

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA.
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**Evaluación de la Eficiencia de Remoción de un Sistema Natural
de Tratamiento de Aguas Residuales.**

Por:

Marco Antonio Jiménez López

TESIS

Presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo del 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Evaluación de la Eficiencia de Remoción de un Sistema
Natural de Tratamiento de Aguas Residuales.

POR:


Marco Antonio Jiménez López

TESIS

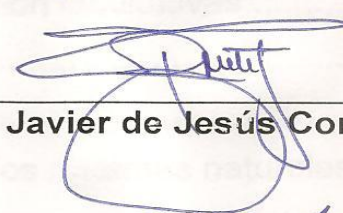
Que somete a consideración del Comité Particular de Asesoría y Aprobada
como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

COMITE PARTICULAR

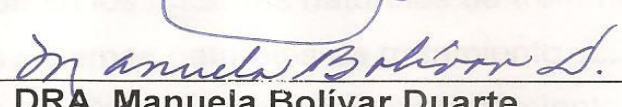
Asesor Principal:


DR. Luis Samaniego Moreno

Co-Asesor:


DR. Javier de Jesús Cortés Bracho

Co-Asesor:


DRA. Manuela Bolívar Duarte

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA.


MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Mayo del 2012
División de Ingeniería

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Aguas residuales	3
2.2. Presencia de patógenos en las aguas residuales	3
2.3. Sistemas naturales de tratamiento en México	4
2.4. Sistemas acuáticos	5
2.4.1. Lagunas de oxidación	5
2.4.2. Lagunas aerobias.....	5
2.4.3. Lagunas anaerobias.....	6
2.4.4. Lagunas de oxidación facultativas	6
2.4.5. Humedales	6
2.4.6. Cultivos acuáticos	6
2.5. Eficiencia de remoción en los sistemas naturales de tratamiento	7
2.5.1. Ventajas de los sistemas naturales de tratamiento	7
2.5.2. Desventajas de los sistemas naturales de tratamiento	8
2.6. Parámetros de contaminación	8
2.6.1. Indicadores biológicos de contaminación.....	9
2.7. Coliformes.....	9
2.7.1. Características de los coliformes	10
2.7.2. Bacterias que integran el grupo coliforme.....	10
2.7.3. Coliformes totales	10
2.7.4. Coliformes fecales.....	11

III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. Localización del sitio de estudio.....	12
3.2. Características del sistema de tratamiento	12
3.3. Características del influente del sistema.....	15
3.4. Fechas y puntos de muestreo.....	17
3.5. Determinación microbiológica.....	16
3.6. Preparación de los medios de cultivo	17
3.7. Procedimiento para la siembra de losmicroorganismos indicadores	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. Determinación de coliformes totales y coliformes fecales.....	21
4.2. Parámetros físico-químicos del agua	25
4.3.Comparaciónde coliformes encontrados con relación a los parámetrosfísico-químicos	28
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES	34
VII.BIBLIOGRAFÍA	35

DEDICATORIA

A DIOS:

Por llenarme de dicha, cuidarme y estar siempre pendiente de mí, de ser mi incondicional en los momentos en que necesito de aliento y paz espiritual.

A MIS PADRES:

A ti madre te dedico todo mis esfuerzos que he realizado durante mi recorrido por la vida, y mis logros por ser la mejor madre.

A ti padre por enseñarme hacer de mi una persona de bien.

A MIS HERMANOS:

Por los momentos que he disfrutado de su compañía; Francisco, Ana y Tere hermosas personas que me brindan todo su amor.

A MIS SOBRINOS:

A Néstor y a Dianita dos angelitos que Dios me ha enviado para entender la razón de vivir.

A MIS AMIGOS:

A Sandrita, Wanerges, Anabel, Irene, Avi, Cancino, Abisay, Kaká, Roberto, Osvaldo, Inés, Julia, Yarith, Eligio y a los que no haya recordado sus nombres.

AGRADECIMIENTOS

A MI DIOS:

Por darme la vida y la oportunidad de culminar este importante proyecto en mi vida y por estar conmigo cada día, gracias Dios mío.

A MÍ GLORIOSA “**ALMA TERRA MATER**”

Por brindarme la oportunidad de seguir superándome como Ing. Agrónomo en Irrigación.

AL DR. LUIS SAMANIEGO MORENO:

Por su asesoría y por compartir sus conocimientos, por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto por su amistad y sus sabios consejos que siempre tendré presente.

A LA DRA. MANUELA BOLÍVAR DUARTE:

Por su valiosa asesoría y conocimientos compartidos en el salón de clases y su orientación en el presente proyecto.

AL DR. JAVIER DE JESÚS CORTÉS BRACHO:

Por sus sugerencias en la revisión del presente escrito, por su sincera y valiosa amistad y el apoyo que siempre me brindó.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del sistema de la UAAAN.....	13
Figura 2. Fosas igualadoras de gasto.....	13
Figura 3. Sistema de pantano construido de flujo subsuperficial	14
Figura 4. Estanque de sedimentación.....	14
Figura 5. Laguna de sedimentación y almacenamiento de agua.....	15
Figura 6. Método de diluciones decimales sucesivas	18
Figura 7. Concentración de coliformes totales en cada punto	21
Figura 8. Concentración de coliformes fecales en cada punto	22
Figura 9. Por ciento de coliformes totales encontrados	22
Figura 10. Por ciento de coliformes fecales encontrados	23
Figura 11. Por ciento de remoción de coliformes totales	23
Figura 12. Por ciento de remoción de coliformes fecales	24
Figura 13. Relación entre coliformes fecales y coliformes totales.....	25
Figura 14. Representación del pH en cada punto de muestreo	26
Figura 15. Representación de la CE en cada punto	26
Figura 16. Representación de la T° en cada punto de muestreo.....	27
Figura 17. Representación de SD en cada punto de muestreo	27
Figura 18. Comparación del pH con respecto a coliformes totales	28
Figura 19. Comparación del pH con respecto a coliformes fecales	29
Figura 20. Comparación de la CE con respecto a coliformes totales.....	29
Figura 21. Comparación de la CE con respecto a coliformes fecales.....	30
Figura 22. Comparación del T° con respecto a coliformes totales.....	30
Figura 23. Comparación del T° con respecto a coliformes fecales	31
Figura 24. Comparación de SD con respecto a coliformes totales	31
Figura 25. Comparación de SD con respecto a coliformes fecales.....	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Representación de las diluciones sucesivas empleadas.....	18
Cuadro 2. Variables de parámetros físico-químicos del agua de muestreo... ..	20
Cuadro 3. Concentración de coliformes totales y coliformes fecales en cada punto de muestreo	20

RESUMEN

Los sistemas naturales de tratamiento se caracterizan por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, así como por el mínimo o nulo uso de energía fósil, siendo utilizados para remover cargas contaminantes en las aguas residuales. Sin embargo, el funcionamiento debe ser evaluado para conocer su eficiencia de remoción, la cual se ha reportado como alta, así, el objetivo principal de estudio fue analizar la eficiencia de remoción de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) del sistema natural de tratamiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para esto, en cinco puntos de muestreo y empleando la técnica de filtración por membrana, se detectaron las concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales, además se midieron “*insitu*” los parámetros físicos del agua resultando en un rango de pH entre 8.63 y 7.43; mientras que para la conductividad eléctrica fue de 1.74 y 1.35 mScm⁻¹; para la temperatura de 19.3° y 10.6° C y para sólidos disueltos de 870 y 670 ppm.

Los resultados indican que la eficiencia de remoción de coliformes totales y coliformes fecales en el sistema de tratamiento alcanza porcentajes del 95 y 92 por ciento, respectivamente, en el periodo de estudio, siendo en los dos primeros procesos el lugar en donde se encuentra la mayor remoción.

Palabras clave: humedales, coliformes, organismos indicadores, contaminación, depuración.

I. INTRODUCCION

El agua es un factor que condiciona el desarrollo de la sociedad, por lo que, someter este recurso a un intenso tratamiento de depuración, tiende a mejorarla.

En la actualidad, la calidad del agua es crítica en algunas regiones del país y se debe fundamentalmente a la contaminación por efluentes provenientes de los desechos domésticos que afectan fuentes de abastecimiento de agua. Esto trae como consecuencia la proliferación de enfermedades y el deterioro irreversible del medio ambiente (Quipuzco, 2001).

Existen sistemas naturales de tratamiento que se definen como el proceso o técnicas que eliminan sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales, sin el empleo de algún aditivo químico. Habitualmente se diferencian dos grupos de técnicas de depuración natural; los métodos de tratamiento mediante aplicación sobre el terreno y los sistemas acuáticos. En ambos, el efecto depurador se debe a la acción combinada de la vegetación, del suelo y de los microorganismos presentes en ambos, y en menor medida, a la acción de plantas y animales superiores (Moreno, *et al.* 2003).

