en un gran contribuyente de microorganismos patógenos, metales pesados (cobre y zinc), materia orgánica, fósforo, potasio y nitrógeno (FAO, 1994).

##### **3.1.2. CONTAMINACIÓN.**

Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios). Comúnmente las aguas residuales suelen clasificarse como:

- Aguas Residuales Municipales: Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.
- Aguas Residuales Industriales: Las Aguas Residuales provenientes de las descargas de Industrias de Manufactura.

### **3.1.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.**

Este tipo de aguas son procedentes de cualquier actividad industrial en cuyo proceso se utilizó agua, ya sea en la producción, transformación o manipulación, incluyendo los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje.

El tratamiento de aguas industriales, es quizá una de las operaciones más comunes que existe en toda industria, ya sea para cumplir normas ambientales o para producir agua de calidad para usar en el proceso, la eliminación de aguas residuales industriales, puede producir alteraciones ecológicas de acuerdo a la concentración de contaminantes que contenga.

La legislación establece límites de seguridad y normas para el volcado de efluentes a los cursos de agua, esto se hace para regular la contaminación de los vertimientos a los efluentes de agua.

### **3.1.4. CONDICIONES GENERALES DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.**

Las aguas residuales industriales, provienen en sí de diferentes efluentes industriales en los procesos productivos realizados a nivel empresarial y micro-empresarial, contienen dependiendo del proceso o utilización del agua casi todos los tipos de contaminantes asociados a la polución de la misma entre los que se cuentan: minerales (Pb, Mg, Cu, Hg), compuestos orgánicos (hidrocarburos, fenoles, alcoholes), organismos microbiológicos (bacterias, virus y protozoarios) procesos térmicos y de refrigeración.

Las aguas residuales agropecuarias, provienen de diversos procesos productivos agrícolas, pecuarios y agroindustriales. El tipo de contaminantes presentes en estos efluentes son los residuos de pesticidas, fertilizantes, materia orgánica y microorganismos. Pueden contaminar pozos y aguas subterráneas cercanas (PNUMA, 2000).

Los compuestos hallados al interior de las aguas residuales se pueden clasificar en tres grupos: físicos, químicos y biológicos; Dentro de los componentes físicos se pueden encontrar los sólidos (agrupan nueve categorías), la turbiedad, el color, la temperatura, densidad y la conductividad eléctrica. Dentro de las características químicas prevalecen dos grupos inorgánicos y orgánicos, en las características inorgánicas se encuentran el amonio libre, nitrógeno orgánico, nitrógeno total, nitritos, nitratos, fósforo total, pH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, metales y gases disueltos; las características orgánicas contemplan: La demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y oxígeno disuelto. Por último dentro de las características biológicas se encuentran los organismos coliformes y microorganismos como bacterias, virus y protozoos. (Metcalf y Eddy, 2003; Romero, 2000).

### **3.1.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GRANJAS PORCICOLAS.**

#### **ANTECEDENTES HISTÓRICOS.**

La actividad porcina es una de las actividades más antiguas de la producción animal, la cual se ha sostenido hasta nuestros días constituyéndose en la principal fuente de proteína de origen animal en el mundo, con una producción del 38.9% de las carnes y un consumo per cápita de 15.01 kg (año 2.000-Guía Ambiental para el Subsector Porcícola).

En el país las primeras granjas porcícolas con criterio empresarial se establecen hacia 1950, pero solo a partir de la década del 70 y comienzos del 80, es cuando se empieza a desarrollar esta industria en Colombia. Se establecen granjas de gran tamaño, las cuales manejan razas de animales importados y se da un gran desarrollo de esta industria en el departamento de Antioquia. Es importante señalar el desplazamiento de explotaciones tradicionales por granjas porcícola con un buen manejo tecnológico, convirtiéndose en granjas de carácter comercial. Este hecho tiene mucho que ver con la importancia de la actividad porcícola para el desarrollo de otras actividades agrícolas; por ejemplo la utilización del estiércol como abono orgánico para mejorar la calidad de las tierras, además del ingreso adicional que se recibe por la venta de los cerdos. Esta integración con otras actividades se dio sobre todo en lugares

como Don Matías, Santa Rosa, Yarumal, San José, regiones donde la tierra es árida y que al mejorar la calidad de ésta se favoreció la lechería y los cultivos de maíz, frijol y hortalizas.

Actualmente la porcicultura tecnificada se encuentra distribuida de la siguiente manera: casi la mitad de las granjas se encuentran ubicadas en el departamento de Antioquia con el 49.3 % del total, las otras regiones que le siguen en número, tienen una participación mucho más baja, que apenas alcanza el 15.4 % en la región central (Cundinamarca, Huila y Tolima), el 13.6 % en el Valle del Cauca y Cauca, 11 % en la región oriental (Santander, Boyacá, Meta y Casanare) y 7 % en la región cafetera (Caldas, Quindío y Risaralda). La participación más baja corresponde a la Costa Atlántica con tan sólo el 4.1 % de las granjas. La situación es muy similar, en cuanto al inventario se refiere, aunque baja algo la participación de Antioquia para situarse en 46.7 % y la de la región oriental en 7.4 % y sube la de Valle del Cauca y Cauca al 18 %, la región central al 16 % y de la región cafetera al 8.4 %. La Costa Atlántica se mantiene con el mismo 4 %.

### **3.1.6. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y TRATAMIENTO.**

En la medida en que el crecimiento de la industria porcícola ha ido en aumento y concentrándose en ciertas regiones del país han surgido algunos inconvenientes con el manejo de los residuos generados. Estos residuos pueden ser de tipo orgánico (estiércol sólido o fresco y animales muertos) o inorgánicos (jeringas, envase de residuos biológicos, frascos, empaques, etc.). Pero sin lugar a dudas uno de los residuos que genera mayor controversia es la excreta porcina debido al volumen generado y a sus características físico-químicas que dificultan su manejo.

Uno de los problemas principales que se genera en los residuos emitidos por las granjas porcícola, es el agua que resulta del lavado de las cocheras, esta debe ser tratada para su posterior vertimiento en las afluentes de aguas naturales, el principal tratamiento que se da a los residuos emitidos por las porcícola, consta de pre tratamientos al agua los cuales consisten en procesos de floculación, y remoción de turbiedad y color, así como tratamientos directos con el agua mediante biodigestores para obtener gas metano y fertilizantes orgánicos, posteriormente el agua que sale de los biodigestores es tratada ya sea con tratamientos del tipo de una planta de aguas residuales, los cuales son muy costosos, o con tratamientos menos costosos y con la misma efectividad, los cuales buscan no afectar gravemente el medio ambiente.

Para el tratamiento de los desechos líquidos y sólidos porcinos en el ámbito mundial se han aplicado esquemas completos que incluyen el rehúso de estos desechos, utilizando para el tratamiento de las aguas residuales porcinas en su gran parte procesos biológicos y muy poco los químicos. Los procesos biológicos utilizados en su mayoría se han enfocado en la remoción de materia orgánica (digestores anaerobios, lagunas anaerobias y facultativas), nutrientes (biofiltros) y bacterias coliformes (lagunas aerobias). Utilizando las excretas porcinas se han generado mejoradores de suelo (composteo y vermicomposteo); Las excretas también han sido recicladas en la preparación de alimento para rumiantes, la elección técnica de un sistema de tratamiento depende de la calidad del agua que se quiera generar, el uso a la que se destine y de las características particulares de la granja, la elección más práctica depende del presupuesto del porcicultor.

Hay que tener en cuenta la cantidad de excrementos producidos por un cerdo, ya que estos dependen de muchos factores, como la madurez fisiológica, edad del animal, cantidad y calidad de alimento que consume, agua, el ambiente, entre otros, por lo cual dependiendo de estos factores se debe escoger el proceso para reducir el impacto ambiental más adecuado.

Una de las áreas más prometedoras de las investigaciones se encuentra en los procesos anaerobios que en los últimos años se han vislumbrado como una solución para muchas de las aguas residuales que representan grandes cargas orgánicas contaminantes como son los desechos porcícola, que se encargan en una primera etapa de la remoción de la mayor parte de esta carga contaminante.

Los humedales naturales como artificiales, han sido también utilizados para el tratamiento de aguas residuales, ya que su eficiencia de remoción de contaminantes es alta, y poseen un bajo costo de



instalación y mantenimiento, los humedales naturales se encuentran en el ecosistema y depuran el agua que se encuentra a su alrededor, los humedales artificiales son creados por el hombre, para obtener los beneficios de los que se encuentran en la naturaleza, todo humedal debe estar sembrado con plantas hidrófitas las cuales crecen en un medio parcialmente inundado del agua a tratar, ya que la planta absorbe la materia orgánica contaminante para crecer, y de la misma manera libera el agua residual de sus contaminantes.

## **3.2. MARCO TEÓRICO.**

### **3.2.1. HUMEDALES.**

La definición de humedal, según la convención de Ramsar señala:

Son humedales las extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces solobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros. Podrán comprender zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad no superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal. (Referencia de los humedales en Risaralda – Andrés A. Duque N, Jaime Andrés Carranza)

Los humedales son ecosistemas permanentes o temporales en los que convergen los medios acuático y terrestre, caracterizándose por el alto grado de saturación del suelo por agua. Según este, en ellos se observan zonas predominantemente húmedas, semihúmedas y secas. Son humedales las riberas fluviales, estuarios, zonas intermareales, lagos, pantanos, charcos y chucuas. En ellos la convergencia de agua y suelo es propicia para el desarrollo de formaciones vegetales heterogéneas, lo que les confiere alto grado de biodiversidad manifiesta en una biota singular.

Por su alta capacidad de absorción de agua, los humedales actúan como esponjas que retienen aguas durante las temporadas lluviosas, amortiguando las inundaciones y manteniendo reservas de aguas para las temporadas secas. Adicionalmente, son trampas naturales para retención de sedimentos; aportan agua a los acuíferos (depósitos y corrientes de agua subterráneas); surten agua a quebradas y manantiales; y mejoran la calidad del agua gracias a su capacidad filtradora. Los humedales proveen hábitat a múltiples especies vivientes lo que representa un gran valor del recurso ambiental con incidencia ecológica, científica, recreacional y paisajística.

### **3.2.2. TIPOS DE HUMEDALES.**

Dentro de los tipos de humedales, se encuentran: Humedales naturales, humedales marinos, humedales ribereños, humedales estuarios, humedales lacustres, humedales palustres, humedales con flujo horizontal superficial con plantas flotantes, humedales con flujo horizontal superficial con plantas emergentes. Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron humedales artificiales, con flujo subsuperficial horizontal, y subsuperficial vertical, en la misma unidad de tratamiento (H. Modificado), y como unidades de tratamiento diferentes (H. Convencional).

A continuación se menciona los diferentes tipos de humedales.

- **HUMEDALES ARTIFICIALES:** Este tipo de sistemas son construidos por el hombre, para reproducir las características de los humedales naturales, y aprovechar el gran potencial de estos en la descontaminación de aguas residuales.

Los humedales artificiales son áreas que se encuentran llenas de agua con plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos y enneas (Figura1) que aprovechan las interacciones con los microorganismos.

mos y la atmósfera para remover la materia orgánica. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas y permite la transferencia de oxígeno.

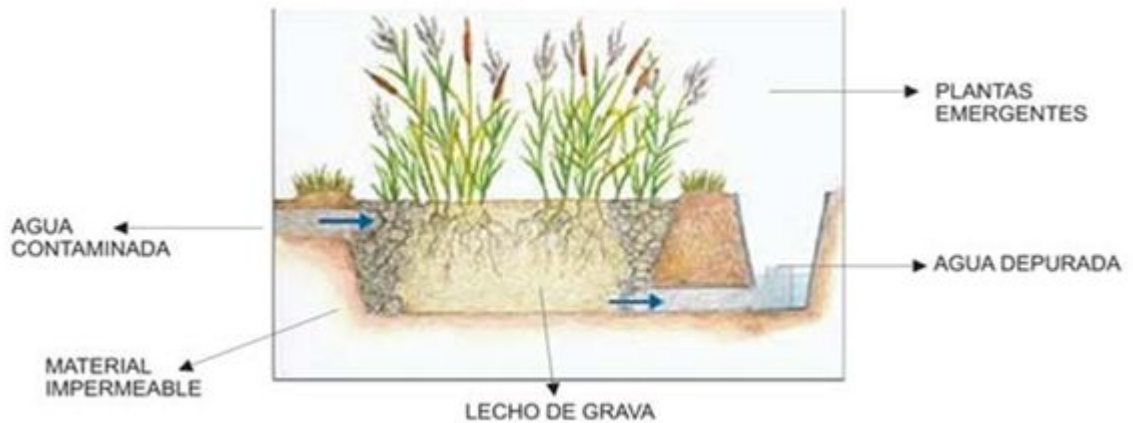


Figura 1: Humedal.

Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento del agua residual:

- SISTEMAS DE FLUJO LIBRE (FWS):** En el cual el nivel del agua está sobre la superficie del medio de soporte, el flujo de agua pasa a través de la grava y de la vegetación que incluye juncos, cañas, espadañas y enneas, que están sembradas y fijas. Los tallos, hojas y raíces proporcionan el oxígeno al humedal (Figura2).

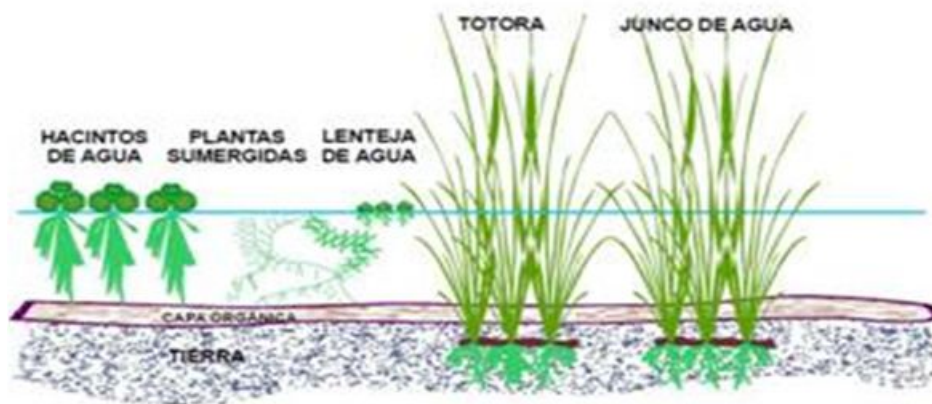


Figura 2: Humedal De Flujo Libre.

- SISTEMAS DE FLUJO SUPERFICIAL (SFS):** Está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado; la vegetación emergente es la misma del FWS. El nivel del agua está por debajo de la superficie del soporte, el agua fluye únicamente a través

del lecho de grava que sirve para el crecimiento de la película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho (Figura3).

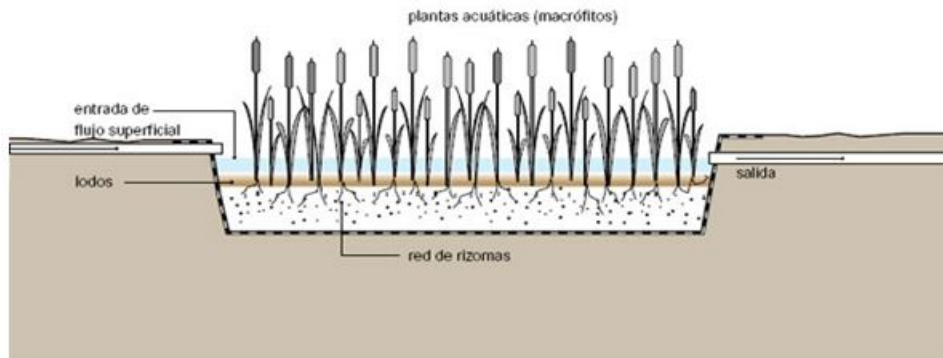


Figura 3: Humedal De Flujo Superficial.

- **HUMEDAL HÍBRIDO:** Este tipo de sistema consta de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y subsuperficial vertical, son llamados sistemas híbridos porque son la unión de dos sistemas diferentes y este tipo de sistemas trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los tipos de humedales que conforman el conjunto, para obtener el mayor rendimiento posible y para que la remoción de materia orgánica sea más eficaz; en los humedales de flujo vertical el lecho está insaturado de agua por lo que se dan procesos aerobios por el contacto aire-agua, y en los humedales de flujo horizontal el lecho está saturado completamente por lo que se dan procesos de desnitrificación, fermentación y proceso anaerobios, ya que el contacto entre el aire y el agua está impedido por la misma saturación del lecho.
- **HUMEDALES CON FLUJO VERTICAL:** En los sistemas de flujo vertical el agua residual es dirigida hacia la superficie de la unidad y allí se percola de manera vertical a través del medio filtrante hasta el fondo donde una serie de ductos recoge el agua tratada, la alimentación se realiza a menudo de manera intermitente y el flujo es normalmente en medio no saturado.

Son frecuentemente plantados con (PHRAGMITES AUSTRALIS) caña común, aunque otras plantas emergentes como las TYPHA y el JUNCO pueden ser usadas, el lecho drena completamente libre permitiendo la entrada de aire, y este junto con la aireación causada por la rápida dosificación en el lecho conduce a una buena transferencia de oxígeno y de aquí la habilidad para descomponer  $DBO_5$ .

