

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



**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN UN  
SISTEMA NATURAL DE TRATAMIENTO, EVALUADO POR DQO.**

**POR:**

**SANDRA GUZMÁN MEJÍA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. ENERO DEL 2013.**

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

**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN UN SISTEMA  
NATURAL DE TRATAMIENTO, EVALUADO POR DQO.**

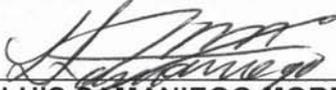
**POR:  
SANDRA GUZMÁN MEJÍA**

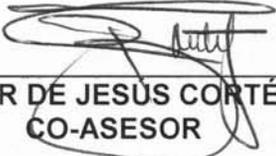
**TESIS**

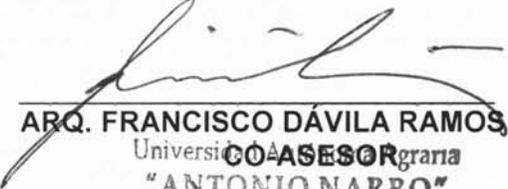
**QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE  
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:**

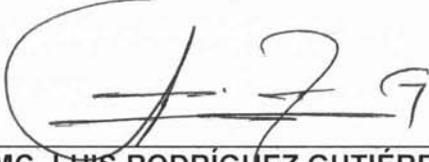
**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.**

**COMITÉ PARTICULAR:**

  
DR. LUIS SAMANIEGO MORENO  
ASESOR PRINCIPAL

  
DR. JAVIER DE JESÚS CORTÉS BRACHO  
CO-ASESOR

  
ARQ. FRANCISCO DÁVILA RAMOS  
CO-ASESOR  
Universidad Agraria  
"ANTONIO NARRO"

  
MC. LUIS RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
  
Coordinación de  
Ingeniería

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. ENERO DEL 2013.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b>	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	v
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	vi
<b>RESUMEN</b>	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Hipótesis	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	3
2.1. Contaminación del Agua	3
2.2. Aguas Residuales en México	4
2.3. Clasificación del Agua Residual y su Composición	5
2.3.1. Aguas residuales domésticas.	5
2.3.2. Aguas residuales industriales.	5
2.3.3. Aguas residuales de origen agrícola.	5
2.4. Parámetros de Caracterización del Agua Residual	6
2.4.1. Parámetros Físicos – Químicos.	6
2.5 Sistemas de Tratamiento	10
2.5.1 Sistemas Naturales de Tratamiento	11
2.5.2 Evaluación de Eficiencia en Sistemas Naturales	12
2.5.3 Carga Orgánica y Parámetros Utilizados para su Remoción	13
2.5.4 Parámetro DQO	14

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	17
3.1 Ubicación del Sistema en Estudio	17
3.2 Descripción del Sistema Natural en Estudio	17
3.3. Características del Influyente del Sistema	21
3.4. Procesos de Depuración	21
3.5. Puntos de Muestreos	23
3.6. Métodos utilizados para la determinación de DQO	24
3.7. Procedimiento	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	28
4.1. Porcentajes de Remoción	29
4.2 Consideraciones estadísticas	31
4.3 Relación DQO con los Parámetros Físicos – Químicos	34
<b>V. CONCLUSIONES</b>	40
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	41
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>	42

## DEDICATORIA

### **A MI DIOS:**

Por darme la vida y permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida, siempre has estado a mi lado dándome fortaleza para superar todas las adversidades.

### **A MIS PADRES:**

Ángela Mejía Martínez (+) gracias por haber sido la mejor madre, jamás encontraré la forma de agradecer todo tu amor.

Francisco Guzmán Alanís (+) porque a pesar de todo siempre estuviste a nuestro lado aconsejándonos para ser personas de bien.

A los dos les dedico todos mis logros que son también los suyos, porque con su ejemplo de lucha, amor, dedicación y confianza que siempre me brindaron, me enseñaron a luchar por mis sueños, espero que donde quiera que estén se sientan orgullosos de su esfuerzo, a ustedes les debo lo que soy, los amo.

### **A MI HIJA:**

Alondra Nayeli porque desde que naciste has sido mi inspiración y el motor de mi vida, eres la niña de mis ojos, te amo pequeña.

### **A MIS HERMANAS:**

Erika, Mónica, Lizbeth y Alejandra por su amor y apoyo incondicional, nunca olvidaré que, pese a todo, siempre creyeron en mí, sin ustedes no lo hubiera logrado, las quiero mucho.