Los sistemas de tratamiento pueden ser evaluados mediante organismos indicadores de contaminación. En la Universidad Autónoma Agraria Antonio

Narro (UAAAN), se cuenta con un sistema de tratamiento natural que cuenta con 25 años de funcionamiento, el cual se encarga de disminuir la carga contaminante generada en diferentes áreas de la universidad. Sin embargo, no se cuenta con registros de evaluaciones anteriores de la eficiencia de tratamiento.

Los sistemas de tratamiento natural pueden tener una importante contribución en la remoción de cargas contaminantes por lo que en la UAAAN se opta por evaluar la presencia de indicadores bacterianos, como coliformes totales y fecales, complementando la información con el análisis de los parámetros físico-químicos: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura (T°), Sólidos Disueltos (SD).

1.1. Objetivos

Evaluar la eficiencia de remoción del sistema natural de tratamiento de aguas residuales de la UAAAN, por proceso y de manera global del sistema.

Evaluar la existencia de una relación entre la remoción de coliformes, respecto a los parámetros físico-químicos: pH, CE, SD, T°.

II. REVISION DE LITERATURA

El agua constituye un recurso importante para la sociedad, con el crecimiento de la población se ha generado que el consumo del agua para las diferentes actividades vaya en aumento, trayendo como consecuencia que la calidad de este vital líquido se vea alterada por una serie de microorganismos patógenos y compuestos químicos, entre otros, denominándosele aguas residuales (Esponda, 2001).

2.1. Aguas Residuales

Se les define como aguas residuales a aquellas que tienen una composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas (Semarnat, 2006).

2.2. Presencia de Patógenos en Aguas Residuales

La presencia y extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. El análisis de muestras de agua para determinar la presencia de miembros del grupo coliforme, que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación. Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación fecal (Moreno, *et al.*, 2003).

2.3. Sistemas de Tratamientos Naturales en México

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores. En el año 2009, las 2,029 plantas en operación en el país trataron $88.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, es decir el 42 por ciento de los $209.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ recolectados. Para el tratamiento de estas aguas, México cuenta con 2,186 plantas de tratamiento de aguas residuales en las cuales, el 24 por ciento son conformadas por los sistemas naturales (Semarnat, 2011).

En la actualidad México ha adoptado tecnologías no convencionales, entre éstas se encuentran los sistemas naturales de tratamiento, los cuales se caracterizan, en general, por su escasa necesidad de personal de mantenimiento, consumo energético reducido y baja producción de lodo. Sin embargo, un factor limitante, es que requieren mayor superficie de terreno disponible que los métodos convencionales (entre 4 y $40 \text{ m}^2/\text{habitante}$ equivalente) lo que limita su uso a pequeños núcleos de población donde la presión urbanística es menor (Moreno, *et al.*, 2003).

El mismo autor define a los sistemas naturales de tratamiento como aquellos procedimientos o técnicas en los que la eliminación de las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas se produce por componentes del medio natural, no empleándose en el proceso ningún tipo de aditivo químico. Habitualmente se diferencian dos grandes grupos de técnicas de depuración natural: los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción combinada de la vegetación, del suelo y de los microorganismos.

2.4. Sistemas Acuáticos

Los métodos acuáticos de tratamiento constan de tres tipos básicos los cuales disminuyen las cargas orgánicas por medio de microorganismos y plantas acuáticas. Entre ellos están: lagunas, humedales y plantas acuáticas (Delgadillo, *et al.*,2010).

2.4.1. Lagunas de oxidación

Son excavaciones de poca profundidad en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, el parasitismo, la hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario. Este sistema es efectivo en costos cuando se dispone de suficiente terreno para construirlas; es decir, el costo de la tierra no es de un valor limitante (Calvo, 2004).

2.4.2.Lagunas aerobias

Estos sistemas se caracterizan porque existe oxígeno en todos los niveles de profundidad. Los procesos aeróbicos tienen la ventaja de que aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (en condiciones de suficiente oxígeno) y no producen gases malolientes como resultado de la acción bacteriana. La desventaja de este proceso es que normalmente se requiere energía externa para producir la aireación necesaria(López, 1997).

2.4.3. Lagunas anaerobias

Cuando la carga orgánica es grande, predomina la fermentación sin oxígeno. Actuando bacterias anaerobias y gases malolientes y por esta razón, las plantas de tratamiento anaeróbicas se construyen como estructuras cerradas con control de emisión de gases para evitar molestias al entorno (Mejía, 2000).

2.4.4. Lagunas de oxidación facultativas.

Es el caso que opere como una mezcla de las dos anteriores, la parte superior aerobia y el fondo anaerobio. Esta situación es la más común en una laguna de oxidación expuesta al ambiente (Soluciones Ambientales, 2007).

2.4.5. Humedales

En estos tipos se encuentran los superficiales y subsuperficiales, son sistemas pasivos de depuración diseñados para potenciar la descomposición de los materiales degradables contenidos en el agua residual con mecanismos que se dan de forma espontánea en la naturaleza tanto a nivel físico-químico como biológico (De Saint, 2005).

2.4.6. Cultivos acuáticos

Estos sistemas están compuestos por especies flotantes, especies semisumergidas y especies sumergidas. En la de especies flotantes las plantas se encuentran en la superficie del agua del humedal, las cuales proliferan en

condiciones de autrofización, mientras que las semisumergidas, son aquellas plantas que tienen la raíz en el fondo del humedal, pero las hojas las tienen sobre la superficie, por lo tanto desarrolla el proceso de fotosíntesis. Por otro lado en las emergentes, la mayoría de las macrofitas recuperan nutriente por medio de sedimentos anaerobios, sirven como hospederos de invertebrados y brindan alimentos a peces, entre otros (Muños y Fernández, 2011).

2.5.Eficiencia de Remoción en los Sistemas Naturales de Tratamiento

Estudios realizados en sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales indican que, con una buena operación de estos sistemas se consigue una elevada reducción de organismos patógenos de hasta el 99.9 por ciento (Lara, 2009).

El uso de estos sistemas también puede ser utilizado para el tratamiento de aguas residuales de industrias con elevada cantidad de materias biodegradables (lecheras, fábricas de conserva). Así también pueden generarse biomasa como son peces y plantas, (Lara, 2009).

2.5.1. Ventajas de los sistemas naturales de tratamiento

Entre algunas de ventajas de estos sistemas se encuentran:

Altos rendimientos en la disminución DBO_5 , sólidos en suspensión, nutrientes y patógenos.

Permite regular y almacenar agua que por sus características es sanitaria y agrícolamente apta para el riego.

La retirada de lodos se realiza cada 5-10 años, dependiendo del agua residual (Moreno, *et al.*, 2003).

2.5.2. Desventajas de los sistemas naturales de tratamiento

Entre otras desventajas se puede mencionar que estos sistemas, necesitan superficies de aplicación relativamente extensas, producen elevadas pérdidas de agua por evaporación. A veces las aguas depuradas presentan una elevada concentración de algas y son de difícil adaptación a los cambios climáticos (Moreno, *et al.*, 2003).

2.6. Parámetros de Contaminación

Para la determinación de la eficiencia de los sistemas naturales de tratamiento existen parámetros a evaluar de los cuales los más comunes son:

Demanda bioquímica de oxígeno. (DBO₅)

Demanda química de oxígeno. (DQO)

Determinación de sólidos disueltos. (SD)

Determinación total de oxígeno (DTO).

Entre éstas, una de las formas biológicas que ofrecen información acerca de la calidad del agua, puede ser la evaluación de coliformes fecales y totales (Lucero, *et al.*, 2010).

2.6.1. Indicadores biológicos de contaminación

Los parámetros biológicos se usan como índices de calidad de aguas. Hay muchos seres vivos que se emplean como indicadores de la calidad del agua. Así, según predominen unos organismos u otros, se puede saber el estado de un agua. Entre estos organismos se pueden citar los que cuenten con las siguientes características: deben tener una supervivencia en el agua superior a los organismos patógenos; soportar mejor a los desinfectantes; ser fáciles de aislar, identificar y contar, ser muy abundantes en heces y escasos en otros medios. Entre los cuales se destaca el análisis de coliformes totales y coliformes fecales (López, 2003).

2.7. Coliformes

Los coliformes son bacterias que están naturalmente presentes en el medio ambiente y se utilizan como indicadores de contaminación, los cuales son potencialmente dañinas, la presencia de estas es una advertencia de problemas potenciales de contaminación (EPA, 2011).

Los coliformes fecales y E. Coli son bacterias cuya presencia indica que el agua puede estar contaminada por desechos humanos o animales. Microbios de esos desechos pueden causar efectos a corto plazo, tales como diarrea, cólicos, náuseas, dolores de cabeza u otros síntomas. Que pueden suponer un riesgo la salud de bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos (EPA, 2011).

2.7.1. Características de los coliformes

Estas responden a cuyas bacterias con características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua.