- **HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL:** Un humedal de flujo subsuperficial es considerado como un reactor biológico, como una “biopelícula sumergida”, en este tipo de humedales el agua entra por los extremos, y se reparte, atravesando la zona de siembra con helófitos, en el otro extremos el agua es recogida por el fondo; El nivel máximo es regulado de manera que la lámina de agua no aflore, y se mantenga unos centímetros por debajo del material utilizado para la siembra, haciendo posible las visitas al humedal y evitando la proliferación.
- **HUMEDALES CON FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL:** El sistema de flujo subsuperficial normalmente se le aplica agua residual pre tratada en forma continua y el tratamiento se produce durante el paso de agua a través del medio filtrante y raíces de la vegetación.

Como el nivel del agua está por debajo de la superficie se evita problemas de olores y de mosquitos, la capacidad hidráulica de este sistema se mantiene por la red de raíces y rizomas de las plantas que crecen y mueren.

### 3.2.3. CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES.

Las consideraciones más importantes según la EPA (2000) y Alianza por el Agua (2008) para tener en cuenta en la construcción de humedales son las siguientes:

- La Impermeabilización .
- Vegetación.
- Estructura de entrada y salida.

### 3.2.4. COMPONENTES DE UN HUMEDAL.

Los humedales están contruidos con un diseño de cubeta, que siempre contienen agua, medio filtrante, sustrato y plantas; también posee componentes de gran importancia para su función, como son, la película de microorganismos.

A continuación se enumeran los componentes de un humedal.

- **AGUA:** El agua es el principal componente del humedal, y es la que brinda el soporte a los procesos biológicos que se desarrollan dentro del mismo. (Lara, 1999).
- **MICROORGANISMOS:** Los microorganismos tienen un papel esencial que juega en todos los sistemas de tratamiento de aguas servidas a partir de las plantas. Ya sean aerobias o anaerobias, consumen la parte de las aguas servidas para transformarlas en dióxido de carbono ( $CO_2$ ), principalmente; para las bacterias aerobias y también metano para las bacterias anaerobias. Mientras sea posible mantener las condiciones secuenciales aerobias y anaerobias, las bacterias nitrificantes van a transformar el nitrógeno amoniacal en nitritos y en nitratos en las zonas aireadas y las bacterias desnitrificantes van a permitir la formación de los nitritos y nitratos en nitrógeno gaseoso en las zonas aerobias. Los microorganismos crean además paredes biológicas que facilitan la sedimentación de las partículas y juegan un papel importante en la remoción de los sólidos suspendidos totales, principalmente en los sistemas de flujo superficial (Lara 1999).
- **MACROFAUNA:** Los humedales contruidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentado el detritus al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad de agua, los humedales contruidos también atraen a una gran variedad de anfibios y mamíferos. (OPS 1.999; Lara J 1.999).
- **SUELO:** Es la primera parte de almacenamiento de las sustancias que van a usar las plantas; estos suelos son llamados suelos hídricos y se definen como: suelos que generan condiciones anaerobias al estar inundados o saturados de agua todo o durante parte del periodo anual. Existen dos tipos de suelos: suelos minerales o suelos orgánicos, estos últimos poseen el material orgánico que representan más del 30 % en peso en un análisis de suelo seco, debajo de este valor se consideran suelos minerales (Mistch &Gosselink, 2000).

- **PLANTAS:** En los sistemas de tratamiento que requieren el paso del agua servida a través del suelo; los rizomas y raíces de las plantas emergentes juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la capacidad hidráulica del suelo. En efecto su actividad mecánica permite desplazar el suelo y romper las capas colmatantes. La muerte de las raíces favorece el desarrollo de túneles que facilitan el flujo a largo plazo. (OPS 1.999; Lara J1.999).
- **ORGANISMOS:** Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones están altamente reguladas por los microorganismos y sus metabolismos; Al generarse condiciones anaerobias dentro del humedal, los diferentes organismos que allí habitan deben adaptarse a este difícil ambiente, esta adaptación requiere de un gasto importante de energía generando que éstos trabajen con menos eficiencia. A nivel celular todos los organismos tienen una adaptación similar, sin embargo los organismos unicelulares son los que muestran mejores resultados. La adaptación de estos organismos incluye la habilidad para respirar anaeróbicamente, depurar los productos finales del metabolismo anaerobio, usar los productos orgánicos reducidos como fuentes de energía y usar los elementos minerales de los sedimentos como aceptores de electrones, cuando el oxígeno no está presente. (Romero, 2000).
- **GRANULOMETRÍA DEL MEDIO:** Para los sistemas de flujo en el suelo la granulometría del medio filtrante es muy importante, esta controla la capacidad hidráulica del sistema y afecta de manera no despreciable los resultados, si la remoción de fósforo no es un problema prioritario, el medio filtrante deberá ser arena y gravilla sin silicio, ni arcilla, si lo que se pretende lograr es la desfosfatación debe priorizarse los suelos con una fuerte composición en hierro.

### 3.2.5. QUÍMICA DE LOS HUMEDALES.

**ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN:** Los sólidos se El principal objetivo de un humedal es la depuración de materia orgánica, mediante reacciones químicas y biológicas que ocurren dentro del mismo, la depuración de la materia orgánica hace referencia a la eliminación de la carga orgánica (agentes químicos y biológicos), del agua residual luego de ser tratada en el humedal, este tipo de eliminación de materia orgánica se conoce como fitodepuración, el sufijo Fito, hace alusión a que se trata de plantas.

Las reacciones químicas y biológicas que se deben dar para la depuración de la materia orgánica de un humedal, depende de la planta y del medio en el que se encuentre, ya que estas actúan en el agua residual, adsorbiendo los contaminantes orgánicos, los cuales son vitales para el proceso de crecimiento de la planta.

Los principales mecanismos de depuración que actúan en un humedal son los siguientes:

- **ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO:** El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por las plantas y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación-desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.
- **ELIMINACIÓN DE FÓSFORO:** El fósforo se elimina por absorción por las plantas, adsorción sobre las partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles, principalmente con Al y Fe, en suelos ácidos y con calcio en suelos básicos.
- **ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS:** Por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación ultravioleta contenida en las radiaciones solares.

- **METALES DE TRAZA:** Tienen una alta afinidad por adsorción y complejación con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales, también existen transformaciones microbianas y asimilación por las plantas.
- **ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA:** La eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de las plantas y que reciben el oxígeno a través del sistema de aireación de la planta, una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación.

## **FITODEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.**

La fitodepuración de las aguas residuales puede efectuarse por humedales naturales, en los que el hombre no interviene en su construcción o mediante humedales artificiales especialmente diseñados y construidos para la optimización de su función depuradora.

Estos sistemas consisten normalmente en un cultivo de plantas dispuestas en tanques, lagunas o canales poco profundos, el efluente normalmente después de recibir un tratamiento primario, pasa a través del humedal durante algún tiempo adecuado, el cual es el tiempo de retención, donde el efluente es tratado por procesos físico-químicos y bacteriológicos; El oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos, es suministrado por las plantas del humedal, el cual es producido por medio de la fotosíntesis, o tomado simplemente del aire; el agua al estar en continuo movimiento no produce malos olores, ni se generan lodos de una manera significativa, ya que los lodos que produce el sistema, este mismo los asimila.

Los humedales artificiales utilizados para la fitodepuración, se dividen en tres grupos, dependiendo del tipo de plantas que se utilicen en estos:

1. Sistemas que utilizan plantas anfibias o helofitas, las cuales están enraizadas en el suelo del humedal (sistema de flujo superficial) o en los lechos de grava o arena, por donde circula el agua residual.
2. Sistemas que utilizan plantas flotantes sobre la superficie del agua.
3. Sistemas que utilizan plantas anfibias, directamente bañadas por el agua.

Este tipo de sistemas tienen la gran ventaja de ser naturales, capaces de eliminar sólidos en suspensión, materia orgánica, los elementos que enriquecen de nutrientes el agua, y los microorganismos patógenos.

### **3.2.6. BIOLOGÍA DE LOS HUMEDALES.**

La inmensa mayoría de las sustancias contaminantes, bien sean gaseosas, líquidas o sólidas, son susceptibles de contaminar la hidrosfera, la extensión del problema estará no obstante con el grado de solubilidad del producto polucionante, aunque realmente la experiencia nos demuestra que también algunas sustancias de poca o ninguna solubilidad en el agua son capaces de afectar la biocenosis marina.

Hay tres tipos entre los diversos contaminantes de las aguas:

- Agentes biológicos: Microorganismos y materias orgánicas fermentables.

- Agentes químicos: Una amplia variedad de productos tóxicos que modifican el equilibrio ecológico de las aguas.
- Agentes físicos: Calor y radioactividad.

Los agentes biológicos son el resultado del vertido a las aguas continentales o litorales de una gran variedad de sustancias orgánicas fermentables de origen diverso, efluentes urbanos e industriales, aguas fecales, aguas procedentes de industrias azucareras o papeleras, porcícola.

La polución biológica de las aguas en muchos casos es una intensa contaminación biológica dando por ende problemas de salud pública; la gran contaminación biológica genera colibacteriosis, gastroenteritis, hepatitis virales.

Los humedales son biomasa en donde crecen plantas y hay distintos tipos de especies microbianas en ellos; la mayoría de estos sistemas se encuentran en las riveras de los ríos, o en zonas donde haya una alta humedad, con el proceso de industrialización los desechos de las aguas utilizadas en diferentes procesos, se dio en ríos y demás afluentes cercanos a las industrias, por lo que se generan contaminantes químicos y biológicos en las aguas, la aparición de materia orgánica en el agua permite a los microorganismos patógenos su multiplicación de manera exponencial, ya que el agua contaminada sirve de caldo cultivo-inocuo que provoca la proliferación de los agentes patógenos en el agua.

La capacidad de purificación del agua en los humedales por medio de los microorganismos propios de su diversidad biológica contribuye con la degradación de los contaminantes del agua vertidos al humedal, dando así un aporte significativo en la remoción de materia orgánica.

Esta remoción se da mediante el proceso de remoción biológico de las plantas del humedal, el cual depende de la captación de la planta sembrada en el mismo, la velocidad de remoción de los contaminantes, dependen de la velocidad con la que la planta crezca y la concentración de la materia que contamina en el tejido de la planta, los microorganismos que se encuentran en el humedal, utilizan la materia orgánica del agua como fuente de energía, convirtiéndola en dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ); la eficiencia y la degradación orgánica del carbono por los microorganismos, varía por la variedad de compuestos orgánicos que se encuentran en el agua residual a tratar, el metabolismo de los microorganismos también puede remover el nitrógeno inorgánico, algunas bacterias como las pseudomonas transforman los nitratos en gas nitrógeno; y la mayoría del nitrógeno se pierde en la atmósfera.

### 3.2.7. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

**TEMPERATURA:** La temperatura en un humedal es un factor determinante para el desarrollo de muchas actividades físicas y biológicas, si se da un aumento considerable en la temperatura se produce un incremento en la producción del nitrógeno amoniacal, acelera muchas reacciones químicas y biológicas, disminuye el oxígeno soluble, además de proporcionar una mayor tensión de vapor de saturación, y se generan olores desagradables en el humedal, por la producción de metano, ácido sulfúrico y materia orgánica parcialmente oxidada. (Lara 1999).

**POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):** El pH es un parámetro que brinda información pertinente de las cualidades ácidas o alcalinas que son provocadas por procesos bióticos, abióticos y bioquímicos (Álvarez 2005); En los humedales el cambio de pH se debe a la presencia de algunos ácidos como el anhídrido carbónico, el cual se produce en la mineralización de la materia orgánica o la producción de amoníaco en los procesos de remoción del nitrógeno (OPM, 2010).

**CAUDAL (Q):** El caudal es una de las variables de gran interés, puesto a que su cuantificación se puede calcular rendimientos, consumos y planeaciones estratégicas para el trabajo en los humedales (Alianza por el Agua, 2008). Su definición se basa en el volumen de agua que pasa a través de una

sección en un determinado tiempo y sus unidades en volumen son (litros, mililitros, metros cúbicos, etc.) por unidad de tiempo (Minutos, segundos, días. . .)  $Q = V / t$ .

**DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO:** La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida aproximada de cuantificación del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua residual. Se realiza mediante un proceso de oxidación inducida, utilizando oxidante químicos como el Dicromato de Potasio. La DQO como parámetro de análisis, posee rendimientos muy exactos, pero ciertos compuestos (básicamente volátiles) como la piridina, los alcanos y las ligninas, son resistentes a estos procesos; por lo anterior, la DQO se encuentra en una relación no menor del 95 % con respecto a la materia orgánica existente en las muestras.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO:** La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se constituye como una estimación semi-cuantitativa de la cantidad de materia fácilmente oxidable por una población de microorganismos contenida en una muestra de agua residual (AWWA, 2000). Su medición se basa en el diferencial del oxígeno disuelto antes y después del tiempo necesario o de incubación que demande la prueba (por lo general la prueba se realiza en 5 días donde la población bacteriana ha llegado a más del 70 % de su capacidad).

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:** La determinación de Sólidos Suspendedos Totales (SST) es importante cuando se quiere saber sobre la naturaleza del agua residual. Los SST son un parámetro de referencia cuando se habla de un sistema de tratamiento, es decir, sus eficiencias de remoción dan visto bueno a los procesos de tratamiento de aguas residuales (Lara, 1999).

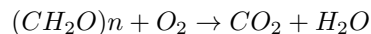
**NITRÓGENO:** En el momento en que ingresa el agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno esta como amonio o en forma de un compuesto inestable que es fácilmente transformado a amonio, los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la desnitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato; todo el proceso puede ser dividido en pasos: Amonificación, Nitrificación y Desnitrificación.

Nitrificación: Requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono; la oxidación ocurre en dos estados y cada uno involucra diferentes bacterias nitrificantes quimio autótrofas. El primer paso es la oxidación de los iones amonio a nitritos (nitrosificación), en este paso la liberación de iones de hidrógeno disminuye el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango 7.5-8.6 (Cooper 1996), el género bacterial considerado para catalizar esta reacción es Nitrosomas, y el género Nitrobacter es el responsable de la transformación de nitrito a nitrato.

Desnitrificación: Es el paso final en la remoción del nitrógeno, ocurre bajo condiciones anóxicas, lo cual significa que no hay oxígeno disuelto presente o con una concentración menor a 2 % de saturación, dando así la eliminación de nitritos y nitratos producidos.

### 3.2.8. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN HUMEDAL.

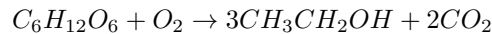
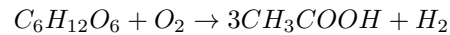
**MATERIA ORGÁNICA:** La materia orgánica puede ser removida por sedimentación y filtración en humedales construidos en bajas condiciones de turbulencia, los microorganismos crecen en el humedal, ya sea en los tejidos de las plantas o en suspensión en el agua, y estos finalmente son los responsables de la remoción de materia orgánica en el agua; ya que la cantidad de materia orgánica que toman las plantas del suelo o del agua no es significativa. La degradación de los contaminantes orgánicos se puede dar de forma aerobia o anaerobia, el oxígeno que se requiere para que se lleve a cabo la degradación aerobia se toma directamente de las plantas y de la atmósfera, la oxidación de la materia soluble es realizada por organismos heterótrofos (bacterias), según la siguiente reacción:



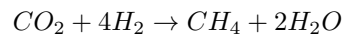
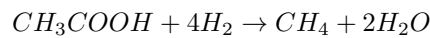
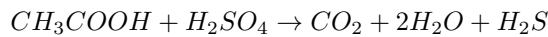
Simultáneamente se encuentran otro grupo de bacterias, las cuales son llamadas nitrificantes, ya que estas bacterias oxidan compuestos orgánicos nitrogenados, dando como producto la formación



de nitratos, tanto las bacterias heterótrofas como las bacterias nitrificantes, consumen oxígeno, pero las bacterias de mayor consumo, son las bacterias heterótrofas, por lo cual son las responsables de la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de un sistema de humedales. Sin un buen abastecimiento de oxígeno, para que las bacterias produzcan una buena oxidación biológica, se generan procesos anaerobios, pero si se tiene una buena cantidad de oxígeno, la oxidación aerobia será la principal en todo el proceso de la oxidación de la materia orgánica. (Paredes y Kuschik, 2001). La degradación anaerobia de la materia orgánica es un proceso que se da en múltiples etapas, que puede ser desarrollado por bacterias heterótrofas facultativas o anaerobias obligadas, al darse la degradación orgánica, en la primera etapa, se puede producir productos finales como ácido acético, butírico, y láctico, y gases como hidrógeno y dióxido de carbono.



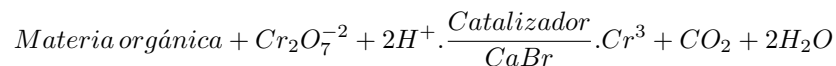
El ácido acético es un compuesto que se forma en suelos saturados, y en los sedimentos de algunos humedales, algunas bacterias aerobias estrictas, tanto sulfato reductoras como metano generadoras, utilizan los productos finales primarios generando gas sulfhídrico y metano. De hecho, ellas dependen de la fusión compleja que desarrollan las bacterias fermentativas para su propio desarrollo. Ambos grupos tienen un papel importante en la descomposición de materia orgánica, así como en el ciclo del carbono en los humedales construidos (Paredes y Kuschik, 2001).