*Y a todas aquellas maravillosas personas, que Dios ha puesto en mi camino a lo largo de mi vida, mis amigos.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi gloriosa “**ALMA TERRA MATER**” por brindarme la oportunidad de realizar mi formación profesional en sus aulas.

Al **Dr. Luis Samaniego Moreno** por darme la oportunidad de trabajar a su lado, tenerme paciencia y por el gran apoyo que siempre he recibido de usted, así como brindarme su valiosa amistad, *hizo posible lo que yo creía imposible, Gracias.*

Al **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho** por su apreciable asesoría y conocimientos aportados a esta investigación, asimismo como su valiosa amistad y el apoyo que siempre me brindó.

Al **Arq. Francisco Dávila Ramos** por sus observaciones y recomendaciones en la revisión de este trabajo de investigación.

A mi hermana **Lizbeth** y a mi buena amiga **Merlyn Cepeda** a ustedes dos les debo el haber retomado mi carrera, gracias por creer en mí.

A una gran amiga y compañera **Claudia I. Cruz Santes** y a su esposo **Porfirio Hernández**, por todo su cariño y apoyo.

A la **Sra. Dolores Bautista** y al **Sr. José Francisco Saucedo** por el apoyo incondicional que me han brindado durante este tiempo.

A la laboratorista **Ma. Socorro Míreles V**, por las facilidades que me brindo para realizar las pruebas de esta investigación.

A todos mis amigos **Edwin, Eligio, Lucy, José Ascención, Roberto, Carlos Javier, Luis Alberto, Santiago, Teresa** y **Bernardino** los quiero mucho, gracias por todos los momentos compartidos, nunca los olvidaré.

Y a todos mis compañeros de grupo fue un placer compartir estos últimos años con ustedes.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tanque Igualador Oriente.....	17
Figura 2. Tanque Igualador Poniente.....	18
Figura 3. Pantano Oriente.....	18
Figura 4. Pantano Poniente.....	19
Figura 5. Estanque de Sedimentación.....	19
Figura 6. Laguna de Almacenamiento.....	20
Figura 7. Tanque Imhoff.....	20
Figura 8. Puntos de Muestreo.....	24
Figura 9. Análisis DQO.....	27
Figura 10. Resultados obtenidos DQO.....	29
Figura 11. Relación DQO – pH.....	35
Figura 12. Relación DQO – Temperatura.....	36
Figura 13. Relación DQO – Conductividad Eléctrica.....	36
Figura 14. Relación DQO – Sólidos Disueltos Totales.....	37
Figura 15. Relación DQO – Turbidez.....	38
Figura 16. Relación DQO – Sólidos Suspendidos Totales.....	39

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados DQO. ....	28
Cuadro 2. Por ciento de remoción de DQO por etapa y de manera global. ....	30
Cuadro 3. Cuadro de concentración de datos. ....	31
Cuadro 4. Análisis de Varianza. ....	32
Cuadro 5. Prueba de Medias (DMS). ....	32
Cuadro 6. Parámetros Físico - Químicos. ....	34

## RESUMEN

Nuestra poca cultura sobre el cuidado del agua sumado al crecimiento demográfico e industrial ha dado origen a la contaminación de grandes volúmenes de agua. En la actualidad los sistemas naturales de tratamiento son utilizados como una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales, estos sistemas se basan prácticamente en procedimientos que no emplean aditivos químicos y eliminan las sustancias contaminantes usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos. Su evaluación es una parte fundamental para un buen funcionamiento y para la toma de decisiones en cuanto al manejo, ya que, estos sistemas cuando son bien diseñados y operados tienen tasas de remoción cercanas del 90% o más. Debido a esto el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica medida por Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el sistema natural de tratamiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para ello, se establecieron 9 puntos de muestreo que abarcan cada proceso que conforma el sistema, empleando para la determinación de DQO el método de reflujos abiertos/método de titulación, así como la medición y comparación de este con parámetros físicos-químicos del agua.

Los resultados indican una eficiente remoción de carga orgánica evaluada por DQO de manera global de un 95.22%. Sin embargo la eficiencia de remoción de carga orgánica en los diferentes procesos muestran grandes deficiencias.

Palabras Clave: **Contaminación, Aguas Residuales, pantanos construidos, depuración, lagunas.**

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es una de las sustancias más abundantes e importantes de la tierra, esta cubre tres cuartas partes de nuestro planeta, pero solo una fracción mínima es agua directamente utilizable, y se encuentra distribuida de forma poco uniforme.