Este grupo contempla a todas aquellas bacterias entéricas que se caracterizan por:

Comprende todos los bacilos aerobios o anaerobios facultativos Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa a 35°C a 37°C con producción de gas y ácido en un periodo de 24 h a 48 h (Semarnat, 2006).

2.7.2 Bacterias que integran el grupo coliforme

El grupo coliforme está integrado por las bacterias(Castro, 2007).

1. Escherichia.
2. Klebsiella.
3. Enterobacter.
4. Citrobacter.

2.7.3. Coliformes totales

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo (Calidad microbiológica, 2000).

2.7.4. Coliformes fecales

Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de las 24 ± 2 horas. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichiacoli*. (Burchard, 2005).

La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Sitio de Estudio

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, entre las coordenadas geográficas 25°21'18" latitud Norte y 101°2'5" longitud Oeste, con una elevación de 1767 msnm. El clima de la región es seco desértico. La temperatura media anual fluctúa entre 11.28 °C y 15.29 °C. Siendo frecuente los frentes fríos en invierno.

3.2. Características del Sistema de Tratamiento.

El sistema de tratamiento de la UAAAN, consta de los siguientes componentes, (Figura 1).

- a). Dos fosas igualadoras de gasto (Figura 2) con medidas de 8 m de largo, 10 m de ancho y 0.6 m de profundidad, cada una. Con plantas acuáticas o macrófitas (también llamadas plantas hidrofíticas o hidrofitas) principalmente lirio acuático (*Eichhorniacrassipes*).
- b). Sistema de pantanos construidos (Figura 3) cuenta con dos celdas paralelas de 40 m de largo, 10 m de ancho y 0.6 m de profundidad cada una, el flujo de aguas es subsuperficial, la planta dominante es el carrizo (*Phragmitesaustralis*) y el lecho está constituido de grava de construcción de 0.02 m de diámetro. Una pendiente del 1 por ciento asegura un flujo del agua.

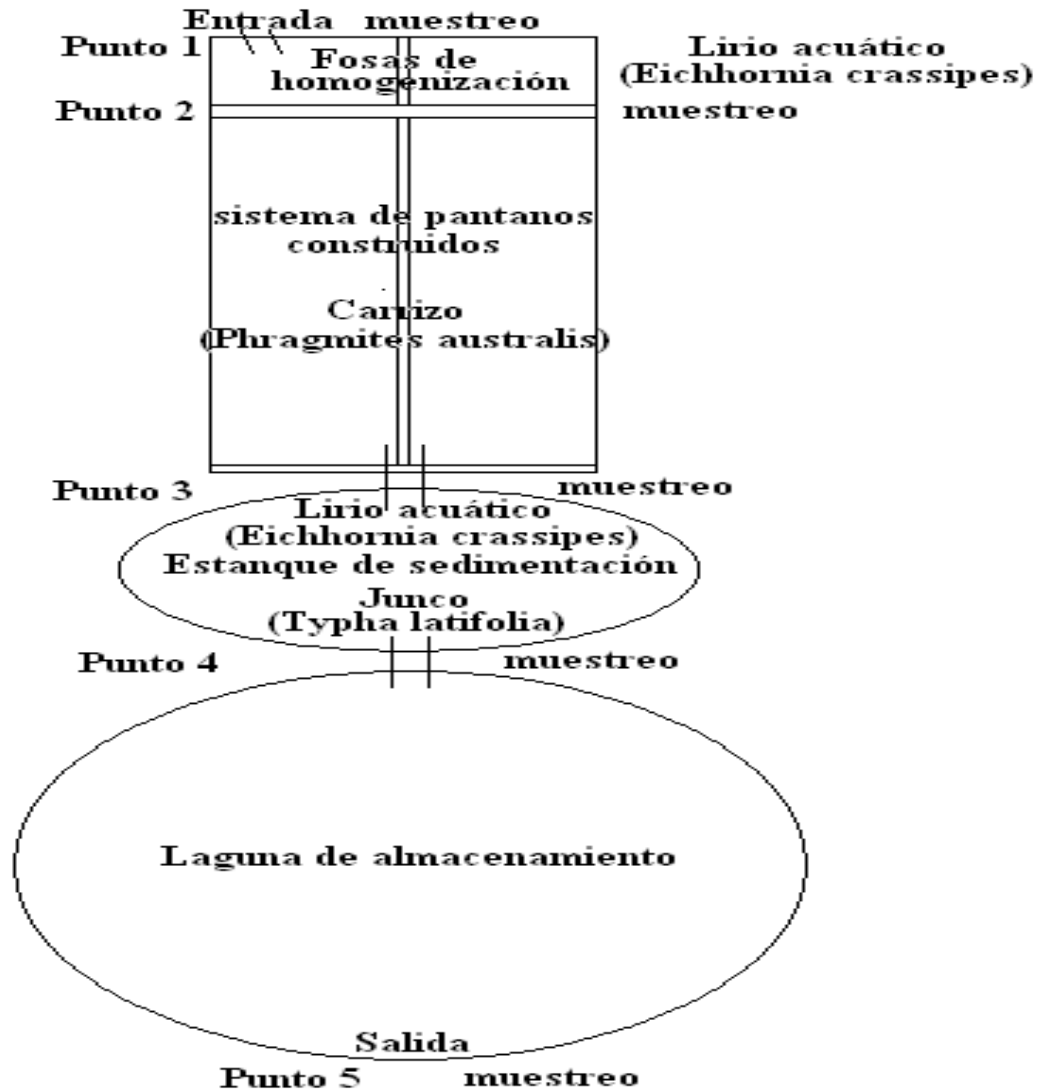


Figura 1. Esquema del sistema de la U.A.A.A.N. (Sin escala)



Figura 2. Fosas igualadoras de gasto.



Figura 3. Sistema de pantano construido de flujo subsuperficial.

c). Estanque de sedimentación (Figura 4) de capacidad aproximada de 250 m³ con 17.0 m de largo, 24.5 m de ancho y 0.6 m de profundidad. En esta etapa existe una variedad de plantas. La salida del agua de este proceso es de manera puntual.



Figura 4. Estanque de sedimentación.

d). Laguna de sedimentación o almacenamiento (Figura 5) de capacidad aproximada de 1098 m³, de 61 m de largo, 30 m de ancho y 0.6 m de profundidad. Su disposición final es el riego agrícola para los proyectos de prácticas agropecuarias y de emprendedores.



Figura 5. Laguna de sedimentación y almacenamiento de agua.

Los procesos en los que el sistema somete al agua residual son los siguientes:

- a) Homogenización y sedimentación: en el primer componente del sistema ocurre una homogenización de gastos, esto para lograr una mayor eficiencia en la depuración y disminuir la velocidad del influente. Realiza también la sedimentación ya que en estos tanques igualadores ocurre una separación de lo sólido y líquido.
- b) Depuración: La existencia de plantas como el carrizo (*Phragmites australis*), es la responsable de que en esta parte del sistema ocurra el proceso de depuración. También cabe mencionar que el tipo de sustrato que tiene mucho aporte en estos sistemas, en este caso el sustrato es grava, lo cual lo caracteriza por soportar muchos organismos vivos, sobre todo las transformaciones químicas que suceden en el sustrato.
- c) Filtración: este proceso se encarga en filtrar las partículas de mayor tamaño.

- d) Almacenamiento: una vez tratada, el agua se almacenan en la laguna la cual es utilizada en el desarrollo de proyectos agrícolas.

3.3. Características del Influyente del Sistema

El influente del sistema de tratamiento procede de varias partes de la Universidad que van desde dormitorios, área del comedor y otros edificios que se dedican a la docencia, así como áreas de investigación científica en el área de la agronomía, por lo que está formada por una mezcla de aguas de sanitarios, jabonosas y de laboratorios, por lo que probablemente exista un aporte de sustancias químicas (orgánicas e inorgánicas).

3.4. Fechas y Puntos de Muestreo

Para conocer el nivel de eficiencia del sistema se recolectaron y analizaron muestras tomadas el 20 de enero del 2012 en 5 puntos de muestreo que se presentan en la figura 1. Para el análisis de la remoción microbiológica se tomaron muestras de agua de los siguientes puntos:

Punto 1. Entrada de agua al sistema.

Punto 2. Entrada al humedal artificial.

Punto 3. Entrada al tanque de sedimentación.

Punto 4 y 5. Entrada y salida, respectivamente, de la laguna de sedimentación o almacenamiento.

El muestreo se hizo con botellas de vidrio previamente esterilizadas, las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN, no siendo necesario colocarlas en hielo, debido a la cercanía del sistema de tratamiento y el laboratorio.

3.5. Determinación Microbiológica

La determinación de los indicadores de contaminación se llevo a cabo mediante la técnica defiltración por membrana (Semarnat, 2006), utilizando como agar M-Endo y MFC (Difco, EE.UU.) para coliformes totales y fecales respectivamente y filtros de membrana de nitrocelulosa de 47 mm de diámetro y 0.45 μm de tamaño de poro (Whatman, EE.UU.) empleando además la técnica de diluciones decimales sucesivas.