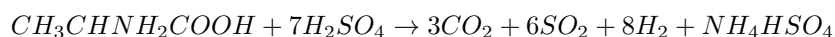
Las bacterias acidificantes son fácilmente adaptables, mientras que las generadoras de metano son más sensitivas y sólo trabajan en un rango de pH entre 6,5 y 7,5. Una sobreproducción de ácido por parte de las bacterias acidificantes puede resultar en un bajo pH, lo cual inhibe la acción del segundo grupo, originando compuestos olorosos en el humedal. La descomposición anaerobia es mucho más lenta que la aerobia, sin embargo, cuando el Oxígeno es un factor limitante y se tienen altas cargas orgánicas el principal proceso será anaerobio (Paredes y Kuschik, 2001).

Las determinaciones de los parámetros fisicoquímicos descritos a continuación están descritos por el Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes (Standard Methods).

- **DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO):** Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg  $O_2$ /litro. Se realizó por método colorimétrico de reflujo cerrado. La reacción de la DQO se puede representar de la siguiente manera:



- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO):** La demanda biológica de oxígeno, o demanda bioquímica de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida. Esta se realizó mediante el método de Oxitop, normalmente se mide la DBO transcurridos cinco días, y se expresa en miligramos de oxígeno por litro ( $mgO_2/L$ ).
- **NITRÓGENO TOTAL (NT):** Este análisis refleja la cantidad de nitrógeno en el agua analizada, es la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas y del ion amonio ( $NH_4$ ), se realizó el análisis mediante el método Kjendhal, la reacción química es la siguiente:



- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST):** Los sólidos suspendidos totales se definen como la cantidad de sólidos que el agua puede conservar luego de diez minutos de asentamiento, la determinación de este tipo de sólidos es importante para conocer sobre la naturaleza del agua residual, su determinación, fue mediante el proceso gravimétrico y su concentración se da en ppm.

## **4. METODOLOGÍA.**

La metodología que llevo a cabo para la realización del proyecto fue la siguiente:

### **4.1. MUESTRA DE ANÁLISIS.**

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Granja Porcícola El Cortijo, ubicada en la vereda La Leona del corregimiento Santa Barbará, del municipio de Santa Rosa de Cabal, en este sitio se construyeron dos humedales:

Un humedal de flujo vertical y horizontal, cada uno en unidades de tratamiento independientes, conectado entre sí por una tubería, y un humedal donde se tienen ambos flujos de agua, antes de que el agua llegara a los respectivos humedales, se tenía un tanque de dilución, que recogía el agua que salía del biodigestor, a continuación se tenían tres FAFAS, las cuales removían sólidos suspendidos y luego pasaba el agua al sedimentador, el cual removía sólidos a un más pequeños y finalmente se descargaban 360 litros de agua cada hora a los humedales, llevando 180 litros de agua a cada humedal, esto se realizó con el fin de evaluar la remoción de la materia orgánica en el sistema ya descrito.

### **4.2. ARRANQUE.**

Para la evaluación de los humedales construidos se realizará una aclimatación del sistema mediante una alimentación con la mitad de la carga orgánica superficial a aplicar, permitiendo de este modo, que las plantas empleadas se adapten al residuo a tratar. Una vez el sistema termine la etapa de aclimatación, comenzara a aumentar la carga orgánica para determinar el punto de colmatación. Teniendo en cuenta que la carga hidráulica será constante.

### **4.3. UNIDAD A ESCALA PILOTO.**

La unidad piloto está conformada por dos sistemas de tratamiento funcionando en paralelo, híbrido modificado y otro híbrido convencional. Están compuestos por una sola unidad de alimentación, 3 canecas de 55 galones que servirán como filtro anaerobio de flujo ascendente del sistema, (con medio filtrante grava) seguido de un sedimentador de alta tasa, este será uno solo para los dos sistemas con una alimentación de forma intermitente; el primer sistema, el cual nombraremos como sistema modificado cuenta con una alimentación en sentido vertical descendente con un control de nivel (humedal parcialmente inundado) se consigue que coexista una zona aeróbica (zona no inundada) y una zona anaeróbica (zona inundada). El segundo es un sistema convencional en el que la secuencia de zonas con condiciones aeróbicas y zonas anaeróbicas se consiguen en unidades de tratamiento independientes. Esto se logra con la construcción de un humedal de flujo vertical seguido de uno de flujo horizontal. El sistema experimental se muestra en la figura 4.

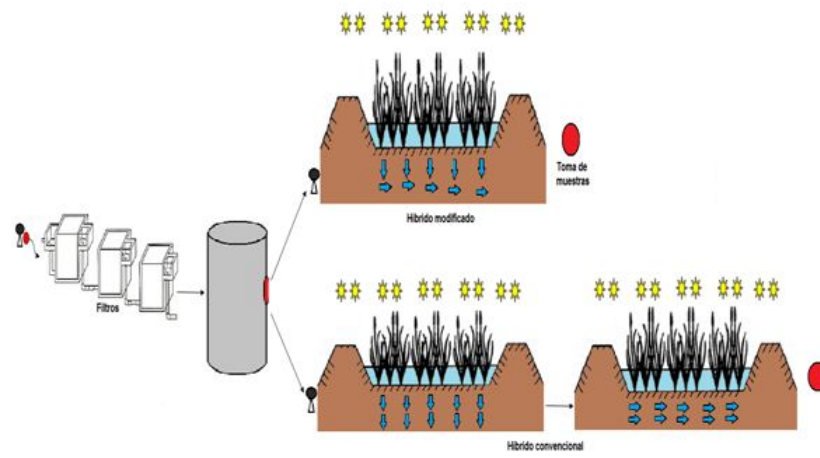


Figura 4: Sistema Experimental.



Figura 5: Tanque de dilución y Sedimentador.



Figura 6: Humedal Convencional.



Figura 7: Humedal Modificado.

En un principio se realizaron siete muestreos preliminares, mediante los análisis de laboratorio se observó que la remoción de las FAFAS era muy baja en términos de eficiencia, por lo cual se la cual se realizaron diluciones periódicas en el tanque como variable de la carga orgánica, los filtros en el sistema sedimentan la mayor parte de sólidos, evitando la saturación de los humedales.

Luego de estos muestreos previos se realizaron tres diluciones periódicas en el tanque de dilución, la primera de ellas fue en una proporción de 60 % de agua potable y 40 % de agua residual, para que el sistema se acostumbrará a esta nueva dilución se dejó dos semanas sin realizar pruebas en él, con esta variable se realizaron diez muestreos; luego de esos, se realizó la segunda dilución la cual tenía proporciones de 50 % de agua potable y 50 % de agua residual se dejó reposar el sistema dos semanas, en esta etapa se realizaron ocho muestreos, finalmente se realizó la última dilución la cual tenía proporciones de 40 % de agua potable y 60 % de agua residual dejando reposar el sistema dos semanas, en esta última se realizaron seis muestreos.

Las diluciones periódicas en los humedales muestran como la carga orgánica satura el humedal en función del tiempo, ya que la concentración de agua residual va aumentando en la medida en que se van dando las etapas de estudio, dando como resultado el estudio de la colmatación de los dos tipos de humedales híbridos, lo que lleva a concluir finalmente cuál de los dos tipos de humedales presenta mayores remociones según los parámetros establecidos.

#### 4.4. ALIMENTACIÓN DE LOS HUMEDALES.



Figura 8: Recorrido del agua residual en el sistema de tratamiento.

Los humedales se alimentan del agua proveniente del biodigestor, está a su vez proviene del lavado de las cocheras, posteriormente pasa al tanque de dilución, el sedimentador, y finalmente a los dos tipos de humedales (Figura 7), descargando 380 litros de agua cada hora, el humedal se opera de manera manual, abriendo la válvula para que se descargue el agua proveniente del tanque de retención, este tiene un tiempo de operación de nueve horas, ya que el operador da funcionamiento al sistema en su horario de trabajo.

Las diluciones en el tanque se determinaban de la siguiente manera:

De acuerdo a la etapa en que se estuviera trabajando, se tenían dos válvulas, una con agua residual y otra con agua potable, se realizaban los cálculos previos para que las diluciones quedaran en los porcentajes anteriormente establecidos, la válvula abrían hasta cierto tope, para que las diferentes diluciones permanecieran constantes en la etapa de estudio.

#### 4.5. MUESTREO.

El muestreo se realizó en las instalaciones de la porcícola El Cortijo, estos se realizaban de manera semanal, el muestreo era compuesto, tomando muestras compuestas a 6 horas, con alicotas proporcionales al caudal medido volumétricamente cada 60 minutos, en cuatro puntos del sistema.



Figura 9: Toma de muestras en el sistema.

De acuerdo a los datos obtenidos en campo de caudal y volumen, se realizaban cálculos matemáticos para determinar la cantidad de agua en cada punto para componer las muestras, en campo se tomaban datos de pH y temperatura, se realizaron preliminarmente siete muestreos de la misma manera, esto se hizo para conocer las condiciones en que funcionaba el sistema, luego se tomaron 24 muestras semanales, a las cuales se le realizaron cuatro parámetros fisicoquímicos diferentes:

PARÁMETRO
Demanda química de oxígeno – DQO
Demanda bioquímica de oxígeno - DBO
Sólidos suspendidos totales – SST
Nitrógeno Total Kjendhal – NTK
pH
Temperatura
Caudal

Cuadro 1: Parámetros de medición.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

### 5.1. PRIMERA ETAPA.

Esta fue la etapa inicial del experimento, en la cual se realizaba una dilución en el tanque de 70 % de agua potable y 30 % de agua residual. Esta primera etapa tuvo una duración de 10 semanas desde el 12 de Mayo hasta el 14 de Julio del 2010, realizando un muestreo cada semana.

#### **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

DQO TANQUE DE DILUCIÓN- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración(mg/L).	1331	1500	1314	1698	2099	1274	1576	1453	1118	2058

Cuadro 2: Concentración de DQO en mg/L Tanque. Primera Etapa.

**DQO SEDIMENTADOR- PRIMERA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración(mg/L).	1243	1223	1140	1213	1895	881	1151	1128	849	918

Cuadro 3: Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Primera Etapa.

**DQO HUMEDAL CONVENCIONAL- PRIMERA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración(mg/L).	663	715	748	716	803	615	648	458	695	470

Cuadro 4: Concentración de DQO en mg/L H. Convencional. Primera Etapa.

**DQO HUMEDAL MODIFICADO- PRIMERA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración(mg/L).	661	647	594	627	710	562	551	505	583	409

Cuadro 5: Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Primera Etapa

**PRIMERA ETAPA DQO.**

Puntos de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	1542
Sedimentador.	1169
Humedal Convencional.	653
Humedal Modificado.	585

Cuadro 6: Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).**

**$DBO_5$  TANQUE DE DILUCIÓN - PRIMERA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	456	532	517	616	874	454	596	753	518	616

Cuadro 7: Concentración de  $DBO_5$  en mg/L Tanque. Primera Etapa.

**$DBO_5$  SEDIMENTADOR - PRIMERA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	356	536	457	558	1194	384	456	517	478	398

Cuadro 8: Concentración de  $DBO_5$  Sedimentador. Primera Etapa.



DBO <sub>5</sub> HUMEDAL CONVENCIONAL - PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	366	396	387	328	467	419	401	352	528	343

Cuadro 9: Concentración de DBO<sub>5</sub> H. Convencional. Primera Etapa.

DBO <sub>5</sub> HUMEDAL MODIFICADO - PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	421	381	372	313	387	409	381	342	393	308

Cuadro 10: Concentración de DBO<sub>5</sub> H. Modificado. Primera Etapa.

PRIMERA ETAPA DBO <sub>5</sub> .	
Punto de Muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	593
Sedimentador.	533
Humedal Convencional.	399
Humedal Modificado.	371

Cuadro 11: Concentraciones de DBO<sub>5</sub> en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa.

### Sólidos Suspendidos Totales (SST).

SST TANQUE DE DILUCIÓN- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	720	890	600	905	1450	480	2120	930	610	1345

Cuadro 12: Concentración SST en mg/L Tanque. Primera Etapa.

SST SEDIMENTADOR- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	500	595	375	525	1135	200	1130	635	575	410

Cuadro 13: Concentración de SST en mg/L Sedimentador. Primera Etapa

SST HUMEDAL CONVENCIONAL-PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	235	280	250	265	460	70	530	120	115	215

Cuadro 14: Concentración de SST en mg/L H. Convencional. Primera Etapa.

SST HUMEDAL MODIFICADO-PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	325	285	235	260	275	40	370	200	450	155

Cuadro 15: Concentración de SST en mg/L H. Modificado. Primera Etapa.

PRIMERA ETAPA SST.	
Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	1005
Sedimentador.	608
Humedal Convencional.	254
Humedal Modificado.	260

Cuadro 16: Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa.

### Nitrógeno Total Kjendhal. (NTK).

NTK TANQUE DE DILUCIÓN- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	224	417	459	420	521	266	623	353	370	347

Cuadro 17: Concentración de NTK en mg/L Tanque. Primera Etapa.

NTK SEDIMENTADOR- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	263	409	414	364	439	238	322	342	347	246

Cuadro 18: Concentración de NTK en mg/L Sedimentador. Primera Etapa.

NTK HUMEDAL CONVENCIONAL- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	230	339	437	330	302	224	288	182	319	170

Cuadro 19: Concentración de NTK en mg/L H. Convencional. Primera Etapa.

NTK HUMEDAL HÍBRIDO- PRIMERA ETAPA.										
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentración (mg/L).	218	319	353	353	361	258	244	176	291	179

Cuadro 20: Concentración de NTK en mg/L H. Modificado. Primera Etapa.

PRIMERA ETAPA NTK.

Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	400
Sedimentador.	344
Humedal Convencional.	283
Humedal Modificado.	275

Cuadro 21: Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema. Primera Etapa.

### 5.1.1. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.

La transformación de la DQO es esencialmente afectada por los microorganismos cuya presencia y actividad es realizada con la presencia y procesos mediados por las plantas de los humedales (Armstrong, Armstrong y Beckett, 1990; Brix, 1993); En la grava utilizada en la comunidad microbiana da facilidad a este proceso; la grava puede incluso remover pequeños materiales, entre ellos bacterias patógenas presentes en aguas con valores de flujo bajo.

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida, mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida.

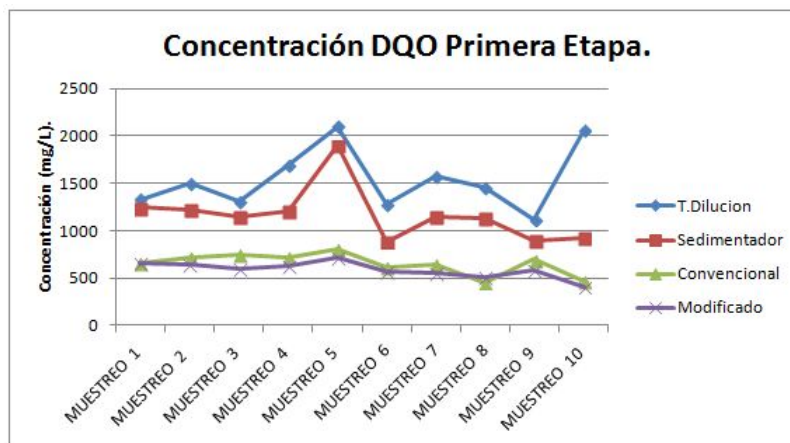


Figura 10: Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa.

Este gráfico muestra los cuatro puntos de muestreo y las concentraciones de materia orgánica en función del tiempo, se observa que en términos de demanda química de oxígeno el sistema se comporta de una manera eficiente y se da remoción de materia orgánica, esto se concluye porque las entradas, las cuales son el tanque de dilución y el sedimentador poseen concentraciones mas altas que las salidas del humedal modificado y convencional; Se obtuvieron ciertas fluctuaciones en el sistema, ya que gráficamente se ven picos altos y bajos, esto se debe a las precipitaciones de agua que se dan en la zona, las cuales hacen que se de una dilución en el agua de los humedales, lo que hace que la concentración de materia orgánica se reduzca, en comparación a la concentración de muestreos en los cuales no hubo lluvias, los picos altos y bajos en el tanque de dilución y sedimentador se dan por los

lavados de las cocheras, ya que estos aumentan la carga de oxígeno en el agua que ingresa, aumentando las concentraciones del mismo.



Figura 11: Concentraciones de DQO. Primera Etapa. Gráfico de Barras.

Se observa por los gráficos de barras que en términos de remoción es más eficiente el humedal modificado, por una diferencia mínima, esto se debe a que el humedal modificado hace que coexistan en la misma unidad de tratamiento una zona aeróbica y anaeróbica, por lo cual la lámina de agua hace que se de el contacto del agua contaminada con el ambiente y sea mayor en la zona anaeróbica, permitiendo que el proceso de la DQO sea removido de una manera mas eficiente en este humedal.

### 5.1.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO.

Estudios realizados en Estados Unidos indican que en estos sistemas, la DBO es degradada en un tiempo de retención de aproximadamente 2 días. La demanda bioquímica de oxígeno particulada es eliminada rápidamente por sedimentación y filtración en los espacios entre la grava y las raíces. La DBO soluble es eliminada por microorganismos que crecen en las raíces y rizomas de las plantas.