El agua es un recurso natural insustituible, esencial para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país, es un elemento fundamental para los ecosistemas y requisito para la sustentabilidad ambiental.

En las últimas décadas, los problemas relacionados con el déficit del agua y la contaminación de las fuentes de la misma se han agudizado en México, esto como consecuencia del aumento en las tasas de crecimiento demográfico, la pobreza y nuestra tendencia como sociedad de no valorar, sobre explotar y no utilizar un manejo adecuado de los recursos hídricos (Silva *et al.*, 2008).

Debido a que están disponibles grandes cantidades de aguas residuales, su tratamiento debe verse como una necesidad, ya que el agua podrá llegar a ser un recurso renovable después de un tratamiento adecuado.

Actualmente los sistemas naturales de tratamiento están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional (Peña, *et al.*, 2003), estos sistemas se basan prácticamente en procedimientos naturales de depuración que no emplean aditivos químicos y eliminan las sustancias contaminantes usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos (Seguí, 2004). Su éxito radica en que cuando son bien diseñados y operados tienen tasas de remoción de cerca del 90% o más.

La evaluación es una parte fundamental para un buen funcionamiento y para la toma de decisiones en cuanto al manejo, la evaluación de las tasas de remoción de contaminantes, que es una forma de evaluar la eficiencia del tratamiento, en general, se lleva a cabo por medio de las mediciones de concentración a la entrada y salida del sistema (Samaniego, 2011).

### **1.1 Objetivo**

El objetivo del presente trabajo es evaluar por proceso y de manera global, la eficiencia de remoción de carga orgánica evaluada por Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el sistema natural de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

### **1.2 Hipótesis**

Existe remoción de carga orgánica medida por DQO a través de cada proceso de tratamiento y de manera global del sistema.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

El agua es un recurso esencial para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país, por lo tanto “preservarlo es un derecho como una responsabilidad”. Todos debemos tomar conciencia de que el agua es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza (Fernández-Alba , *et al.*, 2006).

### **2.1. Contaminación del Agua**

A pesar de que la degradación de las aguas es un problema conocido desde hace mucho tiempo, ha sido en el siglo XX cuando se ha extendido dicho problema a ríos y mares de todo el mundo (Alexander, 2005). 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-Aguilar, *et al.*, 2009). La mayoría de las naciones, con mayor o menor grado de industrialización, tienen grandes problemas para asegurar la protección de las fuentes de suministro frente a la creciente contaminación de las aguas (Seguí, 2004).

Debido a que tan solo una pequeña porción del agua total del mundo resulta aprovechable para la vida terrestre, es importante optimizar el uso del agua, (Alexander. 2005). Por ello, el tratamiento de las aguas residuales debe ser una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de

agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida (Romero-Aguilar, *et al.*, 2009).

## **2.2. Aguas Residuales en México**

En el Artículo 3 de la Ley de Aguas Nacionales se define a las aguas residuales como: “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de uso público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso. Así como la mezcla de ellas” (CNA, 2004). En nuestro país, las aguas residuales procedentes de los sistemas de recolección mediante el alcantarillado ó mediante canales abiertos descargan a los cursos naturales de agua para su disposición final. A pesar de que las aguas residuales tienen una composición aproximada de 99.5% de agua y 0.5% de materia extraña, su descarga en una corriente cambia las características del agua que la recibe (Flores, *et al.*, 2006).

Las características de las aguas residuales dependerán en gran medida de las variaciones y concentraciones de contaminantes en la descarga, del sistema de alcantarillado usado, de las costumbres de la comunidad, del clima y de las actividades desarrolladas dentro de la localidad (Martin, 2008). En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración (Romero-Aguilar, *et al.*, 2009).

## **2.3. Clasificación del Agua Residual y su Composición**

Una manera de clasificar a las aguas residuales es tomando en cuenta su procedencia y conforme al criterio mencionado se ha llegado a la siguiente clasificación.

### **2.3.1. Aguas residuales domésticas.**

Éstas suelen estar constituida por desechos humanos y animales, desperdicios caseros que pueden contener grasas y detergentes sintéticos, aguas de lavado de las calles y corrientes pluviales (Martin, 2008). La composición de las aguas residuales domésticas se esperaría que fuesen muy parecidas de una región a otra, no obstante presentan diferencias en función del nivel socioeconómico de las personas que las generan (Flores, *et al.*, 2006).