3.6. Preparación de los Medios de Cultivo

Los medios de cultivos se prepararon de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

3.7. Procedimiento Para la Siembra de los Microorganismos Indicadores.

Se realizaron diluciones decimales sucesivas para evaluar la concentración en la que se encuentra los Coliformes Totales y Coliformes Fecales, en cada uno de los puntos de muestreo del sistema de tratamiento.

Las diluciones decimales sucesivas (Figura 6) consistieron en tomar una alícuota de 0.3 mL de agua residual, a partir de esta, tomar 0.3 mL de la primera dilución y descargándolo en un tubo de dilución que contenga 2.7 mL de diluyente (agua destilada estéril), conservando el principio de esta técnica que es mantener la relación de 1:9 entre muestra y diluyente respectivamente. Se obtuvo las diluciones a emplear en esta investigación, las cuales son presentadas en el Cuadro 2.

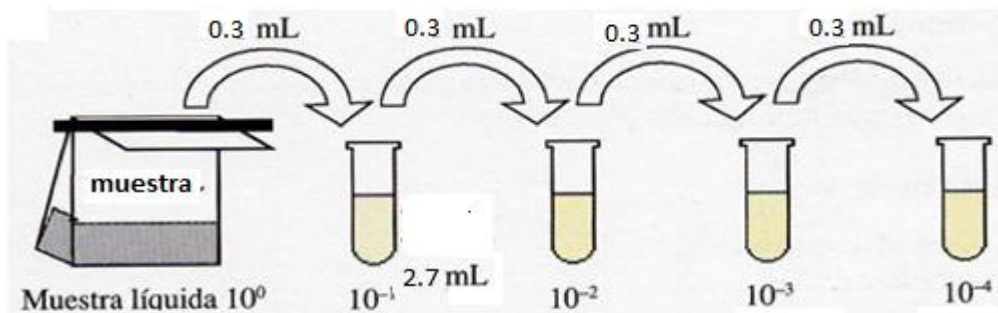


Figura 6. Método de diluciones decimales sucesivas.

Cuadro 1. Representación de las diluciones sucesivas empleadas.

Punto	Dilución	Dilución	Dilución
1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
2	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
3	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
4	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²
5	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²

De esta forma se obtienen las diluciones 10⁻¹, 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, etc. (es decir 1/100, 1/1000, 1/10000, etc.)

Las diluciones utilizadas se sustentan en que en un previo análisis de prueba realizada el 25 de octubre del 2011, se encontró que éstas son las más adecuadas para realizar el conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC mL⁻¹). El volumen ensayado en la prueba fue de 0.1 mL.

Una vez filtrada la muestra se transfiere la membrana del embudo a las cajas Petri con los medios de cultivo. Posteriormente se invierten las cajas petri y se colocan en las incubadoras a 37 °C para CT y 45 °C para CF. por un tiempo de 24 h. Pasadas 24 h en las incubadoras se realiza el conteo de las unidades formadoras de colonia (UFC) independientemente del tamaño de éstas y cumpliendo con la siguiente característica, las que posean un brillo metálico en el caso de los CT y un color azul en los CF.

Las UFC mL⁻¹ se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$UFC / ml = \frac{UFC \text{ enumeradas}}{(Vol. ensayado * factor _ de _ dilucion)}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al momento del muestreo el sistema contaba con un gasto de aproximadamente 0.80 L s^{-1} . Así mismo se midieron, “*in situ*”, los parámetros físico-químicos; pH, CE, T°, SD. Los cuales son presentados en el cuadro 2.

Cuadro 2. Variables de parámetros físico-químicos del agua de muestreo.

Punto de muestreo	pH	CE mS cm^{-1}	T° °C	SD ppm
1	8.63	1.35	10.6	670
2	7.8	1.46	13.4	820
3	7.83	1.63	14.2	810
4	7.43	1.66	17	830
5	8.13	1.74	19.3	870

pH=potencial de hidrogeno; CE=Conductividad eléctrica; T°;=temperatura; SD= Sólidos disueltos.

Así también en el cuadro 3 se presentan las concentraciones obtenidas en cada punto de muestreo. Lo cual indica la existencia de una reducción de CT así como en CF.

Cuadro 3. Concentraciones de Coliformes Totales y Coliformes Fecales en cada punto de muestreo.

punto de muestreo	Coliformes Totales UFC mL^{-1}	Coliformes Fecales UFC mL^{-1}
1	1723333.3	560000.0
2	1230000	389000.0
3	326666.7	145666.7
4	96000	44856.7
5	90000	39800.0

4.1. Determinación de Coliformes Totales y Fecales

En la evaluación de la calidad microbiológica del agua, se encontró una reducción en las concentraciones de CT y CF en cada punto de muestreo, conforme el agua avanza en el sistema esto se puede apreciar en las figuras 7 y 8. Así mismo se graficó el porcentaje que indican las concentraciones de CT y CF encontrados como se muestran en las figuras 9 y 10. Las concentraciones también indican un nivel de remoción las cuales son presentadas en las figuras 11 y 12.

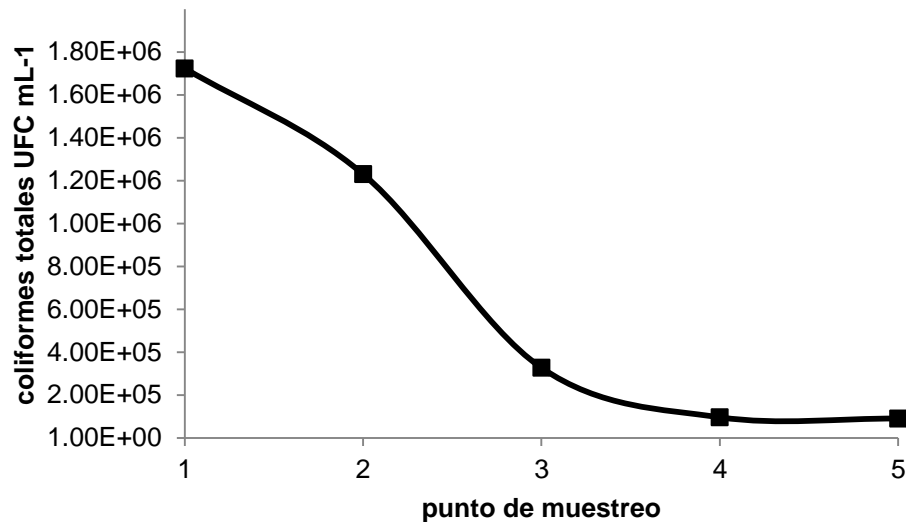


Figura 7. Concentración de Coliformes Totales en cada punto.

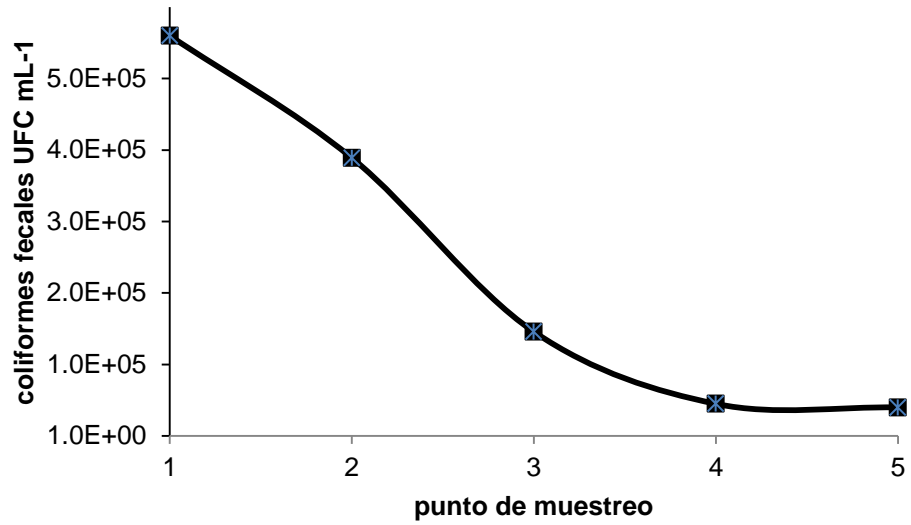


Figura 8. Concentración de Coliformes Fecales en cada punto.