La degradación de la materia orgánica es anaerobia en todo el sistema; exceptuando en las raíces de las plantas, las cuales ocurren por vías aerobias (Lahora, 2001).

Uno de los ensayos mas importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es el ensayo de la DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20°C.

El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por lo tanto es necesario garantizar que durante todo el periodo del ensayo exista suficiente OD (Oxígeno Disuelto), para ser utilizado por los organismos. La DBO es solamente una medida del oxígeno consumido en la oxidación de la mezcla de compuestos existentes en la muestra por la población microbial existente en la misma al realizar el ensayo; así el ensayo de DBO es un proceso de oxidación húmeda en el cual los organismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

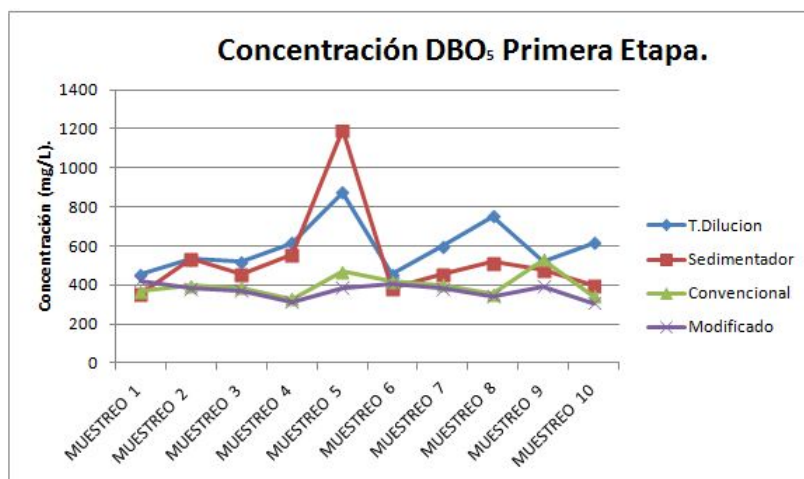


Figura 12: Concentración de  $DBO_5$  en los diferentes puntos de muestreo del sistema a través del tiempo. Primera Etapa.

En este gráfico se ve como en el primer muestreo el sedimentador, y el humedal convencional tienen la misma concentración, además de una fluctuación constante de los humedales en lo referente a demanda bioquímica de oxígeno durante la primera etapa, teniendo en cuenta las diluciones producidas por las lluvias; Se concluye de que a pesar de que hay ciertos muestreos en que tanto las entradas como las salidas no se comportan de una manera lineal en términos de concentración, en forma general el sistema tuvo una remoción aceptable de  $DBO$ . Sabiendo que la degradación de materia orgánica es anaerobia en todo el sistema en términos de la  $DBO$ , es decir en zonas inundadas, el humedal modificado por su construcción posibilita tener los dos tipos de zonas en un mismo sistema, lo que ayuda a que la remoción de materia orgánica sea mayor.

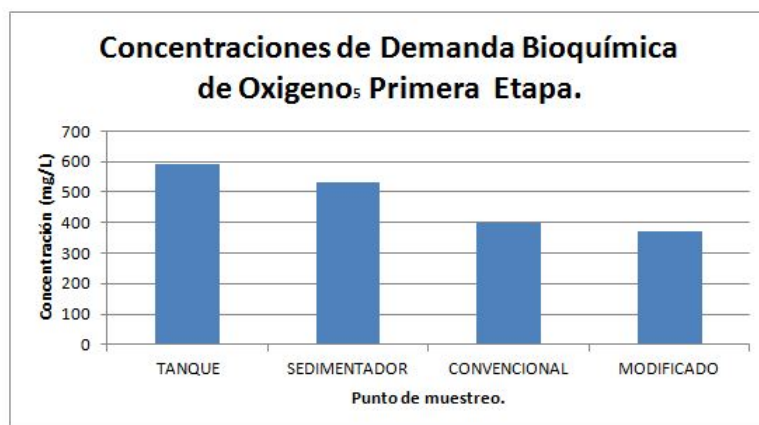


Figura 13: Concentraciones de  $DBO_5$ . Primera Etapa. Gráfico de Barras.

El gráfico de barras muestra que en términos de remoción fue el humedal modificado quien obtuvo la mayor remoción, lo cual es congruente con la  $DQO$ , ya que este segundo parámetro depende del primero.

### 5.1.3. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.

La acumulación de sólidos suspendidos en humedales construidos de flujo sub-superficial tiene importantes implicaciones para el mantenimiento de las condiciones hidráulicas y de los tiempos de retención requeridos.

El taponamiento y la obstrucción de los espacios, reducen la efectividad del volumen disponible entre el medio, incrementando las velocidades de flujo, decreciendo el tiempo de retención y promoviendo cortos circuitos en los humedales (Tanner et al, 1995).

Los sólidos suspendidos totales, cumplen una función como indicador, ya que su presencia disminuye el paso de la luz a través del agua, evitando su actividad fotosintética en el humedal; lo cual es importante para la producción de oxígeno.

El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los humedales, Las esteras de plantas en los humedales sirven como trampas de sedimentos, pero su principal función es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la resuspensión de material particulado.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad del particulado fijo y la longitud de humedal. Sin embargo la resuspensión del sedimento puede resultar en la exportación de sólidos suspendidos, y de esta manera reducir la eficiencia de remoción.

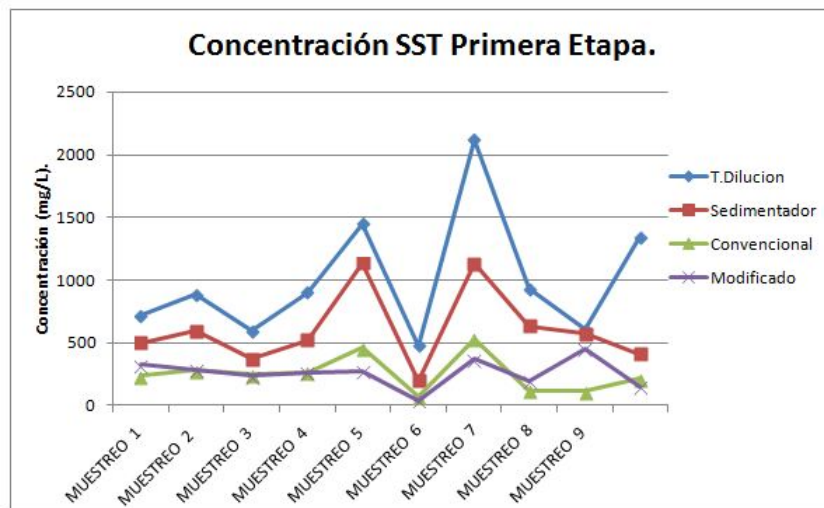


Figura 14: Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa.

Se observa que en la primera etapa la remoción de sólidos suspendidos totales, tiene un comportamiento lineal en términos de concentración, este gráfico ilustra el comportamiento del sistema, y se puede ver, que la remoción de ambos sistemas de humedales, es significativa.

La remoción de sólidos es un parámetro que depende de el medio, la forma de como ingresa la película de agua, y de las plantas que están en el humedal, ya que de acuerdo a la absorción que tenga el sistema de la materia orgánica y de los sedimentos que se dan a lo largo de todo el sistema, cada tipo de humedal, tendrá una remoción específica.

Las FAFAS, en el principio del sistema remueven sedimentos de materia orgánica de gran tamaño, ya dentro de cada humedal, los sólidos presentes son de tipo coloides, ya que están suspendidos y no

permiten el paso de la luz, lo cual ayuda a una mayor producción de oxígeno por parte de las bacterias anaerobias, además de acuerdo al medio en el que estaban sembradas las plantas, el cual era de piedra y arena, se da el proceso de retención hidráulica, y los primeros visos de la colmatación del humedal.

El humedal modificado por su construcción tiende a remover menos materia orgánica en términos de SST, ya que dada su construcción el flujo de agua tanto vertical como horizontal entra a una sola unidad de tratamiento, y esto hace que la remoción no sea tan eficiente como en dos unidades de tratamiento independiente como la del humedal convencional.



Figura 15: Concentraciones de SST. Primera Etapa. Gráfico de Barras.

La concentración de sólidos que se da en esta etapa es considerablemente alta, se puede observar, que en términos de remoción de sólidos es mejor el sistema convencional, esto se da por que son dos unidades de tratamiento diferentes, las cuales tienen dos flujos de agua diferentes, esto ayuda a que halla una mayor remoción ya que evita la colmatación del humedal, porque los espacios entre el medio, son menores, en la medida de que si se tiene una sola unidad de tratamiento es mas factible su saturación.

#### 5.1.4. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL.

El nitrógeno influente en los humedales se encuentra básicamente como nitrógeno orgánico o amoniacal, con escasas cantidades de nitratos. Los procesos de descomposición y mineralización convierten este nitrógeno en amonio.

Por lo general los procesos en el interior del humedal son anaerobios, ya que no existe suficiente oxígeno disuelto para la nitrificación y posterior desnitrificación, por lo que no existen reducciones importantes de nitrógeno en humedales de flujo subsuperficial.

La desnitrificación puede estar también limitada por la falta de una fuente de carbono para el proceso, ya que por cada gramo de nitrógeno son necesarios aproximadamente 3 gramos de  $DBO_5$ .

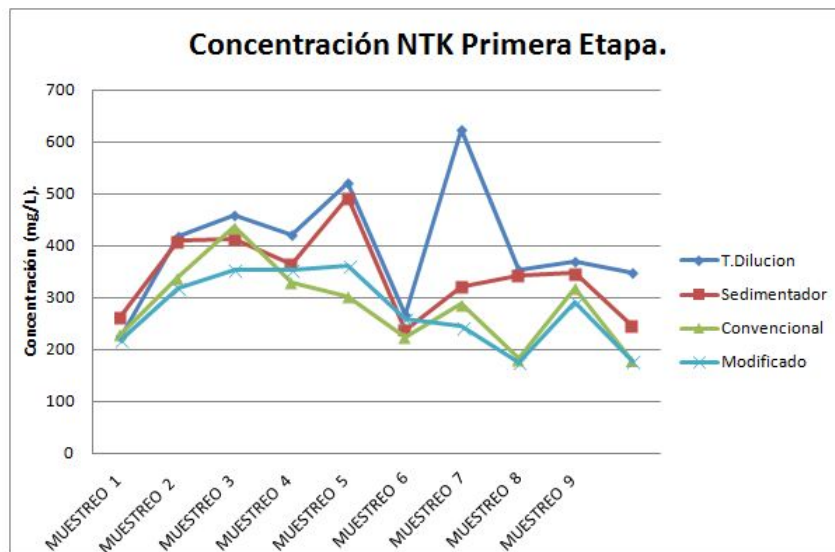


Figura 16: Concentración de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Primera Etapa.

La principal fuente de oxígeno para la nitrificación en los humedales es la aireación atmosférica ya que es la parte mas cercana a la superficie del agua, y la fuente de carbono para la desnitrificación es la capa de restos de vegetación que se encuentra sumergida.

El nitrógeno en esta etapa es fluctuante, observamos que en el muestreo número seis, el sistema posee prácticamente las mismas concentraciones, hay que tener en cuenta que no se tenía una válvula que regulara constantemente el flujo del agua potable y las lluvias constantes en la zona, variaban el contacto del aire con el agua, haciendo que el proceso de nitrificación y desnitrificación en los humedales oscilara en el tiempo.

El humedal modificado aumentó su concentración de una manera abrupta, esto puede deberse a la dilución del agua residual al inicio del sistema, lo cual afecta el nitrógeno debido a que si se tiene una mayor concentración de agua potable con respecto al agua residual, la cinética del proceso de nitrificación por parte de las plantas y la atmósfera va a ser cambiante en el tiempo.



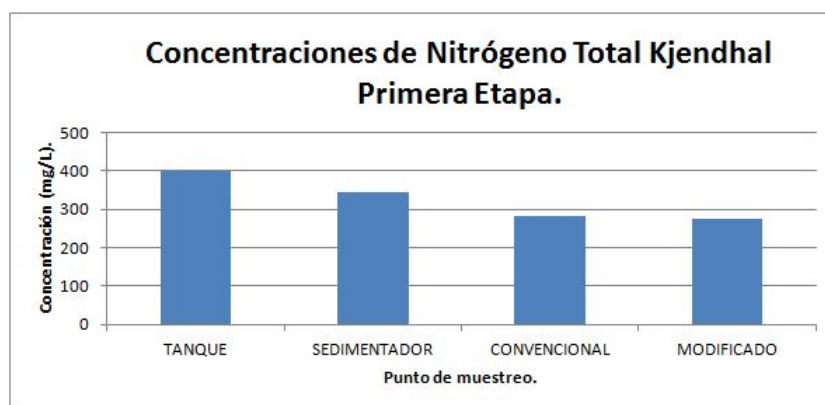


Figura 17: Concentraciones de NTK. Primera Etapa. Gráfico de Barras.

El gráfico de barras nos muestra que la remoción en nitrógeno por una diferencia mínima la dio el humedal modificado, dado que en este tipo de sistemas se tiene en su parte mas superficial, una lámina que posee bacterias de tipo aerobio, lo cual permite una mejor aireación del agua a tratar, y esto conlleva a que el ciclo del nitrógeno sea de una manera mas eficiente que en una unidad cuya lámina solo posea bacterias anaerobias.

## 5.2. SEGUNDA ETAPA.

La segunda etapa posee una dilución de iguales proporciones, para agua residual y potable, esta tuvo una duración de 8 semanas, desde el 11 de Agosto hasta el 29 de Septiembre del 2010.

Hay que tener en cuenta que en esta segunda etapa, en el muestreo número ocho las concentraciones del sedimentador, para los parámetros fisicoquímicos realizados en el laboratorio, se obtuvieron bajas considerables, esto se debió a que el día en que se realizó el muestreo, cuando se llego al lugar el sedimentador se encontraba colmatado debido a las fuertes lluvias del día anterior, por lo cual se procedió a realizar el debido procedimiento correctivo, este consistió, en un lavado del sistema descargándolo por completo, y posteriormente tomándose una muestra puntual del mismo, lo que hizo que las concentraciones en este muestreos fueran bajas con respecto a las de muestreos anteriores.

### Demanda Química de Oxígeno (DQO).

DQO TANQUE DE DILUCIÓN- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	1275	1549	2914	1949	1868	2467	3073	3075

Cuadro 22: Concentración de DQO en mg/L Tanque. Segunda Etapa.

DQO SEDIMENTADOR- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	856	878	1930	1149	1603	1079	5513	1369

Cuadro 23: Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa.

**DQO HUMEDAL CONVENCIONAL- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	507	375	944	692	943	1109	1777	884

Cuadro 24: Concentración de DQO en mg/L H. Convencional: Segunda Etapa.

**DQO HUMEDAL MODIFICADO- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	691	376	998	628	791	1007	1179	1375

Cuadro 25: Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa.

**SEGUNDA ETAPA DQO.**

Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	2271
Sedimentador.	1872
Humedal Convencional.	899
Humedal Modificado.	881

Cuadro 26: Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).**

**$DBO_5$  TANQUE DE DILUCIÓN- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	597	594	472	756	717	896	919	1518

Cuadro 27: Concentración de  $DBO_5$  en mg/L Tanque. Segunda Etapa.

**$DBO_5$  SEDIMENTADOR- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	397	387	396	508	717	1036	1099	679

Cuadro 28: Concentración de  $DBO_5$  en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa.

**$DBO_5$  HUMEDAL CONVENCIONAL- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	372	272	328	508	717	1036	1099	679

Cuadro 29: Concentración de  $DBO_5$  en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa.

DBO <sub>5</sub> HUMEDAL MODIFICADO- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	377	367	258	393	479	438	460	919

Cuadro 30: Concentración de DBO<sub>5</sub> en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa.

SEGUNDA ETAPA DBO <sub>5</sub> .	
Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	809
Sedimentador.	652
Humedal convencional.	626
Humedal Modificado.	461

Cuadro 31: Concentraciones de DBO<sub>5</sub> en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa.

### Sólidos Suspendidos Totales (SST).

SST TANQUE DE DILUCIÓN- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	1010	965	605	1505	1270	2560	2705	3695

Cuadro 32: Concentración de SST en mg/L Tanque. Segunda Etapa.

SST SEDIMENTADOR- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	440	395	410	515	900	1770	2610	645

Cuadro 33: Concentración de SST en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa.

SST HUMEDAL CONVENCIONAL- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	270	185	145	270	265	470	470	505

Cuadro 34: Concentración de SST en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa.

SST HUMEDAL MODIFICADO- SEGUNDA ETAPA.								
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	240	180	185	260	420	520	485	645

Cuadro 35: Concentración de SST en mg/L H. Modificado. Segunda Etapa.

**SEGUNDA ETAPA SST.**

Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	1789
Sedimentador.	961
Humedal Convencional.	325
Humedal Modificado.	367

Cuadro 36: Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa.

**Nitrógeno Total Kjendhal (NTK).**

**NTK TANQUE DE DILUCIÓN- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	403	392	437	560	515	997	956	1484

Cuadro 37: Concentraciones de NTK en mg/L Tanque. Segunda Etapa.