### **2.3.2. Aguas residuales industriales.**

Son aquellas aguas generadas por cualquier industria grande o pequeña, cada industria genera aguas residuales diferentes y con condiciones particulares y únicas dependiendo del tipo de industria (Martin, 2008). Los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo (Fernández-Alba, 2006).

### **2.3.3. Aguas residuales de origen agrícola.**

Son aquellas aguas generadas después de que el agua ha realizado una función en labores del campo, éstas generalmente pueden arrastrar hacia los

ríos sustancias químicas como herbicidas, pesticidas, plaguicidas, y sales solubles que al ser disueltas por el agua generan iones metálicos y no metálicos los cuales muchas veces son compuestos altamente peligrosos cuando llegan a encontrarse en el agua en concentraciones que sobrepasan los límites permisibles que marcan las normas (Flores, *et al.*, 2006).

## **2.4. Parámetros de Caracterización del Agua Residual**

Las etapas de depuración que se van a emplear dependen de las características del agua a tratar y del grado de depuración que se quiera conseguir, el cual estará en función del fin que se le quiera dar a el agua tratada (consumo, vertido, agricultura etc.) (Caza, 2009). Por ello es necesario conocer el valor de ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos del agua.

### **2.4.1. Parámetros Físicos – Químicos.**

Los parámetros físicos son aquellos que pueden ser percibidos por nuestros órganos de los sentidos, determinan la calidad del agua y nos indica el grado de contaminación de la misma (Caza, 2009). Por su parte las propiedades químicas del agua tienen gran importancia debido a que interactúan con las del suelo variando el valor de cada uno de los parámetros de los componentes del agua (Delgadillo, *et al.*, 2010).

Los parámetros físicos - químicos más empleados para caracterizar las aguas residuales son:

**Sólidos Totales:** Es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Metcalf y Eddy, 1998). Por su composición pueden ser inorgánicos u orgánicos, radioactivos o contribuir al aumento de una sustancia en solución por ejemplo un metal (Arce, *et al.*, 2007).

Los sólidos totales están presentes en el agua debido a:

- La acción de la erosión del agua sobre el medio (algas, arcillas, sedimentos, etc.).
- El vertido de aguas residuales urbanas con gran cantidad de sólidos en suspensión, generalmente de carácter orgánico.
- Los vertidos de aguas industriales que contienen sólidos en suspensión, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica.

Sus principales efectos son los siguientes:

- Proporcionan un aspecto desagradable al agua.
- Contaminación orgánica e inorgánica.
- Depósitos e incrustaciones, provocando la obstrucción de conductos, bombas, etc.

El término sólidos totales enmarca la materia coloidal, la materia disuelta, la materia sedimentable y la materia en suspensión (Caza, 2009).

**Turbidez:** Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas insolubles (materia en suspensión y partículas coloidales) (Caza, 2009). La mayor turbidez está asociada con el tamaño de partículas: a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua (Delgadillo, *et al.*, 2010). La turbidez es considerada una buena medida de la calidad de agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

La tolerancia respecto a este parámetro depende de la utilización que se vaya a dar al agua. En general puede eliminarse la turbiedad por filtración (para materia en suspensión) o por floculación (para materia coloidal) (Caza, 2009).

Una elevada turbidez puede afectar al proceso de depuración de aguas de la siguiente forma:

- Protegiendo a los microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección por acción de la luz solar.
- Estimulando la proliferación de bacterias.
- Disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de plantas acuáticas.

El reglamento en materia de contaminación hídrica no lo considera un parámetro importante para caracterizar las aguas, por ello no existe la concentración máxima permisible (Delgadillo, *et al.*, 2010).

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, (Nefelometric Turbidity Unit, NTU). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (Caza, 2009).

**Olor:** Los olores son principalmente debido a gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica y a la presencia de compuestos olorosos en sí mismo o con tendencia a producir olores durante su tratamiento (Caza, 2009). El olor de un agua residual fresca y bien tratada es inofensivo, razonablemente soportable, similar al del moho. Pero cuando el proceso de degradación de contaminantes se realiza en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno), existe una amplia gama de olores desagradables que son liberados (Delgadillo, *et al.*, 2010).

La determinación del olor es un aspecto muy importante en plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente cuando dichas instalaciones se encuentran cerca de centros poblados (Caza, 2009).

**Color:** El color en aguas residuales es causado por los sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias en solución. Asimismo, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual (Delgadillo, *et al.*, 2010). El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica (Metcalf y Eddy, 1998).