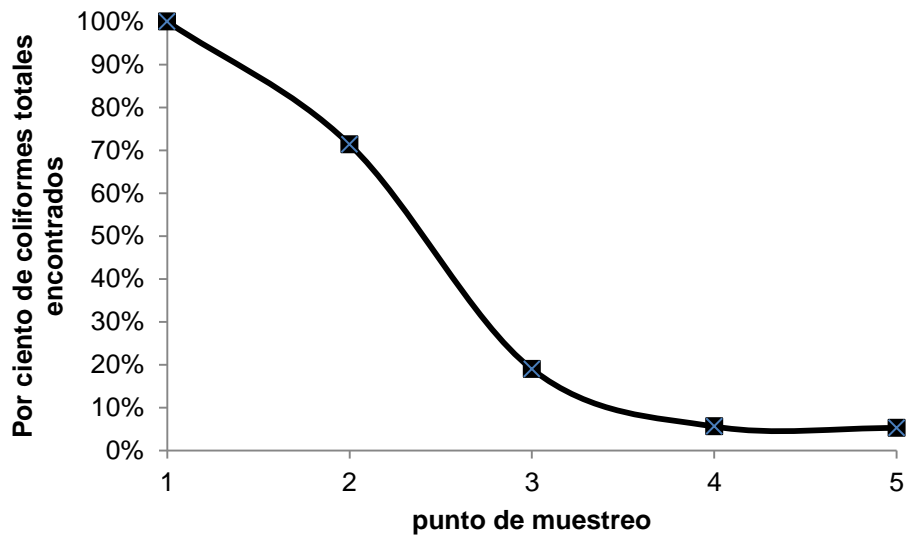


Figura 9. Por ciento de Coliformes Totales encontrados.

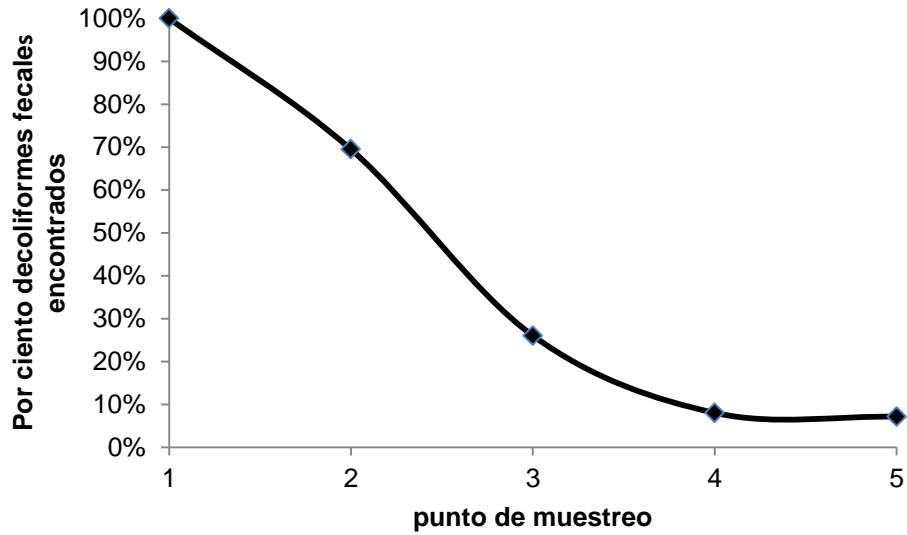


Figura 10. Por ciento de Coliformes Fecales encontrados.

Las figuras anteriores demuestran que existe una reducción en la cantidad de coliformes, en cada punto de muestreo.

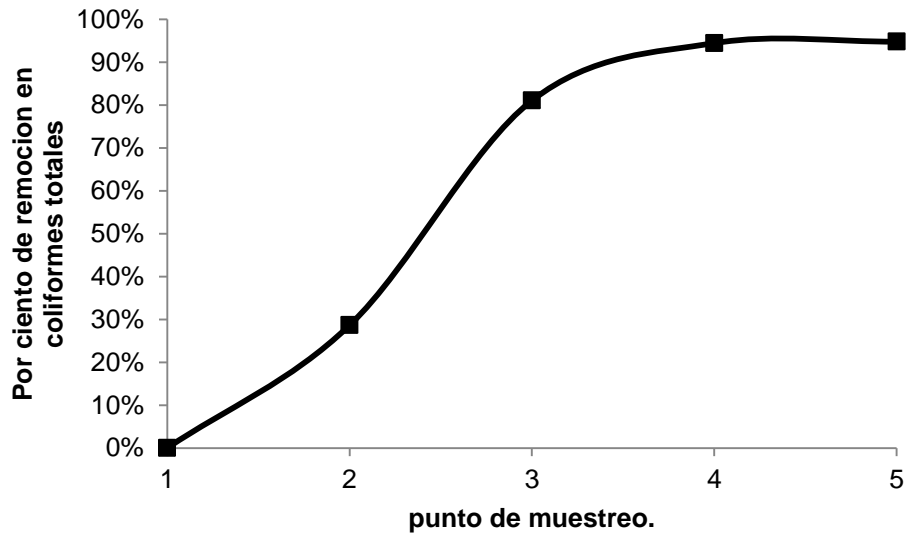


Figura 11. Por ciento de remoción de Coliformes Totales.

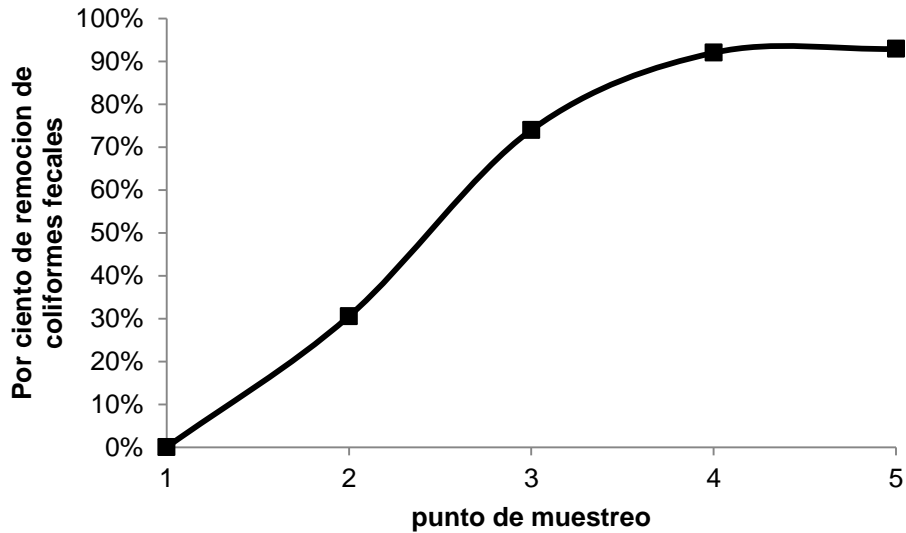


Figura 12. Por ciento de remoción de Coliformes Fecales.

En las Figuras 11 y 12 se aprecia una remoción de hasta un 92 por ciento en coliformes fecales y hasta un 95 por ciento para coliformes totales, indicando que el sistema no se encuentra en su óptima eficiencia ya que otros investigadores han encontrado remoción en estos tipos de sistemas de hasta el 99.9 por ciento.

La Figura 13 muestra la relación que existe entre las concentraciones obtenidas de CT y CF, ya que al realizar una regresión lineal con los datos anteriores, proporcionan una R^2 cercana a uno, lo cual indica una relación muy estrecha entre las concentraciones de coliformes totales respecto a coliformes fecales.

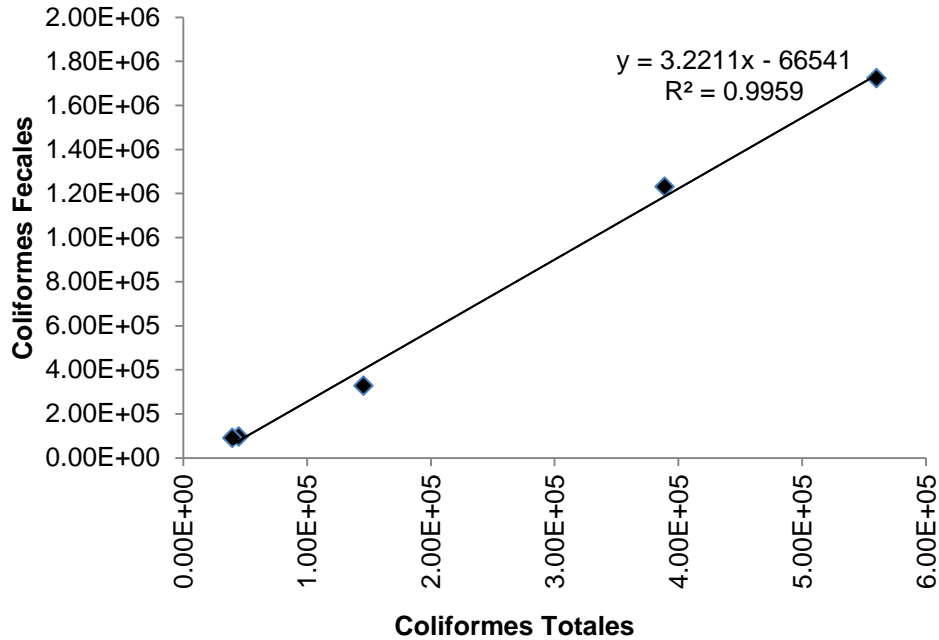


Figura13. Relación entre coliformes fecales y coliformes totales.