**NTK SEDIMENTADOR- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	336	370	392	470	437	392	980	558

Cuadro 38: Concentraciones de NTK en mg/L Sedimentador. Segunda Etapa.

**NTK HUMEDAL CONVENCIONAL- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	230	151	162	269	252	420	574	350

Cuadro 39: Concentraciones de NTK en mg/L H. Convencional. Segunda Etapa.

**NTK HUMEDAL MODIFICADO- SEGUNDA ETAPA.**

Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentración (mg/L).	269	230	263	297	297	426	518	378

Cuadro 40: Concentraciones de NTK en mg/L. H. Modificado. Segunda Etapa.

**Segunda Etapa NTK.**

Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	718
Sedimentador.	496
Humedal Convencional.	301
Humedal Modificado.	335

Cuadro 41: Concentraciones NTK en los diferentes puntos del sistema. Segunda Etapa.

### 5.2.1. Demanda Química de Oxígeno.

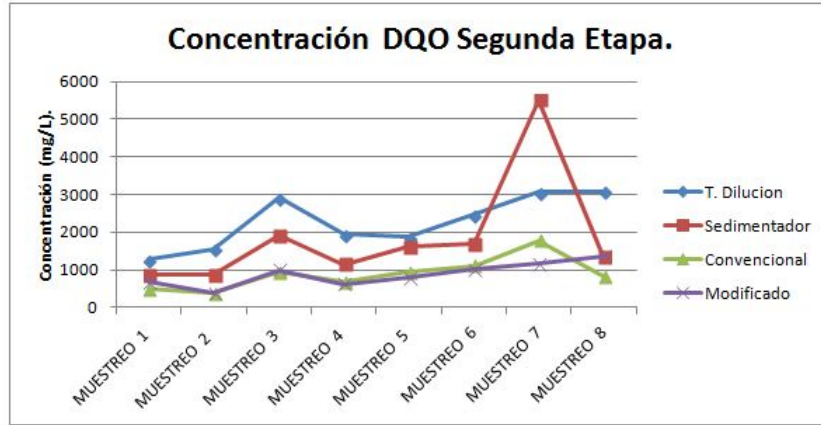


Figura 18: Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa.

En esta segunda etapa observamos que la DQO, continua con su comportamiento lineal, excepto por los muestreos 7 y 8, en el número siete, se puede observar que el sedimentador empieza a retener bastantes sólidos, como este se descarga cada, hora permite la aireación del agua, y por lo tanto un aumento en la concentración de demanda química de oxígeno; en el muestreo número ocho, donde la concentración del sedimentador, baja hasta la concentración del humedal modificado, se debe al tratamiento correctivo que debió realizarse debido a su colmatación por las lluvias (Lluvias que se filtraron por el techo y saturaron el sedimentador de agua), es importante resaltar que en esta etapa en comparación a este mismo análisis en la primera fase, la concentración de materia orgánica se triplica, por lo cual el humedal se satura cada vez mas de la misma, permitiendo estudiar cual es el sistema que tiene una mayor remoción de materia orgánica, en relación a su colmatación.

Se observa también que las concentraciones de los humedales convencional y modificado, son muy similares, esto se debe al hecho de que en la primera fase fue el humedal modificado quien obtuvo una mayor remoción de DQO, lo cual hace que este sea también el humedal más factible al colmatarse en función del tiempo, con respecto al humedal convencional, es lógico, que posean concentraciones de carga orgánica similares, en la parte media del experimento.

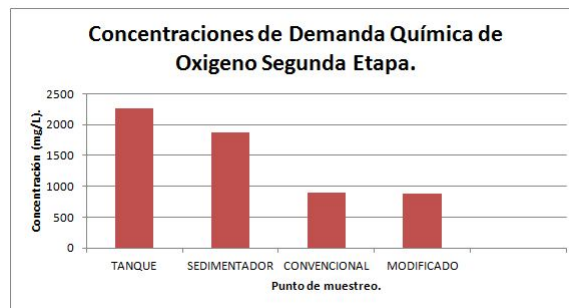


Figura 19: Concentraciones DQO. Segunda Etapa. Gráfico de Barras.

Observamos que tanto el sistema convencional como el sistema modificado, tienen una diferencia de concentraciones mínima, pero mediante los gráficos de barras podemos concluir que la mayor remoción en términos de la DQO ocurre en el sistema modificado.

### 5.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

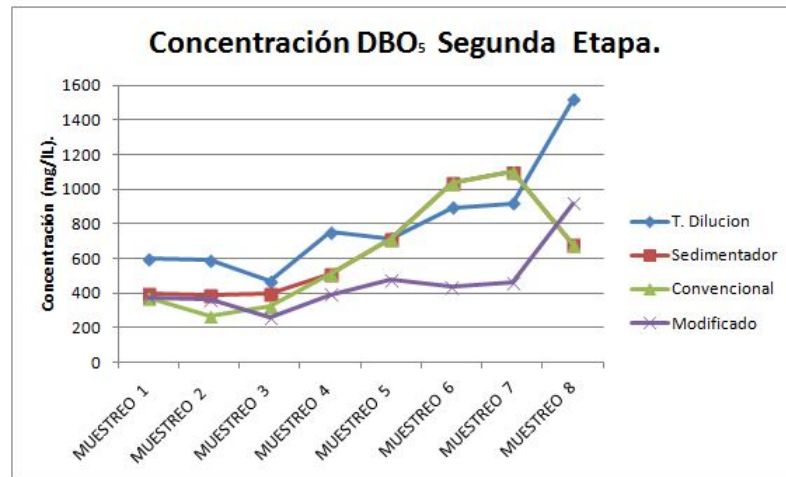


Figura 20: Concentración de  $DBO_5$  en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa.

Se observa que en la media en que se aumenta la carga orgánica en el sistema, surge la necesidad del sistema híbrido de remover cargas de contaminantes más altas, ya que la  $DBO_5$  es un parámetro que estudia la cantidad de oxígeno disuelto que se encuentra en el agua, en términos generales, el sedimentador, presenta una caída de concentración en este parámetro, esto es debido a que en esta parte específica del sistema, al aumentar la carga del agua residual, aumento la carga orgánica, lo cual no permite que se de una dilución correcta del oxígeno en este punto por el diseño del mismo, lo que conlleva a que su concentración en términos de  $DBO_5$  este por el mismo rango que la concentración del tanque de dilución.

Las igualdad de las concentraciones del sedimentador y el humedal convencional, son dadas porque en este humedal, se tiene un buen contacto de el agua con el aire, lo que conlleva a que la zona anaerobia disminuya, y la degradación del oxígeno por parte de los microorganismos no es tan eficiente con respecto al humedal modificado, por lo cual, retiene el oxígeno disuelto, como demanda bioquímica de oxígeno soluble, y finalmente esto causa un aumento de la concentración de este parámetro.

Cabe tener en cuenta que el tanque de dilución, presenta una baja de concentración, en tres muestreos de esta fase, con respecto al sedimentador y el humedal convencional, podría decirse que esto es debido, a que la dilución en el tanque no era realmente de proporciones iguales, ya que no se contaba con válvulas que controlaran el flujo del agua, lo que conlleva a que se de un aumento del agua potable al realizar la dilución pertinente, para finalmente obtener una cantidad de oxígeno disuelto en el tanque menor a la que se esperaba.

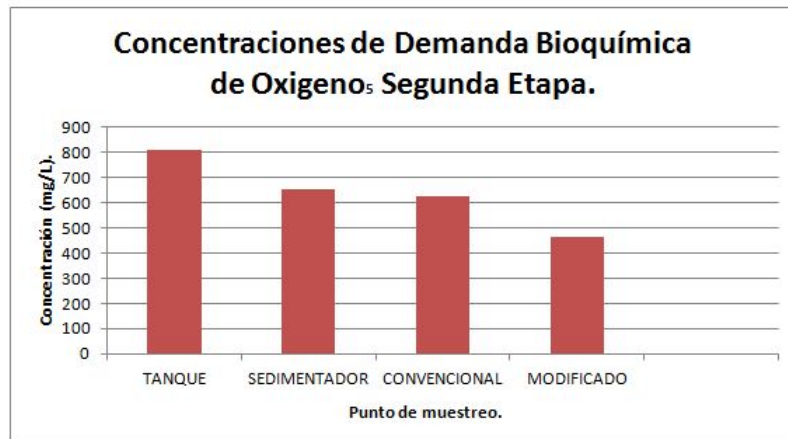


Figura 21: Concentraciones de  $DBO_5$ . Segunda Etapa. Gráfico de Barras.

En términos generales, se puede ver mediante el gráfico de barras que es el humedal modificado quien presenta una mayor remoción en términos de DBO, lo cual continua siendo congruente con la remoción de DQO.

### 5.2.3. Sólidos Suspendidos Totales.

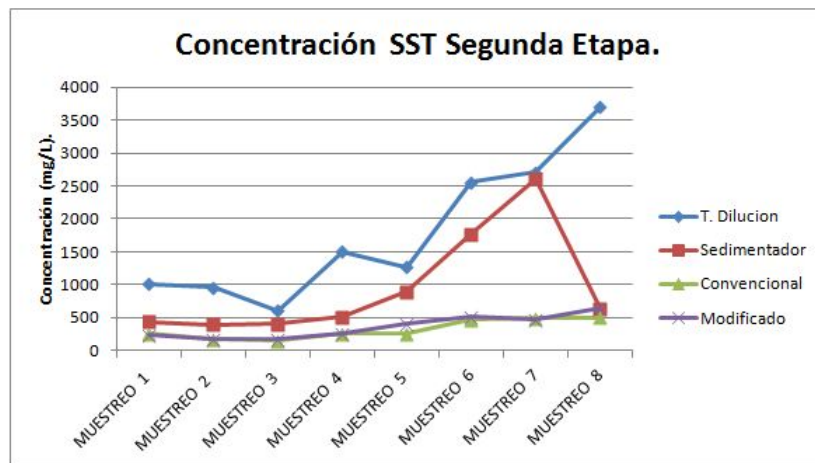


Figura 22: Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa.

Con este gráfico se observa que en términos de SST, el sistema se comporta casi de una manera lineal, exceptuando la igualdad de concentraciones del tanque con el sedimentador, la cual se da porque el sedimentador esta empezando a saturarse de sólidos en este punto, esto conlleva a que la concentración de materia orgánica sea tan alta como la de la entrada del sistema (Tanque de dilución), también se ve la baja de concentración en el muestreo número ocho, dada por el lavado correctivo ya mencionado.

En los humedales convencional y modificado, se cumple con la linealidad del sistema y sus concentraciones son muy similares en determinados muestreos, lo cual indica que a pesar de que la carga orgánica aumente, los humedales, remueven de manera proporcional a la misma, en esta fase se puede empezar a ver visos de la colmatación de los humedales, ya que el incremento de tres veces la concentración inicial de materia orgánica, hace que ambos humedales, deban trabajar en condiciones de operación mas extremas.



Figura 23: Concentraciones de SST. Segunda etapa. Gráfico de Barras.

El gráfico de barras nos muestra que es nuevamente el humedal convencional quien presenta una mayor remoción en términos de SST, esto se debe a el diseño de la unidad de tratamiento, el cual permite una mayor remoción por parte de este humedal en particular.

#### 5.2.4. NITRÓGENO TOTAL KJENDHAL.

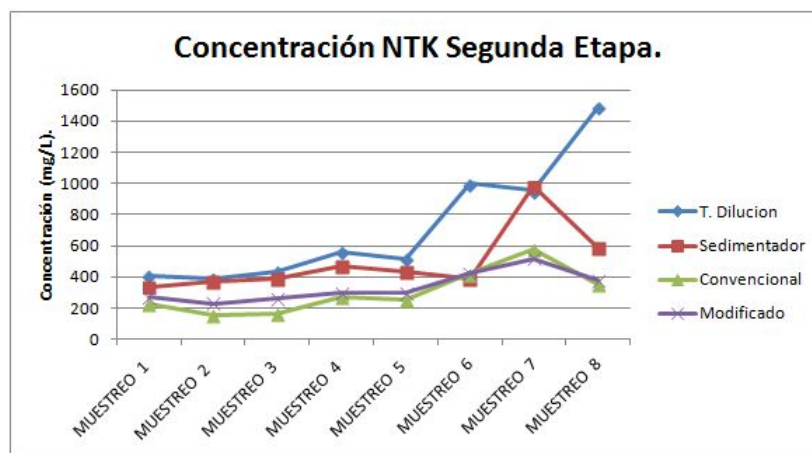


Figura 24: Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Segunda Etapa.

En esta etapa la concentración de nitrógeno en el tanque de dilución y en el sedimentador se encuentra mas cercana en ciertos muestreos, específicamente en el muestreo número siete se observa



que el sedimentador se encuentra bastante saturado de sólidos, por lo cual el proceso del ciclo del nitrógeno no se pueden llevar a cabo completamente, ya que los sólidos en las paredes del sedimentador y en las tuberías, no tienen una forma de llegar a la superficie del agua y salir, esto conlleva a que el agua residual pase por este punto, pero sin una mayor remoción, lo cual hace que se de un aumento de la concentración de nitrógeno, en comparación al tanque de dilución.

Hay que tener en cuenta, que de no haberse dado el tratamiento correctivo en el sedimentador, la concentración del mismo, aumentaría progresivamente.

El sistema de humedales dentro de las remociones que debe realizar es eficaz, además que la concentración de nitrógeno aumento cuatro veces con respecto a la primera etapa, y las remociones son equivalentes al aumento de la carga orgánica.

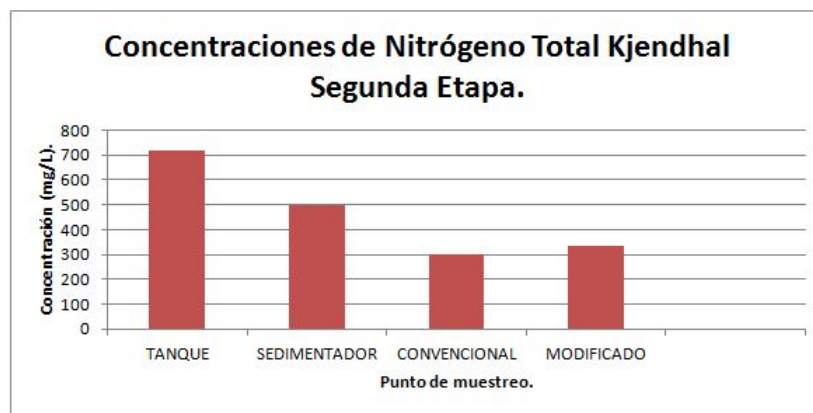


Figura 25: Concentraciones de NTK. Segunda Etapa. Gráfico de Barras.

Este gráfico de barras muestra que en términos de remoción en esta etapa es mejor el humedal convencional, en la primera etapa fue el modificado, el cambio en esta etapa se da debido a que en la remoción de nitrógeno es necesaria la aireación del agua, al aumentar la concentración de la carga orgánica, en la unidad de tratamiento del humedal modificado, la lámina de agua se satura, por lo que el contacto aire-atmósfera disminuye, por la colmatación de la lámina de agua con la materia orgánica, y en el humedal convencional, al ser constituido por dos unidades de tratamiento diferentes, su colmatación es menor en comparación al humedal anterior.

Hay que tener en cuenta que las condiciones de el humedal modificado son más óptimas para la remoción de nitrógeno, dado que tiene las dos láminas de agua en una sola unidad de tratamiento, pero debido a esta ventaja su colmatación es más rápida, con respecto al humedal convencional.

### 5.3. TERCERA ETAPA.

Esta es la última etapa en la cual la concentración de agua residual es mayor a la del agua potable, teniendo diluciones de la siguiente manera: 40% de agua potable y 60% de agua residual, esta se mantuvo durante seis muestreos que van desde el 10 de Noviembre hasta el 15 de Diciembre del 2010.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

DQO TANQUE DE DILUCIÓN- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	1570	895	2975	652	527	916

Cuadro 42: Concentración de DQO en mg/L Tanque. Tercera Etapa.

DQO SEDIMENTADOR- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	1072	1060	643	892	417	596

Cuadro 43: Concentración de DQO en mg/L Sedimentador. Tercera etapa.

DQO HUMEDAL CONVENCIONAL- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	375	709	395	409	199	246

Cuadro 44: Concentración de DQO en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa.

DQO HUMEDAL MODIFICADO- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	373	740	382	437	207	259

Cuadro 45: Concentración de DQO en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa.

TERCERA ETAPA DQO.	
Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	1256
Sedimentador.	780
Humedal Convencional.	389
Humedal Modificado.	400

Cuadro 46: Concentraciones de DQO en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).**

$DBO_5$ TANQUE DE DILUCIÓN- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	374	458	1028	378	223	328

Cuadro 47: Concentración de  $DBO_5$  en mg/L Tanque. Tercera Etapa.

<i>DBO<sub>5</sub></i> SEDIMENTADOR- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	407	448	347	448	213	278

Cuadro 48: Concentración de *DBO<sub>5</sub>* en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa.

<i>DBO<sub>5</sub></i> HUMEDAL CONVENCIONAL- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	407	448	347	448	213	278

Cuadro 49: Concentración de *DBO<sub>5</sub>* en mg/L H.Convencional. Tercera Etapa.