**pH:** Es la medida de la concentración de iones de hidrogeno. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia para aguas residuales debido a que el rango adecuado para la existencia de la actividad biológica es bastante estrecho y crítico (Caza, 2009). El rango en el cual se pueden desarrollar adecuadamente la mayoría de los microorganismos y los peces es 6.5 a 8.5, fuera de esos límites el agua deja de ser un medio propicio para el desarrollo de la vida (Arce, *et al.*, 2007). La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está muy relacionada con la capacidad en que se disocian las moléculas de agua. En un vertido con pH ácido, se disuelven los metales pesados; a su vez, el pH alcalino ocasiona que los metales precipiten (Delgadillo, *et al.*, 2010).

**Conductividad eléctrica:** Se define a la conductividad eléctrica como la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. La corriente eléctrica es transportada por iones en solución, por lo tanto el aumento de la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. El valor de la conductividad eléctrica es usado como un parámetro sustituto de la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SDT) (Delgadillo, *et al.*, 2010).

**Sólidos Disueltos:** Se define como la materia que permanece en el agua después de eliminar los sólidos en suspensión, los cuales pueden ser:

- *Inorgánicos*: Estos incluyen minerales, metales y gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>).
- *Orgánicos*: Vegetación, productos químicos orgánicos y gases orgánicos.

Los principales efectos de sólidos disueltos son: Pueden producir color, sabor y olores desagradables (Caza, 2009).

## 2.5 Sistemas de Tratamiento

Debido a las dificultades para reabastecerse de agua apta para uso doméstico, riego y actividades industriales, las aguas residuales deben ser sometidas a un proceso de tratamiento previamente antes de ser descargadas al ambiente (Seguí, 2004). En México se trata aproximadamente el 33% del efluente de aguas residuales municipales producido, siendo lodos activados y lagunas de tratamiento los más utilizados (Vidales, *et al.*, 2010). Si bien el tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, se ha realizando desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener la calidad de vida (Fernández-Alba, 2006).

Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años (Fernández-Alba, 2006). Las soluciones actuales establecidas como eficaces son muy variadas, y su implantación depende en gran medida de la naturaleza química de los contaminantes, de su concentración y del caudal de agua a tratar. Se puede realizar una clasificación muy general y simplista atendiendo al modo de operación de estas tecnologías.

- Tratamientos físico-químicos:
  - Coagulación-floculación-precipitación.
  - Adsorción.
  - Oxidación-reducción.

- Tratamientos biológicos:
  - Lagunajes.
  - Fangos activados.
  - Fangos anaerobios.
  - Cultivos fijos.
- Tratamientos terciarios:
  - Desinfección química.
  - Desalinización y desinfección con membranas.

Estas tecnologías, denominadas convencionales, por su limitada capacidad de tratamiento, elevados costes de mantenimiento y elevado nivel de producción de residuos necesitan de mejoras y/o alternativas más modernas (Hurga, 2005).

Desde hace algunos años, numerosos países vienen estudiando la depuración de aguas residuales a través de sistemas de tratamiento naturales, estos sistemas son una alternativa potencial para comunidades rurales o países en vías de desarrollo, debido a su gran potencial de depuración así como su bajo costo y su fácil operación (Seguí, 2004).

### **2.5.1 Sistemas Naturales de Tratamiento**

En el medio ambiente natural, cuando interaccionan el agua, el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmosfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos. Los sistemas de tratamiento natural se diseñan para aprovechar estos procesos con objeto de proporcionar tratamiento al agua residual (Metcalf y Eddy, 1998).

Los sistemas naturales de tratamiento están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de aguas residuales (Peña, *et*

*al.*, 2003). Para el tratamiento del agua residual estos sistemas se basan prácticamente en procedimientos naturales de depuración que no emplean aditivos químicos y que eliminan las sustancias contaminantes usando vegetación acuática, el suelo y microorganismos (Seguí, 2004).

Como ya se mencionó los sistemas naturales aprovechan y potencializan los procesos de purificación, físicos, químicos y biológicos que ocurren en forma espontánea en la naturaleza, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como “sistemas naturales de tratamiento”.

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 (Moreno, 2003).

A pesar de que en otros países los sistemas naturales han mostrado ser una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales de diferente origen, en México, solo se utilizan para tratar el 0.6% de los efluentes residuales generados. En estos ecosistemas es posible remover sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno (DQO), entre otros, a niveles superiores al 80% (Vidales, *et al.*, 2010).