4.2. Parámetros Físico-Químicos del Agua del Sistema

Se realizaron mediciones de los parámetros físico-químicos del agua del sistema, para evaluar si existe una relación entre la reducción de coliformes con respecto a pH, CE, T°, SD. Los cuales se presentan en las figuras, 14, 15, 16 y 17.

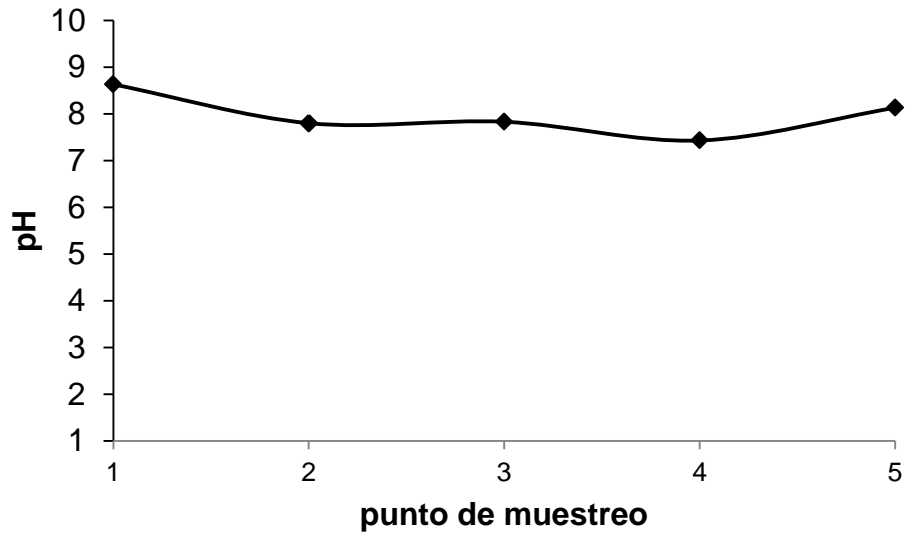


Figura 14. Representación del pH en cada punto de muestreo.

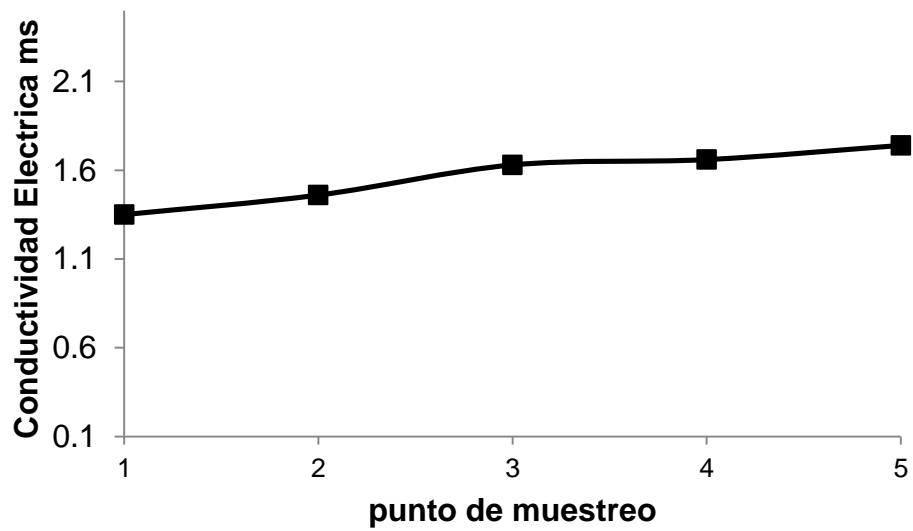


Figura 15. Representación de la Conductividad Eléctrica en cada punto.

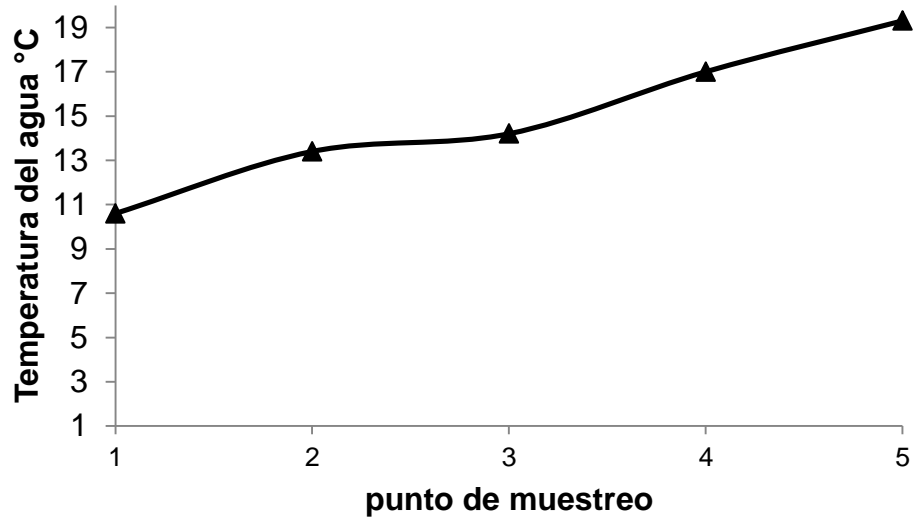


Figura 16. Representación de la Temperatura °C en cada punto de muestreo.

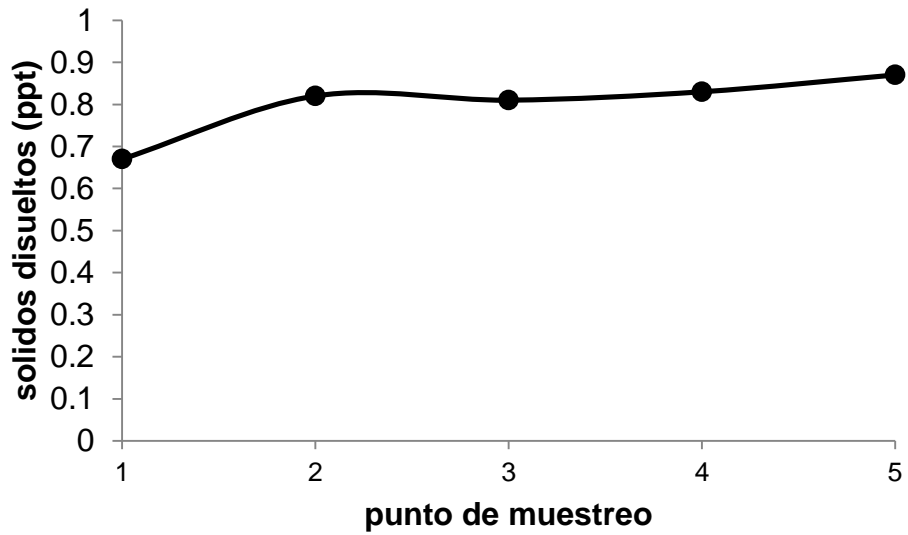


Figura 17. Representación de Sólidos disueltos en cada punto de muestreo.

4.3. Comparación de Coliformes Encontrados con Relación a los Parámetros Físicos

En las Figuras 18-25 se realiza una comparación de la concentración de coliformes y los parámetros físico-químicos medidos en cada punto de muestreo.

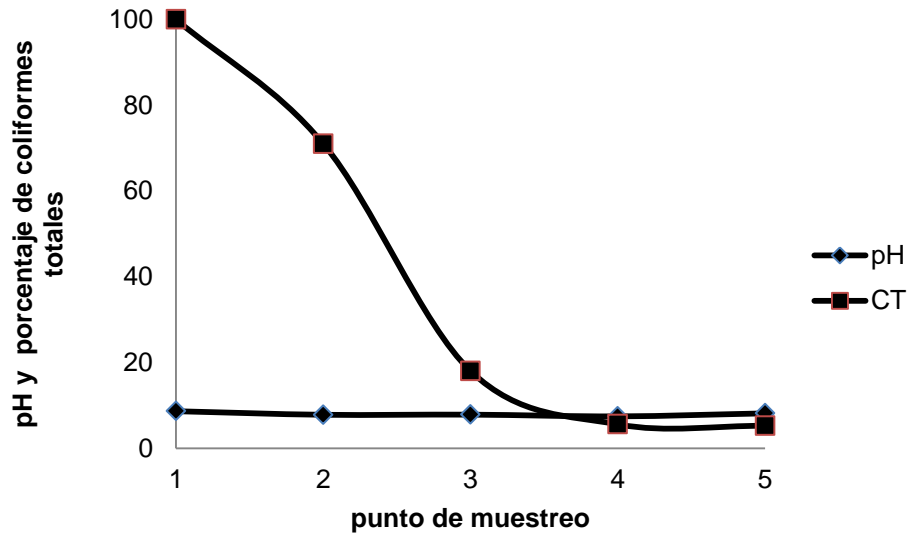


Figura 18. Comparación del pH y con respecto a Coliformes Totales.