<i>DBO<sub>5</sub></i> HUMEDAL MODIFICADO- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	382	598	377	448	173	238

Cuadro 50: Concentración de *DBO<sub>5</sub>* en mg/L H.Modificado. Tercera Etapa.

TERCERA ETAPA <i>DBO<sub>5</sub></i>	
Puntos de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	448
Sedimentador.	357
Humedal Convencional.	391
Humedal Modificado.	369

Cuadro 51: Concentraciones de *DBO<sub>5</sub>* en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa.

### Sólidos Suspendidos Totales (SST).

SST TANQUE DE DILUCIÓN- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	625	465	2485	425	285	485

Cuadro 52: Concentración de SST en mg/L Tanque. Tercera Etapa.

SST SEDIMENTADOR- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	475	445	375	445	265	290

Cuadro 53: Concentraciones de SST en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa.

SST HUMEDAL CONVENCIONAL- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	190	320	145	265	45	75

Cuadro 54: Concentraciones de SST en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa.

SST HUMEDAL MODIFICADO- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreos.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	290	370	130	170	65	115

Cuadro 55: Concentraciones de SST en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa.

TERCERA ETAPA SST.	
Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	795
Sedimentador.	383
Humedal Convencional.	173
Humedal Modificado.	190

Cuadro 56: Concentraciones de SST en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa.

#### Nitrógeno Total Kjendhal (NTK).

NTK TANQUE DE DILUCIÓN- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	306	213	336	308	224	448

Cuadro 57: Concentración de NTK en mg/L Tanque. Tercera Etapa.

NTK SEDIMENTADOR- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	229	246	269	252	252	126

Cuadro 58: Concentración de NTK en mg/L Sedimentador. Tercera Etapa.

NTK HUMEDAL CONVENCIONAL- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	167	218	224	140	224	28

Cuadro 59: Concentración de NTK en mg/L H. Convencional. Tercera Etapa.

NTK HUMEDAL MODIFICADO- TERCERA ETAPA.						
Número de muestreo.	1	2	3	4	5	6
Concentración (mg/L).	178	241	258	280	168	56

Cuadro 60: Concentración de NTK en mg/L H. Modificado. Tercera Etapa.

TERCERA ETAPA NTK.	
Punto de muestreo.	Prom. Concentración (mg/L).
Tanque de dilución.	306
Sedimentador.	229
Humedal Convencional.	167
Humedal Modificado.	197

Cuadro 61: Concentraciones de NTK en los diferentes puntos del sistema. Tercera Etapa.

### 5.3.1. Demanda Química de Oxígeno.

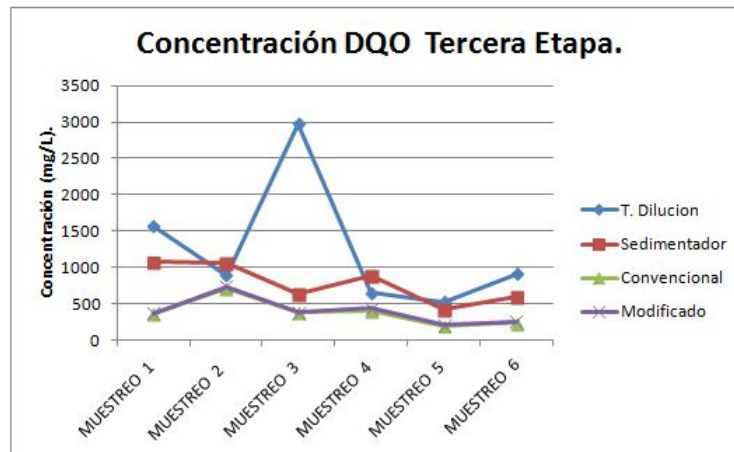


Figura 26: Concentración de DQO en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa.

En esta última etapa la concentración del agua residual tuvo un aumento del 10 % con respecto a la etapa anterior, y observamos en términos de la DQO, las concentraciones del humedal convencional y modificado, son muy similares durante toda la etapa, el tanque de dilución y el sedimentador fluctúan durante el tiempo, ya que estos tienden a saturarse con sólidos debido al aumento de la materia orgánica, llegados a este punto, empezamos a observar la colmatación del sistema híbrido de una manera mas latente, ya que al tener una concentración de materia orgánica más alta que en las dos etapas anteriores, los humedales se encuentran saturados, y por lo tanto la remoción de contaminantes es un poco más lenta.

Con un aumento de la carga orgánica, mediante una dilución más alta de agua residual, es de esperarse, que sea más tangible, cuando se de el lavado de las cocheras, ya que esto incrementa la concentración de materia orgánica en el agua que fluye por los sistemas de humedales, el día del muestreo número tres, se realizaba en paralelo, el muestreo y lavado de cocheras, esto hizo, que aumentará la

concentración de materia orgánica en el tanque de dilución, como se observará en los demás parámetros fisicoquímicos, para este caso, el oxígeno disuelto en el agua aumento, en comparación a los diferentes muestreos.



Figura 27: Concentraciones de DQO. Tercera Etapa. Gráfico de Barras.

Se observó que la concentración de carga orgánica en el humedal convencional y modificado es prácticamente similar, esto se da porque en el humedal modificado, se ve que esta iniciando un proceso de colmatación, ya que en las dos etapas anteriores era este humedal quien tenía mejor remoción de materia orgánica dada su construcción como unidad de tratamiento, en esta última etapa vemos que su remoción sigue siendo eficiente dada la concentración de materia orgánica, pero es finalmente el humedal convencional, quien tiene una mayor remoción en esta etapa, esto es dado, por el proceso que se observa en el humedal modificado, sin dejar de lado, que dada la alta concentración de materia orgánica, es mejor dos unidades de tratamiento que la procesen ya que su saturación es menos rápida, aunque su remoción no sea tan alta, lo cual esta dado por las láminas de agua.

### 5.3.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

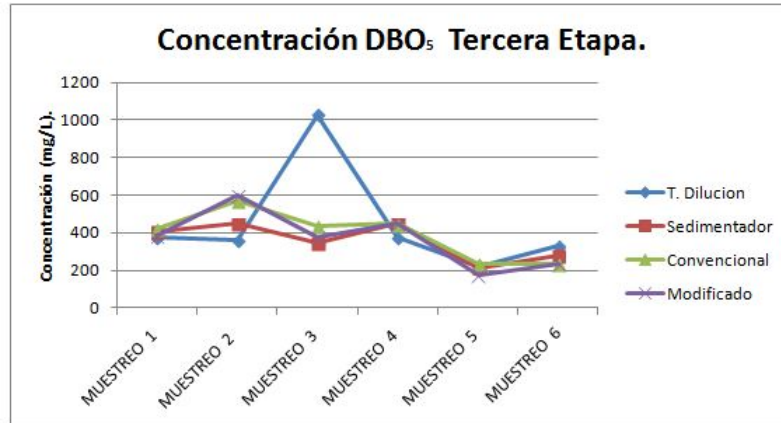


Figura 28: Concentración de  $DBO_5$  en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa.

La demanda bioquímica de oxígeno en esta etapa es la más fluctuante de todas, en el gráfico podemos observar como el sedimentador se encuentra en términos de concentración por debajo que los humedales convencional y modificado, debido a su saturación, lo cual impide que se de una zona anaerobia eficaz, que pueda degradar el oxígeno en el agua, ya que en esta etapa se incremento un 10 % el agua residual, con respecto a la etapa anterior, y como resultado el sistema debe trabajar más para realizar la remoción de contaminantes, lo cual permite ver el proceso de colmatación en las unidades de tratamiento, ya que las remociones de carga orgánica, son menores, que las que se presentan en las primeras etapas.

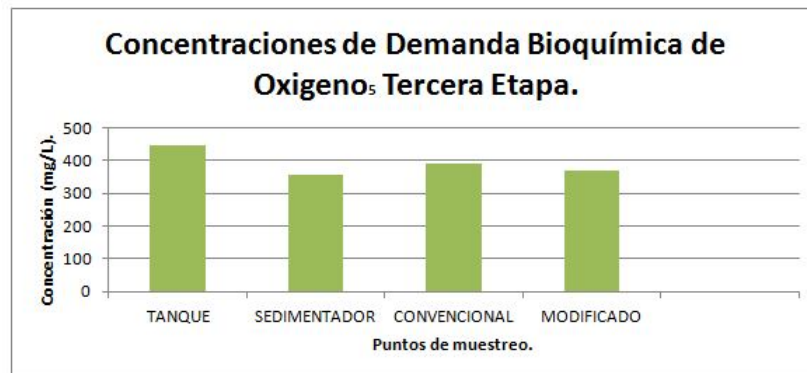


Figura 29: Concentraciones  $DBO_5$ . Tercera Etapa. Gráfico de Barras.

Este gráfico muestra que en términos de concentración, las salidas, las cuales son los humedales modificado y convencional, tienen una concentración mayor a la del sedimentador, esto se debe a que el sistema tiene mayor materia que puede ser degradada mediante oxidación (Contacto aire-agua, zona aerobia) y no de forma biodegradable en términos biológicos en este punto del sistema (Sedimentador);

Luego teniendo en cuenta la diferencia de concentración de materia orgánica, con respecto al tanque de dilución, se concluye que quien tuvo una mayor remoción fue el humedal modificado.

Se observa que el humedal modificado, tiene la mayor remoción de DBO, esto es dado, porque en este punto del experimento, la cantidad de sólidos que saturan este humedal, impiden el proceso fotosintético de las plantas, dejando así, todo el oxígeno disuelto en ellas, y permitiendo que se degrade de manera biológica, lo que conlleva a una mayor remoción del mismo.

### 5.3.3. Sólidos Suspendidos Totales.

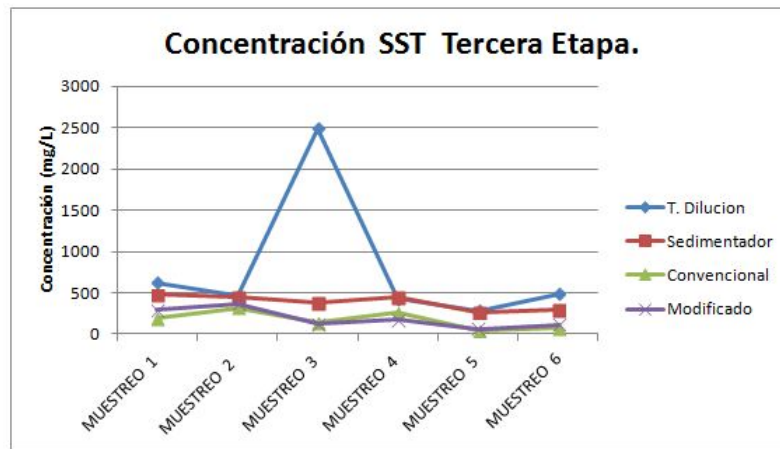


Figura 30: Concentración de SST en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa.

Se observa que los sólidos tienen un comportamiento lineal, en términos en que las concentraciones de las entradas son mayores a las de las salidas, también se percibe que hay 3 muestreos en los cuales la concentración de sólidos en el sedimentador es igual que en el tanque de dilución, esto se debe al aumento de la carga orgánica, lo cual hace que el sedimentador se sature de sólidos, y de esta manera aumentar su concentración; Los humedales de salida, convencional y modificado, presentan concentraciones similares.





Figura 31: Concentraciones SST. Tercera Etapa. Gráfico de Barras.

El gráfico de barras nos muestra que en términos de remoción es mejor el humedal convencional, esto se da porque la construcción de la unidad de tratamiento la cual evita que la saturación del humedal sea tan rápida en comparación con el humedal modificado.

#### 5.3.4. NITRÓGENO TOTAL KEJDHAL.

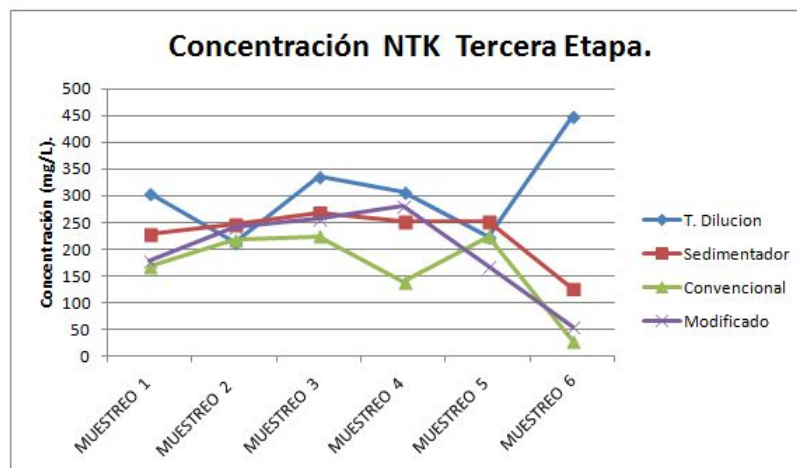


Figura 32: Concentración de NTK en los diferentes puntos del sistema a través del tiempo. Tercera Etapa.

En esta etapa el nitrógeno es el más fluctuante, lo cual se debe también a la fluctuación en la DBO, ya que se necesita bastante oxígeno disuelto para el proceso de nitrificación y desnitrificación, además el aumento de carga orgánica hace que se de una mayor producción de nitritos, nitratos, y nitrógeno amoniacal, todos los anteriormente mencionados, son los que constituyen el nitrógeno total, lo cual hace que este parámetro varíe en el tiempo.

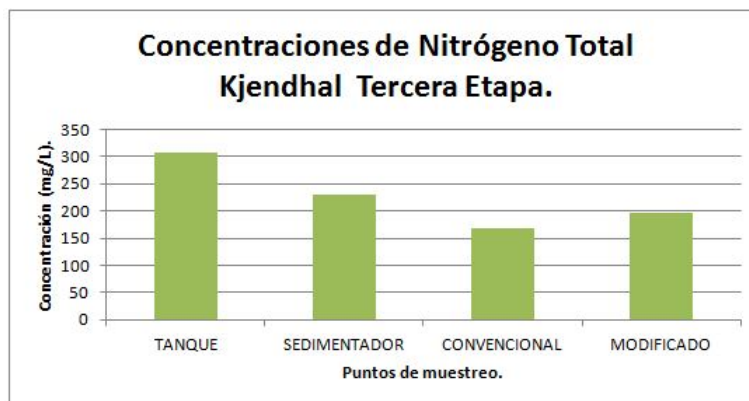


Figura 33: Concentraciones NTK. Tercera Etapa. Gráfico de Barras.

El gráfico de barras nos muestra que en términos de remoción fue mejor el humedal convencional, debido a su poca saturación con respecto al incremento de la carga orgánica.

El nitrógeno en esta etapa tiene una mayor producción de gases, ya que también se da una producción de biomasa por el aumento de la materia orgánica como contaminante, esto hace que la concentración del nitrógeno sea fluctuante durante toda la etapa.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De manera general se observa que es el humedal modificado quien tiene porcentajes de remoción mayores en las primeras etapas, ya que su construcción lo hace mas eficiente para parámetros como DQO, DBO, y NTK, pero en la medida en que se aumentaba la concentración de carga orgánica mediante las diluciones con agua potable, el humedal comenzó a saturarse, lo cual no impedía que hubiera remoción en este, pero hacia que se diera de una manera mas lenta.

Se puede ver que en todo el experimento es el humedal convencional quien en todas las etapas tuvo una mayor remoción de SST, lo cual se da por la construcción de la unidad de tratamiento, ya que la mayoría de los sólidos quedan en una sola unidad de tratamiento, permitiendo que en la otra sean más eficaz y constante la remoción de materia orgánica, la cual consta de dos unidades, una con flujo de agua vertical, y otra con flujo de agua horizontal, esto permite que la saturación y posterior colmatación del mismo se de en un proceso mas lento.

Hay que tener en cuenta los tiempos de retención del sistema, los cuales eran de tres días, explicados de la siguiente manera:

El tiempo en que el agua residual sale del biodigestor y entra al tanque de dilución es constante, posteriormente el agua pasa al sedimentador y tarda una hora para llenarse, luego de esto se descarga el agua a ambos humedales, ya el tiempo de retención del agua en el sistema es de tres días. Los análisis se realizaron el día del muestreo y durante los dos días posteriores a la recolección de la muestra, en el Laboratorio de procesos biológicos de la Universidad Tecnológica de Pereira.

### 6.1. PRIMERA ETAPA.

Primera Etapa % Remoción en masa.				
Interacción \ Parámetro	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	NTK
Tanque- Sedimentador.	24,19	10,12	39,05	14,0
Tanque- H Convencional.	57,65	32,72	74,73	29,25
Tanque- H Modificado.	62,06	37,44	74,13	31,25

Cuadro 62: Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Primera Etapa.

En la tabla anterior observamos los porcentajes de remoción en unidades de materia, desde el tanque de dilución hasta los diferentes puntos de muestreo de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos que se realizaron.