### **2.5.2 Evaluación de Eficiencia en Sistemas Naturales**

El éxito de estos sistemas de tratamiento radica en que cuando son bien diseñados y operados tienen tasas de remoción de cerca del 90% o más, compitiendo bien con los sistemas convencionales de tratamiento. La evaluación es una parte fundamental para su buen funcionamiento y para la toma de decisiones en cuanto a su manejo, ya que las tasas de remoción están fuertemente influenciadas por su hidrodinámica (el tiempo de residencia, la dispersión y la velocidad de flujo).

La evaluación de tasas de remoción de contaminantes, en general, se lleva a cabo por medio de las mediciones de concentración a la entrada y salida del sistema (Samaniego, 2011).

### **2.5.3 Carga Orgánica y Parámetros Utilizados para su Remoción**

La mayor parte de los compuestos presentes en las aguas residuales están constituidos por materia orgánica e inorgánica, nutrientes y microorganismos.

La materia orgánica está constituida por una fracción en partícula y una fracción disuelta. La materia soluble de un agua residual está compuesta mayoritariamente por materia inorgánica, mientras que la materia en suspensión es predominantemente de naturaleza orgánica (Knobelsdorf, 2005). La materia orgánica en el agua es susceptible de ser oxidada y transformada en compuestos más simples, como bióxido de carbono, nitritos y nitratos, por acción de las bacterias (Arce, *et al.*, 2007).

Los métodos comunes para estimar la contaminación orgánica en aguas residuales se basan en la determinación global de las materias oxidables presentes en el agua (Aguilera, *et al.*, 2003).

Debido a que los compuestos orgánicos presentes en el agua residual pueden ser oxidados tanto química como biológicamente, para su análisis, actualmente son utilizados los siguientes parámetros:

- DBO (demanda bioquímica del O<sub>2</sub>): Mide el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia. El periodo de incubación tras el cual se realiza la medición suele ser de 5 días, comparándose el valor obtenido con el original presente en la muestra.

Se determina así la cantidad aproximada de oxígeno utilizado que se requerirá para degradar biológicamente la materia orgánica.

- DQO (demanda química de oxígeno): Mide el oxígeno disuelto requerido para oxidar la materia mediante un agente químico. Mide la cantidad de materia orgánica total (la biodegradable y la no biodegradable)

Lo anterior indica que a mayor cantidad de materia orgánica en el agua, menor es su calidad (Pérez y Camacho, 2011).

Cuando no se cuenta con los recursos necesarios para la determinación de la demanda de oxígeno por medios de laboratorio, las plantas acuáticas y algunas especies de peces como las truchas cafés, y arcoíris, pueden ser indicadores de que tan disponible se encuentra el oxígeno en el agua, debido a su sensibilidad a la falta de este.

#### **2.5.4 Parámetro DQO**

La DQO es un parámetro ampliamente utilizado para controlar el grado de calidad de las aguas, ya que permite medir la contaminación de las mismas debida a materia orgánica.

En la norma mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 se define a la DQO como la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

Entonces la DQO se puede considerar como una medida aproximada de la demanda teórica de oxígeno, que es equivalente a la cantidad de dicromato de potasio, el cual es consumido por las materias disueltas y en suspensión, las cuales son sometidas a condiciones de calor, en un equipo de reflujo, donde

toda la materia presente es oxidada, incluso aquella que los microorganismos no son capaces de degradar (Arce, *et al.*, 2007).

Existen muchas modificaciones para la determinación de DQO por oxidación con dicromato de potasio. Este método es preferido sobre otros que utilizan distintos agentes oxidantes por poseer una mayor capacidad para oxidar (oxida entre un 95 y un 100 por ciento de los compuestos orgánicos presentes) y por ser aplicable a una gran variedad de muestras, además de su fácil manipulación (Aguilera, *et al.*, 2003).

Las ventajas que se puede observar del método del DQO frente a la DBO son:

- Es más rápido que la DBO (dura aproximadamente 2 horas).
- Es aplicable cuando las aguas contaminadas contienen agentes tóxicos para los microorganismos, ya que en este caso la DBO daría valores de materia orgánica mucho más bajo de lo que realmente hay, pues los microorganismos murieran y consecuentemente se consume menos oxígeno).

Dado que el compuesto químico oxidante es mucho menos selectivo que los microorganismos, toda la materia oxidable presente se oxidará (incluso aquella que no sería descompuesta por microorganismos). Por lo tanto, los valores obtenidos de DQO serán superiores (o como mínimo iguales) a los valores de DBO (Caza, 2009).