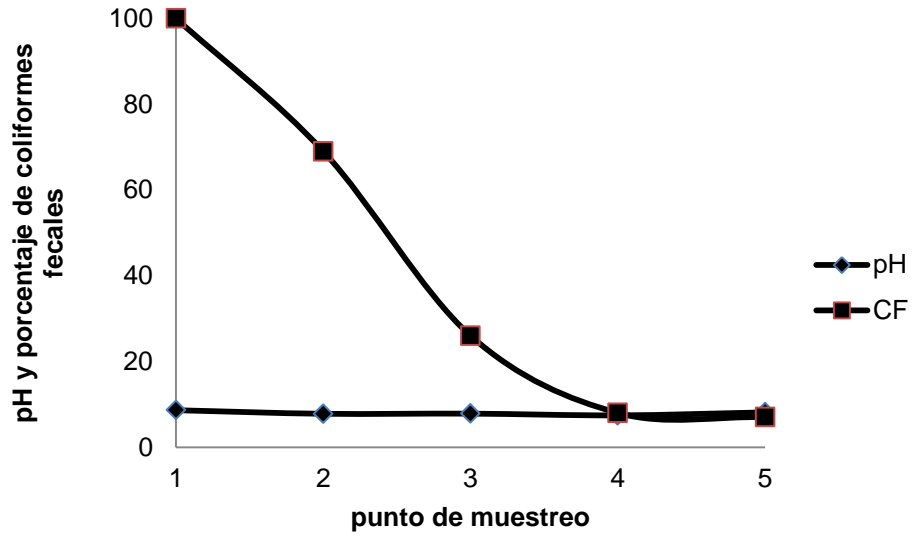


Figura 19. Comparación del pH con respecto a Coliformes Fecales.

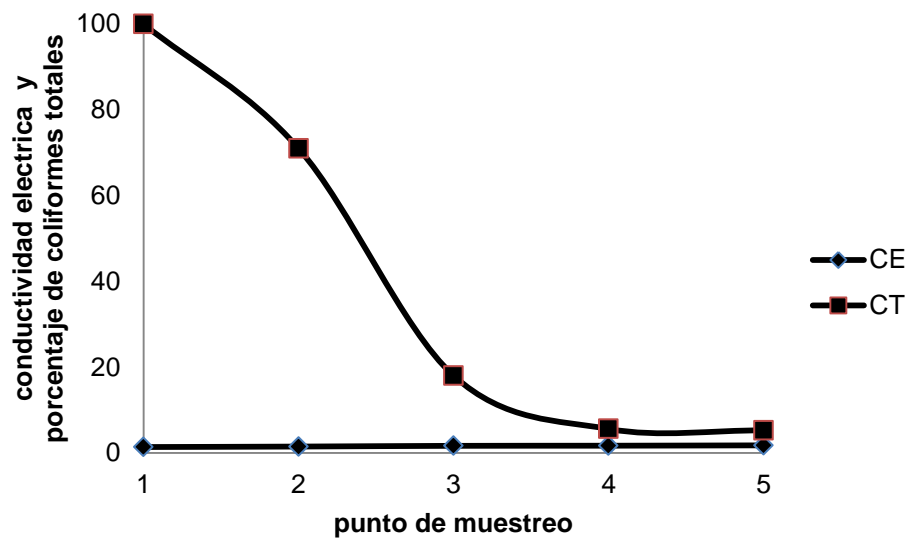


Figura 20. Comparación de Conductividad Eléctrica y con respecto a Coliformes Totales.

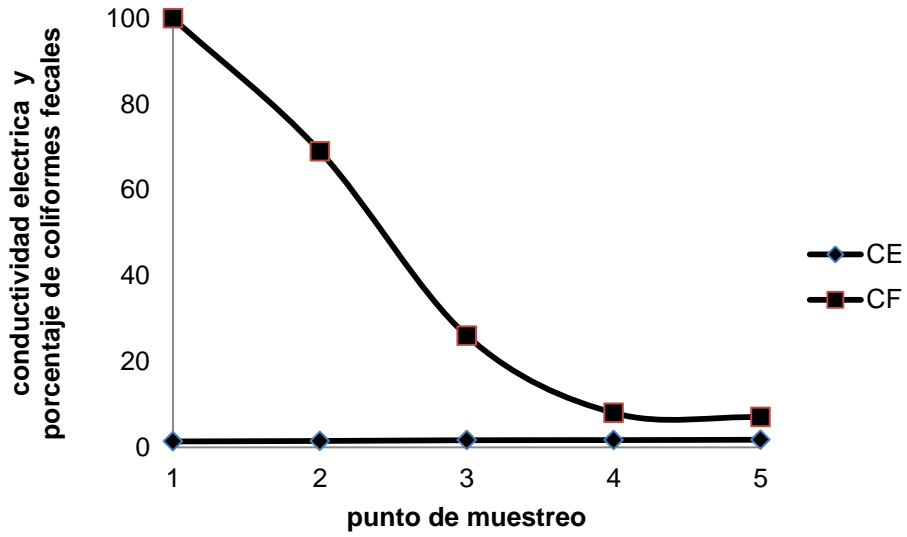


Figura 21. Comparación de Conductividad Eléctrica con respecto a Coliformes Fecales.

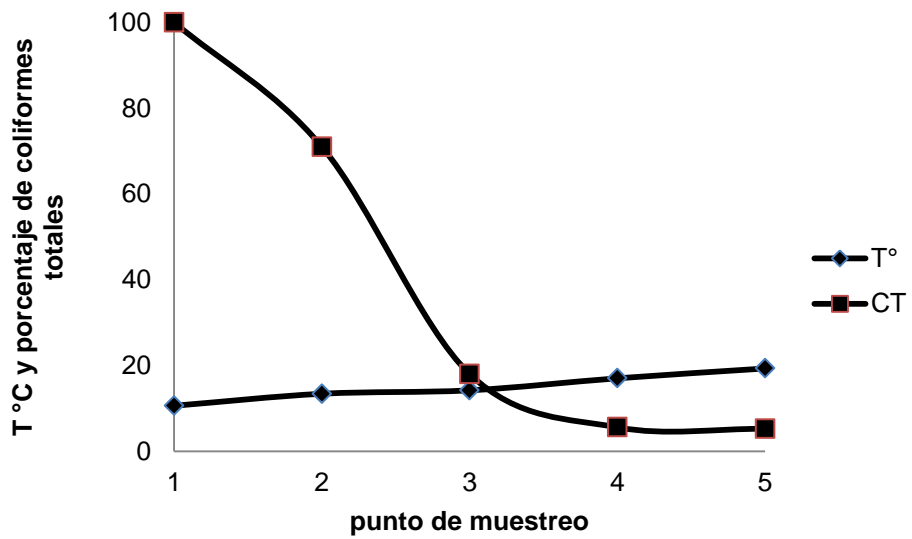


Figura 22. Comparación de Temperatura con respecto a Coliformes Totales.

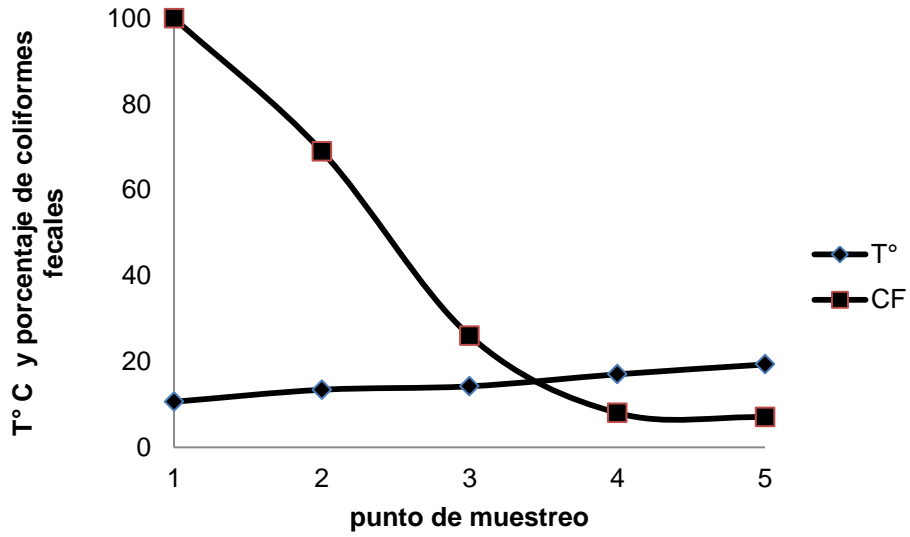


Figura 23. Comparación de Temperatura con respecto a Coliformes Fecales.