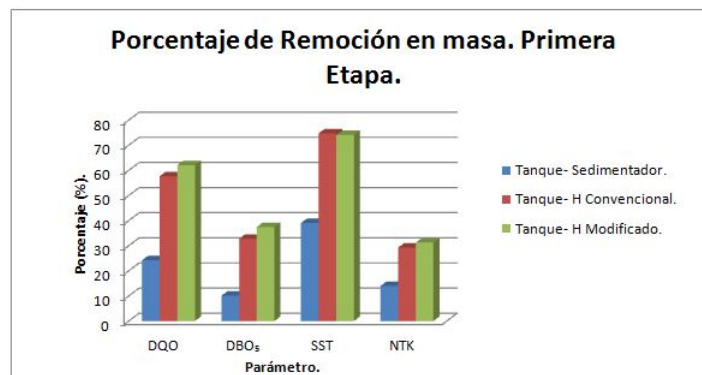


Figura 34: Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Primera Etapa.

Este gráfico de barras muestra la remoción desde el tanque de dilución a los diferentes puntos de muestreo, observamos que la remoción de sólidos desde el tanque hasta el sedimentador es alta, lo cual nos indica el buen funcionamiento del sistema ya que los sólidos aumentan la producción de oxígeno, evitando el paso de luz y proceso de fotosíntesis de las plantas del humedal, aumentando el proceso de degradación por parte de los organismos anaerobios; en esta primera etapa se tenía una dilución de 60 % de agua potable y un 40 % de agua residual, por lo cual la concentración de la materia orgánica es relativamente baja, y el sistema no muestra remociones tan grandes en esta etapa.

De manera general vemos que en términos de remoción desde el tanque de dilución es mejor el humedal modificado para los siguientes parámetros: DQO: 62,06 %, DBO: 37,44 %, NTK: 31,25 %. Esto se debe a que en la unidad de tratamiento coexisten una zona aeróbica y anaeróbica, lo cual hace que el humedal se encuentre parcialmente inundado, lo que contribuye a la oxidación de materia orgánica, el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, ayudando a la producción de biomasa, y la transformación del nitrógeno que se encuentra en la materia orgánica contaminante.

Para sólidos suspendidos totales tiene un mayor porcentaje de remoción el humedal convencional, con 74,13 %, esto se debe a que la unidad de tratamiento está conformada por dos unidades de tratamiento independientes con un flujo de agua individual, por lo cual la sedimentación de los sólidos se da en ambas unidades, logrando así una mayor remoción en este humedal.

Hay que resaltar que la diferencia de remociones entre ambos humedales es pequeña.

## 6.2. SEGUNDA ETAPA.

Segunda Etapa % Remoción en masa.				
Interacción \ Parámetro.	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	NTK
Tanque- Sedimentador.	17,57	19,41	46,28	30,92
Tanque- H Convencional.	60,41	22,62	81,83	58,08
Tanque- H Modificado.	61,21	43,03	79,49	53,34

Figura 35: Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Segunda Etapa.

En esta segunda etapa se tenían diluciones iguales tanto en agua potable como en agua residual, por lo que la concentración de materia orgánica aumentó, la tabla nos muestra los porcentajes de remoción en masa, vemos que la remoción desde el tanque hasta el humedal modificado es más alta en DQO y DBO y en SST y NTK es el humedal convencional quien tiene una mayor remoción.

Con respecto a la primera etapa observamos que las remociones se dan por mitades, es decir en un principio el humedal modificado era quien tenia una mayor remoción en tres de los cuatro parámetros a estudiar, ahora en esta etapa, cada humedal tiene remociones en dos de los cuatro parámetros.

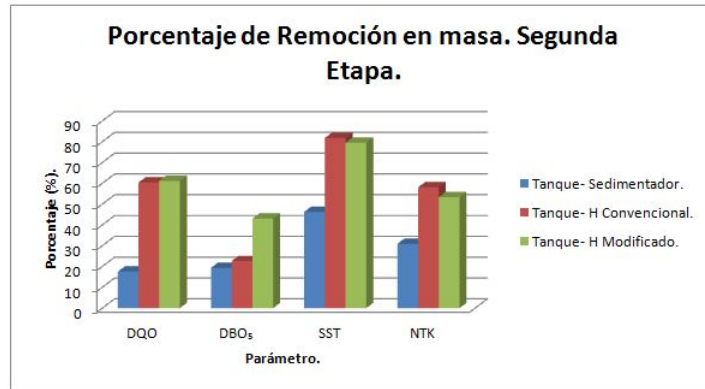


Figura 36: Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Segunda Etapa.

En esta segunda etapa se observa que la remoción del tanque de dilución al sedimentador en los parámetros estudiados se ve continua, esto se da por la remoción de sólidos en las FAFAS, el sistema al tener iguales concentraciones de agua residual y de agua potable en comparación con la primera etapa se observa un aumento de la concentración de materia orgánica, pero deteniéndose puntualmente en los parámetros fisicoquímicos, se detalla como el humedal modificado inicia un proceso de colmatación, ya que al ser el humedal con características de remoción más altas, es mas factible su colmatación con una mayor concentración de contaminante.

Se observa la continuidad de la remoción de sólidos suspendidos totales por parte del humedal convencional.

En esta etapa la mayor remoción de nitrógeno la tiene el humedal convencional con un 5% de diferencia con respecto al humedal modificado, esto se da por el aumento de la carga orgánica en el sistema, lo cual hace que el humedal modificado comience un proceso de colmatación, para el caso específico del nitrógeno, lo que sucede es que en este humedal la carga orgánica es tan alta para el propio sistema que este empieza a eutrofizarse.

### 6.3. TERCERA ETAPA.

Tercera Etapa % Remoción en masa.				
Interacción \ Parámetro.	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	NTK
Tanque- Sedimentador.	37,9	20,31	51,82	25,16
Tanque- H Convencional.	69,03	12,72	78,24	45,42
Tanque- H Modificado.	68,15	17,63	76,1	32,62

Cuadro 63: Porcentajes de remoción de masa en el sistema. Tercera Etapa.

En la tercera etapa se tienen diluciones de 60% de agua residual y 40% de agua potable, lo cual muestra un aumento significativo de la concentración de la carga orgánica, lo cual hace que ambos humedales trabajen mas para remover el exceso de materia orgánica en ellos, en este punto se espera

ver la colmatación de uno de los humedales, ya que a medida que se va incrementando la concentración de materia orgánica en el sistema, en función del tiempo, se espera ver cual de los dos humedales inicia su proceso de saturación por la concentración del contaminante.

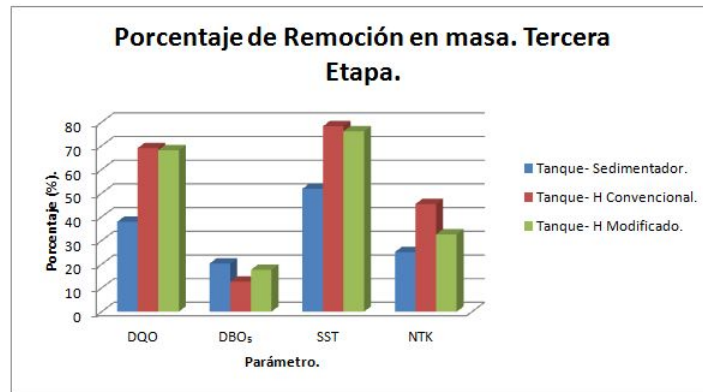


Figura 37: Porcentajes de remoción de masa de cada parámetro estudiado. Tercera Etapa.

En esta gráfica observamos que en los cuatro parámetros químicos estudiados, solamente en la  $DBO_5$ , es el humedal modificado quien tiene un mayor porcentaje de remoción, esto es una muestra de el proceso de colmatación que ocurre dentro de este humedal, ya en los parámetros de DQO, SST, y NTK, es el humedal convencional quien tiene un mayor porcentaje de remoción.

A lo largo de la primera, segunda y tercera etapa se ve como se da la colmatación del humedal modificado, por la disminución de remoción de materia orgánica de manera continua en el tiempo; ya que en la primera etapa era el humedal modificado quien removía tres de los cuatro parámetros establecidos, en la segunda etapa removía dos de los cuatro parámetros y finalmente en la tercera etapa removió en uno de los cuatro parámetros que se estudiaron.

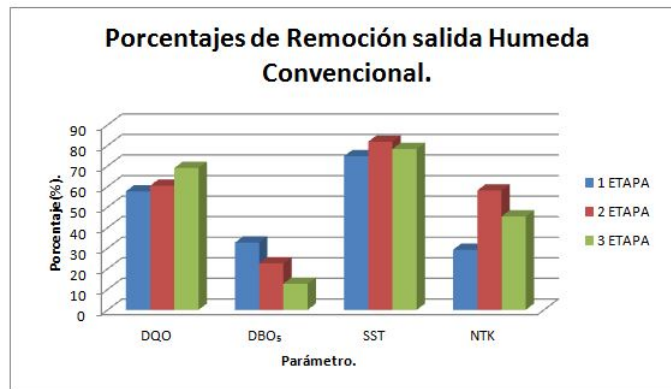
La colmatación del humedal modificado se dio por la acumulación de sólidos en la unidad de tratamiento, al ser una unidad en la que coexisten zona aeróbica y anaeróbica, los sedimentos que se dieron en ambas zonas afectaron el proceso aerobio del humedal, ya que los sólidos impiden el paso de oxígeno, favoreciendo así la degradación de oxígeno en forma biológica ( $DBO_5$ ), pero procesos de oxidación de materia orgánica y transformación del nitrógeno se vieron afectados en la medida del aumento de concentración de materia orgánica como contaminante y a su vez esto en el tiempo, llevo a un bajo rendimiento del humedal modificado con respecto al convencional.

Hay que tener en cuenta que durante todo el experimento la mayor remoción de sólidos suspendidos totales, la tuvo el humedal convencional, dado su diseño como unidad de tratamiento, el cual permitía que los sólidos se sedimentaran en ambas unidades de tratamiento.

El humedal modificado fue quien siempre tuvo una mayor remoción de  $DBO_5$ , ya que a pesar de su colmatación la zona anaerobia que coexiste en este humedal no se vio afectada y pudo continuar con la degradación biológica de la materia orgánica, dando siempre mayores porcentajes de remoción en este parámetro.

% DE REMOCIÓN TANQUE - H. CONVENCIONAL				
	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	NTK
1 ETAPA	57,65	32,72	74,73	29,25
2 ETAPA	60,41	22,62	81,83	58,08
3 ETAPA	69,03	12,72	78,24	45,42

Cuadro 64: Porcentajes de remoción en masa del Humedal Convencional en cada etapa.



Cuadro 65: Porcentajes de remoción en masa en las tres etapas. Humedal Convencional.

El humedal convencional tiene mayores remociones a lo largo de las tres etapas, dado a que la unidad de tratamiento del mismo, evita la saturación rápida de sólidos, ya que la carga orgánica se distribuye en las dos unidades independientes, para finalmente mostrar que es este humedal, quien tiene una remoción lenta pero constante a lo largo del experimento.

% DE REMOCIÓN TANQUE - H. MODIFICADO.				
	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST	NTK
1 ETAPA	62,06	24,19	39,5	14
2 ETAPA	45,98	63,23	80,55	55,77
3 ETAPA	39,11	63,07	74,82	33,08

Cuadro 66: Porcentajes de remoción en masa del Humedal Modificado en cada etapa.

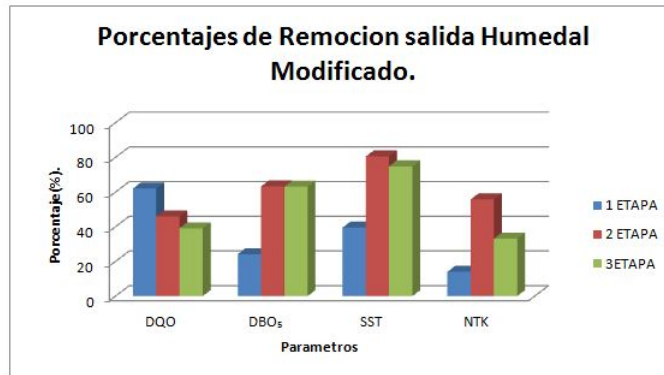


Figura 38: Porcentajes de remoción en masa en las tres etapas. Humedal Modificado.

A lo largo del experimento se observa en este gráfico, como el humedal modificado se satura en materia orgánica, esto no significa que no remueva carga contaminante, pero es comparación con el humedal convencional, su eficacia disminuye, ya que una única unidad de tratamiento se colmatará rápidamente, en comparación con unidades de tratamiento independientes.



## 7. CONCLUSIONES.

- Se determino con variaciones en la concentración del agua residual mediante diluciones y en función del tiempo, la remoción de los sistemas de los humedales convencional y modificado, se encontró que en términos de Sólidos Suspendidos Totales es más eficiente el humedal convencional, dada la construcción de la unidad de tratamiento, lo que evita la colmatación del humedal ya que los sedimentos se reparten en ambas unidades favoreciendo la remoción de los mismos, en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno, es más eficiente el humedal modificado, dado a que en la unidad de tratamiento coexisten zonas aerobias y anaerobias, además de la sedimentación de sólidos lo cual contribuye a la producción de oxígeno, facilitando así la degradación de materia orgánica por parte de bacterias anaerobias dando como resultado una mayor eficiencia de remoción en este parámetro.
- De manera general se observo que en la medida que se aumentaba la concentración de agua residual, disminuía la remoción del humedal modificado referente a los parámetros fisicoquímicos estudiados, lo cual indica el proceso de colmatación que se llevo a cabo dentro del humedal, ya que este solo consta de una única unidad de tratamiento, la cual se ve saturada por los sedimentos de material sólido, lo cual impide que se den los procesos de degradación de materia necesarios, y lleva al humedal a eutrofizarse, dada la excesiva carga de material orgánico que posee.
- El acoplamiento de un sistema vertical y horizontal de agua en una misma unidad de tratamiento de tipo humedal, aumenta la remoción de la carga orgánica contaminante presente y se espera que la eficiencia de este humedal sea alta con respecto a unidades de tratamiento con flujos de agua independientes, en este experimento se observó que bien lo anterior se cumplió en su primera fase, donde la concentración del agua residual era relativamente baja, (En comparación con las dos fases siguientes), al ir aumentando progresivamente la concentración del agua se vio que el humedal acoplado vertical-horizontal, llamado humedal modificado, disminuyo su remoción dado al proceso de colmatación que ocurrió en su interior, ya que este a pesar de que teóricamente era el humedal que tenia características las cuales lo proyectaban como el mejor sistema en términos de remoción, dada su estructura como unidad de tratamiento no soporto la concentración de materia orgánica que se le agrego, llevándolo a si a una proceso de colmatación temprano.
- Las diferencias en términos de remoción entre ambos humedales son pequeñas, debido a que el humedal modificado inicio un proceso de colmatación, este continuaba removiendo de una manera menos significativa, ya que el medio y las plantas no se encontraban saturados en su totalidad por la materia orgánica contaminante.
- Se observo que ambos humedales cumplen con remociones altas dada la materia orgánica que se trato en el agua residual, pero se concluye que de manera general para el tratamiento de aguas residuales provenientes de porcícolas es mejor una unidad de tratamiento como el humedal convencional, ya que dada su construcción soporta altas concentraciones de materia orgánica contaminante, y su proceso de saturación es lento, lo cual hace que tenga grandes remociones en función del tiempo.
- Se realizó un análisis previo de el agua residual a tratar y se encontró que la remoción de las FAFAS llevaría a la pronta colmatación del sistema de humedales, dada la naturaleza del contaminante, ya que si se retiraban las FAFAS los sedimentos sólidos serían más grandes y podrían saturar el sedimentador y posteriormente los humedales, por lo cual se determino utilizar como variable una dilución en el tanque, y las FAFAS como parte de unidad de tratamiento.
- En la tercera etapa se observó que en términos de  $DBO_5$  las salidas de los humedales convencional y modificado tenían concentraciones de materia orgánica mas altas que el sedimentador pero

menores que el tanque de dilución, lo cual demuestra una remoción de este parámetro, pero también señala que en los humedales se tiene mayor materia orgánica que puede ser degradada mediante oxidación con el ambiente y no degrada en términos biológicos, esto no impidió que el humedal modificado siguiera removiendo materia orgánica en términos de la  $DBO_5$ , pero hizo que estas mismas remociones disminuyeran en comparación a las primeras etapas; para que finalmente por un porcentaje de 3% tuviera mayores remociones en Demanda Bioquímica de Oxígeno el humedal convencional.

- Gráficamente se observó como inicio el proceso de colmatación en el humedal modificado, ya que en los gráficos de dispersión como en los de barras se observa la disminución de remoción de este humedal con respecto al convencional en función del tiempo.