La relación DQO: DBO es un indicador de que tan biodegradable es el agua residual. El agua residual doméstica, que es de muy buena biodegradabilidad, presenta relaciones cercanas a 2:1 en la medida que la relación vaya creciendo es indicativo que la materia oxidable presente es menos apta para ser consumida por los microorganismos. Esto es importante tenerlo en cuenta, ya que pueden encontrarse aguas residuales con alto

contenido de materia orgánica, y aún así tener una DBO baja (Arce, *et al.*, 2007).

Por otra parte, cuando se tienen compuestos orgánicos biodegradables volátiles, se puede dar el caso que la lectura de la DBO sea mayor que la DQO, ya que el refrigerante que se emplea en la determinación normalizada de la DQO no es capaz de condensar dichos compuestos y estos se van en forma de vapor (Arce, *et al.*, 2007).

El parámetro DQO no es mencionado en las normas oficiales mexicanas NOM-001-ECOL-1996, NOM-003-ECOL-1997, NOM-CCA/032-ECOL/1993, en donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para el reusó de aguas residuales.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del Sistema en Estudio

El estudio se realizó en el sistema natural de tratamiento ubicado dentro de las instalaciones de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, entre las coordenadas geográficas 25°21'18" latitud norte y 101°2'5" longitud oeste, a una altitud de 1767 msnm. El clima en esta región es seco desértico. La temperatura media anual fluctúa entre 11.28 °C y 15.29 °C.

#### 3.2 Descripción del Sistema Natural en Estudio

El sistema de tratamiento de la UAAAN, consta de los siguientes componentes,

1. Dos tanques igualadores de gasto (Figuras 1 y 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 (*Eichhornia crassipes*).



Figura 1. Tanque Igualador Oriente.



Figura 2. Tanque Igualador Poniente.

2. Sistema de pantanos construidos (Figura 3 y 4) 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 (*Phragmites australis*) 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 3. Pantano Oriente.



Figura 4. Pantano Poniente.

3. Estanque de sedimentación (Figura 5) de capacidad aproximada de 250 m<sup>3</sup> 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 5. Estanque de Sedimentación.

4. Laguna de almacenamiento (Figura 6) de capacidad aproximada de 1098 m<sup>3</sup>, 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 6. Laguna de Almacenamiento.

El tanque Imhoff (Figura 7) es una unidad de tratamiento primario consta de las siguientes medidas 7.75 de largo y 4.45 de ancho.



Figura 7. Tanque Imhoff.

### **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. Procesos de Depuración**

El agua residual en su paso a través del sistema natural de tratamiento es sometida a diferentes procesos descritos a continuación:

#### **Tanque Imhoff**

El tanque Imhoff no forma parte del sistema natural, sin embargo una parte del agua residual generada, pasa por el tanque Imhoff. El tratamiento que aporta el tanque queda prácticamente anulado al mezclarse el efluente de este con agua residual cruda, en los tanques igualadores de gasto.

#### **Tanques Igualadores de Gasto**

*Homogenización y sedimentación:* en el primer componente del sistema ocurre una homogenización e igualación de gastos, esto para lograr una mayor eficiencia en la depuración, disminuir la velocidad del influente y proporcionar un flujo continuo a la segunda etapa (pantanos). Aquí tiene lugar una gran parte de la sedimentación.

## **Pantanos construidos**

*Depuración:* Esta se lleva a cabo en la segunda etapa del sistema natural de tratamiento la cual consta de dos pantanos tipo subsuperficial. El proceso de eliminación de la materia orgánica del agua se debe a la existencia de microorganismos y plantas emergentes que en este caso es el carrizo (*Phragmites australis*), las que constituyen el principal agente depurador, actúan como un sistema de aireación para el sustrato, suministrando oxígeno a las bacterias a través de los canales de aireación. Su raíz profunda forma un gran volumen de rizófora activa que le permite ser efectiva en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo (P), y nitrógeno (N) (Vidales, *et al.*, 2010). De esta forma, la materia orgánica del agua es degradada de forma aerobia por estas bacterias. En las zonas más alejadas de las raíces y rizomas se puede originar un déficit de oxígeno, produciéndose entonces un tratamiento de la materia orgánica de tipo anaerobio.

## **Laguna de Almacenamiento**

*Almacenamiento:* una vez tratada, el agua se almacena en la laguna la cual es utilizada en el desarrollo de proyectos agrícolas.