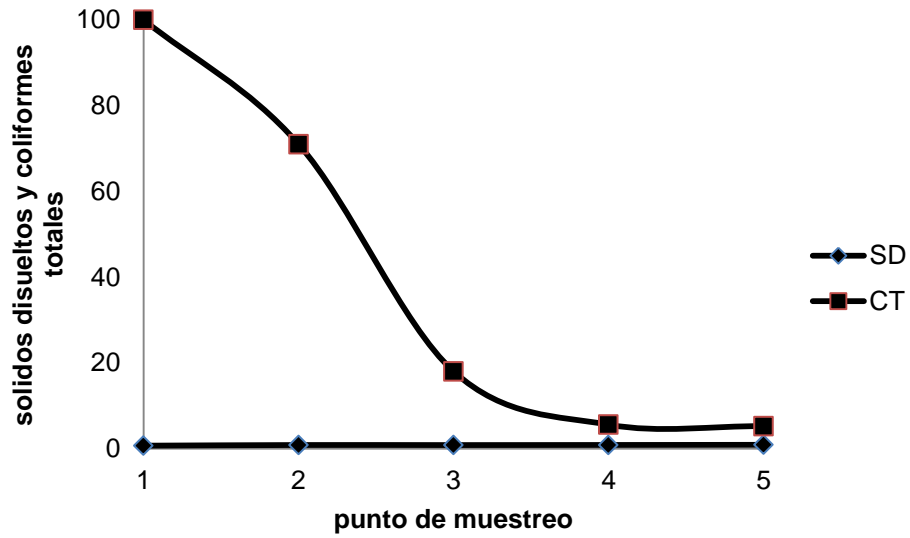


Figura 24. Comparación de Sólidos Disueltos con respecto a Coliformes Totales.

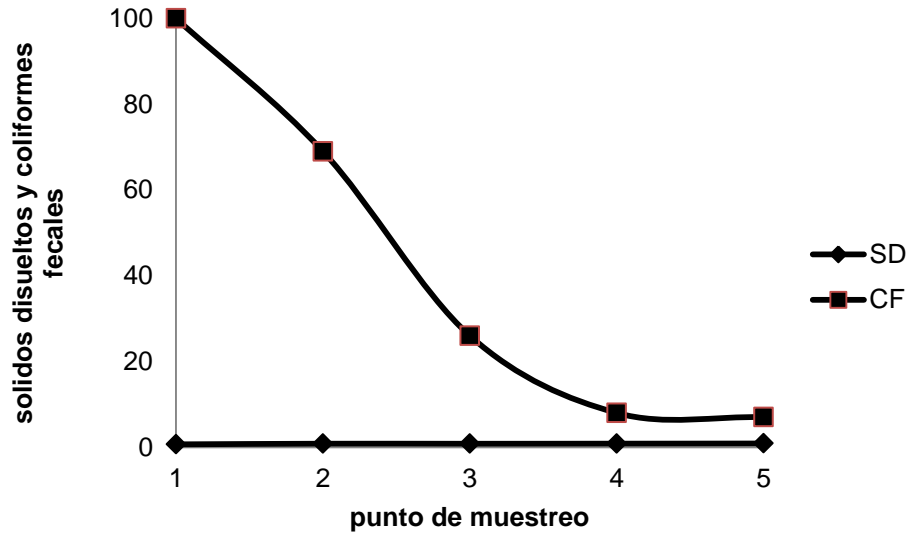


Figura 25. Comparación de Sólidos Disueltos con respecto a Coliformes Fecales.

Como se observa en las Figuras anteriores, no existe relación alguna entre los parámetros físico-químicos y la concentración de coliformes encontrados, esto se sustenta que en cada punto de muestreo existe una reducción de la concentración de coliformes, mientras que los parámetros físico-químicos no sufren alto grado de diferencia.

V. CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, no mostró un funcionamiento óptimo en la remoción de coliformes, ya que otros investigadores han obtenido eficiencias de remoción de hasta el 99.9 por ciento (Lara, 2009), mientras que en éste se obtuvo un 95 y 92 por ciento para CT y CF respectivamente.

La tasa mayor de remoción en el sistema de tratamiento se realiza en los dos primeros procesos (igualadores de gasto y pantanos construidos).

No existe una relación entre los parámetros físicos-químicos (pH, CE, SD, T°), en cuanto a remoción de coliformes, ya que en los parámetros medidos no existe un cambio significativo, mientras que la remoción, es significativa en cada punto.

VI. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en la evaluación de la eficiencia de remoción del sistema natural de tratamiento de aguas residuales de la UAAAN, no se encuentran dentro de los valores esperados por lo que se recomienda.

Realizar un tratamiento primario, empleando para esto el sistema himhoff, con el cual la Universidad cuenta.

Crear un programa detallado de mantenimiento, para evitar cortos circuitos y zonas muertas el cual incluya poda, monitoreo de gasto, establecimiento, específicamente en el estanque de sedimentación de una sola especie de macrofitas.

Es necesario realizar un seguimiento en el análisis que incluya otros indicadores de contaminación para determinar el funcionamiento del sistema.

Se aconseja realizar pruebas de trazadores para evaluar la hidrodinámica del sistema.

BIBLIOGRAFIA

Burchard, S.L.2005.Coliformes.

<http://www.slideshare.net/lucasburchard/coliformes>.

Calidad Microbiológica, 2000. Coliforme Total, Bogotá Colombia.

http://www.calidadmicrobiologica.com/index.php?option=com_content&task=view&id=23&Itemid=54

Calvo, S. M. 2004. Depuración de las Aguas Residuales por Tecnología ecológicas y bajo Costo. pág. 291.

Castro, M. C. M. 2007. Calidad del agua. Escuela Superior Politécnica del

Litoral.<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6154/9/c1.pdf>

Delgadillo, S. O., Camacho, A., Pérez, L., Andrade, M. 2010. Depuración De Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales, Chobamba, Colombia. pág. 8

De Saint, S. R. 2005. Depuración de Aguas Residuales de una Población

Mediante Humedales Artificiales, Universidad Politécnica de Cataluña,

En línea:<http://upcommons.upc.edu>

EPA, United States Environmental Protection Agency, Septiembre, 2011.

<http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/pathogens.cfm>

What%20are%20pathogens.

Esponda, A. (2001). Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. Tesis de licenciatura. Facultad de química. Universidad nacional autónoma de México. En línea:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992009000300004&script=sci_arttext

Lara, B. J. A. 2009. Introducción a los Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales, Bogotá, D.C. Colombia. En línea:

<http://www.slideshare.net/jalarab/introduccion-sistemas-naturales-presentation>.

- López, A. J. A. 1997. Principios Básicos de Contaminación Ambiental, IMTA. Pág. 239. En línea: <http://books.google.com.mx/books?id=pKP2BHi8FVsC&pg=PA239&dq=LAGUNAS+AEROBIAS&hl=es&sa=X&ei=VQE0T9KpApKCsALrYWh>
- López, V. A. 2003. Parámetros y Propiedades Biológicas del Agua. Universidad de La Guajira – Colombia. <http://www.monografias.com/trabajos16/parametros-agua/parametros-aguas>.
- Lucero, C. M., Huertas, H. E., Folchs, S.M., Salgot. Sánchez, M. J.A. 2010. Tecnologías No Convencionales (Infiltración-Percolación Y Zonas Húmedas Construidas) En El Tratamiento De Aguas Residuales. Revista AIDIS, México, Vol. 3, No. 1, 86-96, 2010 ISSN 0718-378X, pág. 87-96.
- Mejía, S. G. M. 2000. Digestión Anaerobia, Universidad Autónoma de Yucatán. México 2010. Pág. 30-33.
- Moreno, M. L., Fernández J. M. A., Rubio C. J. C., Calaforra, Ch. J. M., López G. J. A., Beas T. J., Alcaín, M. G., Murillo, D. J. M. y Gómez L. J. A. 2003. La Depuración de Aguas Residuales Urbanas de Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa en el Terreno Fundamentos y Casos Prácticos. http://aguas.igme.es/igme/publica/depuracion_aresidual/indice.htm consultado en septiembre del 2011.
- Muños, J. M., Fernández C. E. 2011. Depuración de Aguas Mediante Filtros de Macrófitas Flotantes (FMF) y Filtros de Helófitas Semisumergidas (FHS). <http://www.slideshare.net/chewacca1/depuracion>.
- Quipuzco, U. L. E. 2001. Evaluación del comportamiento de dos pantanos Artificiales instalados en serie con phragmites australis Para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Figmmg–Unmsm. pág. 52-57. Universidad Nacional Agraria La Molina, España.

Semarnat.(Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2006. NMX-AA-102-SCFI-2006. Calidad de Agua-Detección y Enumeración de Organismos Coliformes Termotolerantes y Escherichia Coli Presuntiva Método de Filtración en Membrana.

Semarnat.(Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2011. Estadísticas del agua en México 2011.pag. 60-70.

Soluciones Ambientales. 2007. Lagunas de Oxidación o Estabilización. http://www.enziclean.com/articulos/lagunas_de_oxidacion_o_estabilizacion.html