## 8. RECOMENDACIONES.

- En el diseño para la construcción de humedales, es recomendable tener en cuenta dispositivos mas precisos para el manejo de las variables que se presenten, como las lluvias, por lo que se hace necesario contar con un equipo de evapotranspiración, para tener certeza de la dilución que se causa en la materia orgánica.
- Los humedales híbridos son una opción económica y amigable con el ambiente para el tratamiento de aguas residuales, pero se recomienda un estudio previo del agua a tratar para encontrar el tipo de humedal mas conveniente para la remoción de los contaminantes que se pretenden tratar.
- Para tratamientos de aguas residuales en porcícolas como la porcícola el Cortijo donde fue realizado el presente proyecto se recomienda un replanteamiento del biodigestor o un mantenimiento continuo en términos de sólidos y sobrecargas hidráulicas, ya que si no se tienen en cuenta al momento en que el agua pasa al tanque de dilución se pueden presentar problemas por un aumento de la concentración, lo cual conlleva al arrastre de sólidos en suspensión que posteriormente se sedimentaran y estos podrían saturar el tanque impidiendo así que el tratamiento del agua residual con los humedales sea efectivo.
- Al realizar el trabajo de la toma de muestras en datos se debe regular la apertura de las llaves y sus respectivas diluciones, además de el mantenimiento que se le debe dar al sistema ya que dado a que se encuentra en un ambiente natural, a este pueden llegar semillas de plantas no deseadas que pueden interferir en la remoción de la materia que se encuentra como contaminante.
- Para realizar un estudio comparativo entre dos tipos de humedales con flujos de agua independientes, se debe controlar variables tales como: Temperatura, cobertura y precipitación, ya que estas inciden en el desempeño y la eficiencia de los sistemas que se pretendan estudiar, por lo cual se recomienda realizar estos estudios en sitios aptos para ellos, con humedales a escala de laboratorio.
- Se debe tener en cuenta la regulación de las concentraciones de las entradas, provenientes del biodigestor, ya que estas deben ser constantes en los días en que se realicen los muestreos para saber en que condiciones viene el agua, y así poder realizar una investigación mas precisa.

## Referencias

- [1] Alianza por el Agua, 2008. Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Monográficos Agua en Centroamérica, Ideasamares.
- [2] Álvarez J., Bécares E. El papel de la Vegetación en Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto del Medio Ambiente. Departamento de Ecología, Genética y Microbiología. Área de Ecología. Universidad de León.
- [3] Alvarez S., 2005. La Descomposición de Materia Orgánica en Humedales: La Importancia del Componente Microbiano. Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas. Revista Científica Técnica de Ecología y Medio Ambiente.
- [4] American Public Health Association, APHA; American Water Works Association, AWWA; Water Environment Federation, WPCF, 2000. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Ed. United States.
- [5] Arcos R., Cantellano E., Nabor A., García R y Solis R., 2000. Remoción de la Materia Orgánica Mediante la Utilización de Humedales Artificiales en la Comunidad de Sta. María Nativitas TEX-COCO EDO. De México. Laboratorio de Contaminación UNAM, Facultad de Estudios Superiores. Zaragoza.
- [6] Arias C., Brix H., 2003. Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Universidad Militar de Nueva Granada.
- [7] Delgadillo J., Pérez J., 2009. Evaluación del Comportamiento de Costos de Semi-variables en la Etapa de Preceba al Instalar un Sistema de Tratamiento de Agua en una Explotación Porcícola. Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias. Administración de empresas Agropecuarias. Corporación Universitaria Lasallista.
- [8] EPA, 1988. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. Center for Environmental Research Information. Cincinnati, USA.
- [9] Escalante V. 2002. Tratamiento de Efluentes de una Granja Porcícola en el estado de Campeche. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Universidad Autónoma de Campeche.
- [10] Lahora A., 2001. Depuración de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales: la EDAR de los Gallardos (Almería). Gestión de Aguas del Levante Almeriense. Almería, España. Pag 1-14.
- [11] Llagas A., Guadalupe E., 2006. Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG.
- [12] Londoño L., Marín C., 2009. Evaluación de la eficiencia de Remoción de Materia Orgánica en Humedales artificiales de Flujo Horizontal Subsuperficial alimentados con Agua Residual Sintética. Facultad de Tecnologías. Escuela de Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [13] Lorion R., 2001. Constructed Wetlands: Passive Systems for Wastewater Treatment. National Network of Environmental Management Studies Fellowship, EPA. United States.
- [14] Magaña A., Drucker A. Sistema de depuración de Aguas Residuales Porcícolas para granjas de 20-80 vientres. Facultad de Ingeniería de La Universidad Autónoma de Yucatán.

- [15] Manejo ambiental en granjas Porcícolas. Asociación Colombiana de Porcicultores. Corporación Autónoma Regional de Risaralda. Convenio de producción más limpia Subsector Eje Cafetero. Folleto.
- [16] Marín J., Correa J., 2010. Evaluación de la Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales en Humedales Artificiales Utilizando la *Guadua Angustifolia* Kunth. Facultad de Tecnologías. Escuela de Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [17] Mena J., Rodríguez L., Nuñez J., Villaseñor J (Universidad de Castilla La-Mancha). Noveno congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales: Ventajas de los sistemas Híbridos. Alquimia Soluciones Ambientales.
- [18] Moreno V., García J. y Villalba J., 2000. Descripción General de los Humedales de Bogotá, D.C. Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias Geográficas.
- [19] Mostacero J., Ramírez R., Mejía F., 2008. Artículo. Caracterización Biológica, Física y Química de los Humedales Altoandinos de la Libertad Perú. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo.
- [20] Peña G., 2007. Comparación del Tratamiento de Lixiviados por Medio de Humedales Artificiales con Otros Sistemas Convencionales de Tratamiento. Centro de Investigaciones de Ingeniería Ambiental. Universidad de los Andes.
- [21] Ramode F. Elementos de Ecología Aplicada. Contaminación biológica de las aguas.
- [22] Ramos Y. y Uribe I., 2009. Planta Piloto para Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de ACESCO por Medio de Humedales Construidos – Láminas filtrantes. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. REDISA.
- [23] Restrepo L., 2007. Cinética e Hidrodinámica en Humedales de Flujo Subsuperficial a Escala Piloto. Facultad de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Libre de Pereira.
- [24] Romero M., Colín A., Sánchez E., Ortiz M., 2009. Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica. Centro de Investigación en Biotecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental.
- [25] Rodríguez T., Ospina I., Humedales Artificiales de Flujo Vertical para mejorar la Calidad del Agua del río Bogotá. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada.
- [26] Setty K. Construction Manual: Constructed Wetlands for Sewage Treatment Bren School of Environmental Science and Management. University of California.
- [27] Silvia A., Zamora H., 2005. Humedales Artificiales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Química. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- [28] Sociedad de Agricultores de Colombia. Ministerio del Medio ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial. Guía Ambiental para el Subsector Porcícola.
- [29] Valencia V., Madera A., 2011. Colmatación de Humedales Construidos de Flujo Horizontal: Un Problema por Resolver. Seminario: Saneamiento Sostenible y Servicios Ecosistémicos. Universidad del Valle.

- [30] Velazco F., Espinosa C., 2010. Estudios de la Fitoremediación en Términos de Remoción de Carga Orgánica, Tratando Aguas Residuales Contaminadas con Hidrocarburos. Facultad de Tecnologías. Escuela de Tecnología Química. Universidad Tecnológica de Pereira.

## 9. ANEXOS.

### 9.1. Resultados de Laboratorio Primera Etapa.

FECHA	DIA	PUNTO	$DBO_5$	DQO	SST	NTK	Q	pH	T(°C)
12-May-10	1	Tanque de dilución.	456	1331	720	224	180	7.41	20.40
12-May-10	1	Sedimentador.	356	1243	500	263	180	7.48	20.13
12-May-10	1	Humedal Convencional.	366	663	235	230	167	7.57	19.00
12-May-10	1	H. Modificado.	421	661	325	218	167	7.57	19.00
19-May-10	8	Tanque de dilución.	532	1500	890	417	180	7.56	20.53
19-May-10	8	Sedimentador.	536	1223	595	409	180	7.58	21.43
19-May-10	8	Humedal Convencional.	396	715	280	339	168	7.57	19.04
19-May-10	8	H. Modificado.	381	647	285	319	168	7.57	19.04
26-May-10	15	Tanque de dilución.	517	1314	600	459	180	7.42	18.50
26-May-10	15	Sedimentador.	457	1140	375	414	180	7.52	18.52
26-May-10	15	Humedal Convencional.	387	748	250	437	183	7.56	18.87
26-May-10	15	H. Modificado.	372	594	235	353	178	7.38	19.05
02-Jun-10	22	Tanque de dilución.	616	1698	905	420	180	7.49	19.23
02-Jun-10	22	Sedimentador.	558	1213	525	364	180	7.49	19.23
02-Jun-10	22	Humedal Convencional.	328	716	265	330	180	7.58	19.03
02-Jun-10	22	H. Modificado.	313	627	260	353	180	7.38	19.08
09-Jun-10	29	Tanque de dilución.	874	2099	1450	521	180	7.50	21.53
09-Jun-10	29	Sedimentador.	1194	1895	1135	493	180	7.53	20.05
09-Jun-10	29	Humedal Convencional.	467	803	1135	493	180	7.53	20.05
09-Jun-10	29	H. Modificado.	387	710	275	361	176	7.56	19.87
16-Jun-10	36	Tanque de dilución.	454	1274	480	266	180	7.59	17.87
16-Jun-10	36	Sedimentador.	384	881	200	238	180	7.58	18.27
16-Jun-10	36	Humedal Convencional.	419	615	70	224	180	7.75	17.98
16-Jun-10	36	H. Modificado.	409	562	40	258	182	7.55	18.23
23-Jun-10	43	Tanque de dilución.	592	1675	2120	623	180	7.59	17.87
23-Jun-10	43	Sedimentador.	456	1151	1130	322	180	7.58	18.27
23-Jun-10	43	Humedal Convencional.	401	648	530	288	170	7.75	17.98
23-Jun-10	43	H. Modificado.	381	551	370	244	172	7.55	18.23
30-Jun-10	50	Tanque de dilución.	753	1453	930	353	180	7.45	18.13
30-Jun-10	50	Sedimentador.	517	1128	635	342	180	7.47	18.10
30-Jun-10	50	Humedal Convencional.	352	458	120	182	163	7.56	17.55
30-Jun-10	50	H. Modificado.	342	505	200	176	178	7.45	17.88
07-Jul-10	57	Tanque de dilución.	518	1118	610	370	180	7.32	18.22
07-Jul-10	57	Sedimentador.	478	894	575	347	180	7.33	18.37
07-Jul-10	57	Humedal Convencional.	528	695	115	319	157	7.49	17.93
07-Jul-10	57	H. Modificado.	393	583	450	291	160	7.37	18.23
14-Jul-10	64	Tanque de dilución.	616	2058	1345	347	180	7.36	18.32
14-Jul-10	64	Sedimentador.	398	918	410	246	180	7.39	18.60
14-Jul-10	64	Humedal Convencional.	343	470	215	179	193	7.41	18.17
14-Jul-10	64	H. Modificado.	308	409	155	179	191	7.32	18.58

Cuadro 67: Punto de Muestreo,  $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Primera etapa.

## 9.2. Resultados de Laboratorio Segunda Etapa.

FECHA	DIA	PUNTO	$DBO_5$	DQO	SST	NTK	Q	pH	T( $^{\circ}$ C)
11-Aug-10	92	Tanque de dilución.	597	1275	1010	403	180	7.38	20.12
11-Aug-10	92	Sedimentador.	397	856	440	336	180	7.41	20.08
11-Aug-10	92	Humedal Convencional.	372	507	270	230	166	7.48	19.50
11-Aug-10	92	Humedal Modificado.	377	691	240	269	171	7.49	19.57
18-Aug-10	99	Tanque de dilución.	594	1549	965	392	180	7.38	20.12
18-Aug-10	99	Sedimentador.	387	878	395	370	180	7.41	20.08
18-Aug-10	99	Humedal Convencional.	272	375	185	151	173	7.48	19.50
18-Aug-10	99	Humedal Modificado.	367	376	180	230	174	7.49	19.57
25-Aug-10	106	Tanque de dilución.	472	2914	605	437	180	7.32	19.65
25-Aug-10	106	Sedimentador.	396	1930	410	392	180	7.33	19.48
25-Aug-10	106	Humedal Convencional.	328	944	145	162	170	7.38	18.70
25-Aug-10	106	Humedal Modificado.	258	998	185	263	170	7.39	19.12
01-Sep-10	113	Tanque de dilución.	756	1949	1505	560	180	7.29	18.42
01-Sep-10	113	Sedimentador.	508	1149	515	470	180	7.30	18.28
01-Sep-10	113	Humedal Convencional.	508	692	270	269	168	7.50	17.83
01-Sep-10	113	Humedal Modificado.	393	628	260	297	170	7.42	18.03
08-Sep-10	120	Tanque de dilución.	717	1868	1270	515	180	7.33	18.60
08-Sep-10	120	Sedimentador.	7171	1603	900	437	180	7.37	18.72
08-Sep-10	120	Humedal Convencional.	509	943	265	252	168	7.46	17.75
08-Sep-10	120	Humedal Modificado.	479	791	420	297	171	7.37	17.90
16-Sep-10	128	Tanque de dilución.	896	2467	2560	997	180	7.41	20.03
16-Sep-10	128	Sedimentador.	1036	1679	1770	392	180	7.40	20.15
16-Sep-10	128	Humedal Convencional.	578	1109	470	420	171	7.62	19.55
16-Sep-10	128	Humedal Modificado.	438	1007	520	426	171	7.59	19.70
22-Sep-10	134	Tanque de dilución.	919	3073	2705	952	180	7.55	19.00
22-Sep-10	134	Sedimentador.	1099	5513	2610	980	180	7.54	19.13
22-Sep-10	134	Humedal Convencional.	679	1777	490	574	169	7.77	18.52
22-Sep-10	134	Humedal Modificado.	460	1179	485	518	169	7.77	18.70
29-Sep-10	141	Tanque de dilución.	1518	3075	3695	1484	180	7.55	19.00
29-Sep-10	141	Sedimentador.	679	1369	645	588	180	7.55	19.00
29-Sep-10	141	Humedal Convencional.	650	844	505	350	169	7.77	18.52
29-Sep-10	141	Humedal Modificado.							

Cuadro 68: Punto de Muestreo,  $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Segunda Etapa.



### 9.3. Resultados de Laboratorio Tercera Etapa.

FECHA	DIA	PUNTO	$DBO_5$	DQO	SST	NTK	Q	pH	T(°C)
10-Nov-10	183	Tanque de dilución.	374	1570	625	306	180	7.38	20.12
10-Nov-10	183	Sedimentador.	407	1072	475	229	280	7.41	20.08
10-Nov-10	183	Humedal Convencional.	382	375	190	167	166	7.48	19.50
10-Nov-10	183	Humedal Modificado.	422	373	290	178	171	7.49	19.57
17-Nov-10	190	Tanque de dilución.	358	895	465	213	180	7.38	20.12
17-Nov-10	190	Sedimentador.	448	1060	445	246	180	7.41	20.08
17-Nov-10	190	Humedal Convencional.	598	709	320	218	173	7.48	19.50
17-Nov-10	190	Humedal Modificado.	568	740	370	241	174	7.49	19.57
24-Nov-10	197	Tanque de dilución.	1028	2975	2485	336	180	7.32	19.65
24-Nov-10	197	Sedimentador.	347	643	375	269	180	7.33	19.48
24-Nov-10	197	Humedal Convencional.	377	395	145	224	170	7.38	18.70
24-Nov-10	197	Humedal Modificado.	437	382	130	258	170	7.39	19.12
01-Dec-10	204	Tanque de dilución.	378	652	425	308	180	7.29	18.42
01-Dec-10	204	Sedimentador.	448	891	445	252	180	7.30	18.28
01-Dec-10	204	Humedal Convencional.	448	409	265	140	168	7.50	17.83
01-Dec-10	204	Humedal Modificado.	448	437	170	280	170	7.42	18.03
09-Dec-10	212	Tanque de dilución.	223	527	285	224	280	7.33	28.60
09-Dec-10	212	Sedimentador.	213	417	265	252	180	7.37	28.72
09-Dec-10	212	Humedal Convencional.	173	199	45	224	168	7.46	17.75
09-Dec-10	212	Humedal Modificado.	233	207	65	168	171	7.37	17.90
15-Dec-10	218	Tanque de dilución.	328	916	485	448	180	7.41	20.03
15-Dec-10	218	Sedimentador.	278	596	290	126	180	7.40	20.15
15-Dec-10	218	Humedal Convencional.	238	246	75	28	171	7.62	19.55
15-Dec-10	218	Humedal Modificado.	136	259	115	56	171	7.59	19.70

Cuadro 69: Punto de Muestreo,  $DBO_5$ , DQO, SST, NTK, Caudal, pH, Temperatura. Tercera Etapa.

**NOTA:** Los parámetros:  $DBO_5$ , DQO, NTK. Mostrados en los cuadros 67,68 y 69; se dan en la unidad [mg/L].

9.4. Estudio Fotografico.

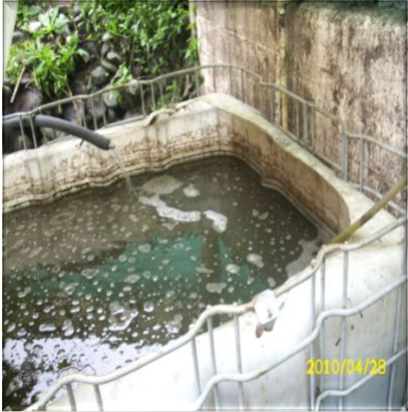


Figura 39: Tanque de dilución. Primera Etapa.



Figura 40: Salida Humedal. Primera Etapa.



Figura 41: Sedimentador. Segunda Etapa.



Figura 42: Salida Humedal Convencional y Modificado. Segunda Etapa.



Figura 43: Tanque de dilución. Tercera Etapa.



Figura 44: Salida Humedal. Tercera Etapa.



Figura 45: Trabajo de laboratorio.