Tomando en cuenta que uno de los factores más importantes en estudios relacionados al tratamiento de aguas residuales es el conocimiento de las características del agua antes y después del tratamiento, en esta investigación se utilizó la DQO como parámetro, para valorar la eficiencia de remoción de la carga orgánica del sistema natural de tratamiento de aguas residuales, así como su capacidad de eliminación de la misma en cada uno de los procesos que conforma el sistema, también se consideró necesario realizar mediciones de los siguientes parámetros físico-químicos: pH, Conductividad Eléctrica (CE),

Temperatura (T°), Sólidos Disueltos (SD), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Turbidez.

### **3.5. Puntos de Muestreos**

Para evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica por proceso y de manera global del sistema, se realizó la toma de muestras el día 22 de Noviembre del 2012, en 9 puntos de muestreo en lugares estratégicos que son:

1. Entrada del Sistema
- 2 y 3. Tanques igualadores de gasto oriente y poniente respectivamente.
- 4 y 5. Sistema de pantanos construidos poniente y oriente respectivamente.
6. Estanque de sedimentación.
7. Laguna de sedimentación o almacenamiento.
8. Influyente del tanque Imhoff.
9. Efluente del tanque Imhoff.

Los puntos de muestreo se presentan en la Figura 8.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO NATURAL UAAAN

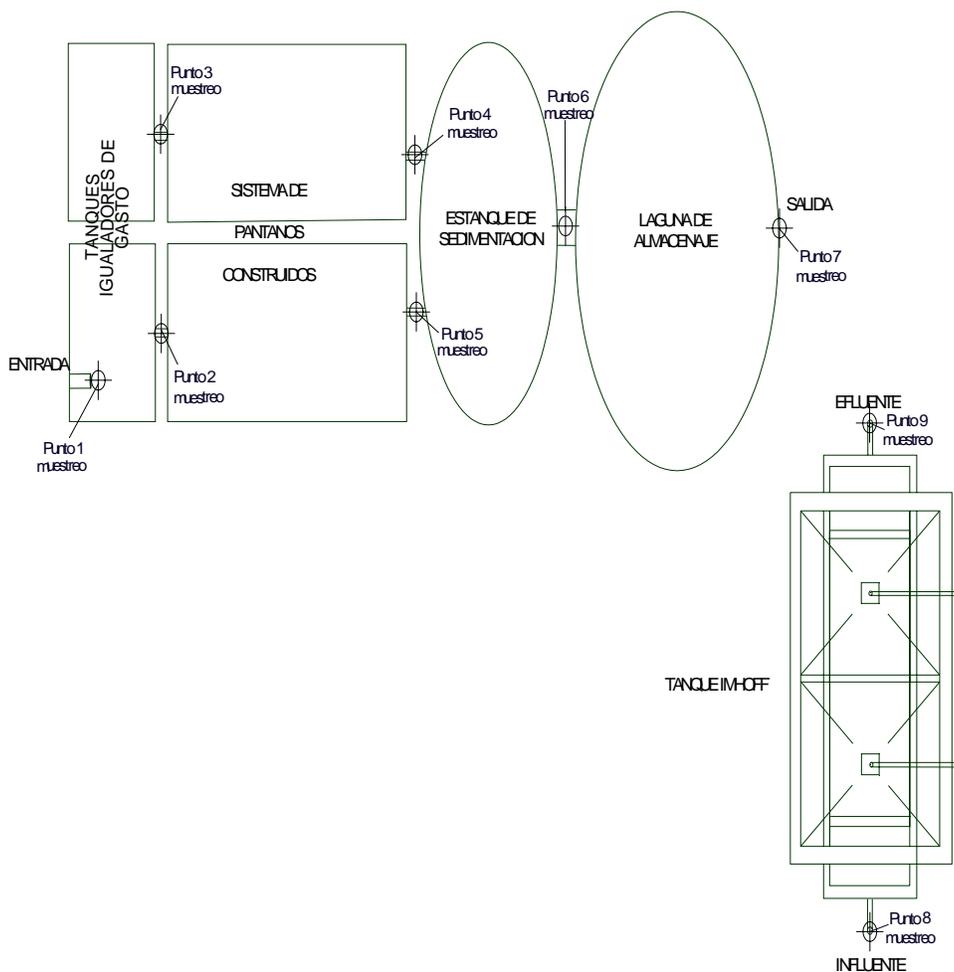


Figura 8. Puntos de Muestreo.

### 3.6. Métodos utilizados para la determinación de DQO

El método que involucra el uso de dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras.

La norma mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 describe dos métodos para la determinación de DQO en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

- *Método reflujó cerrado / método espectrofotométrico:* Este es más económico en cuanto al uso de reactivos, pero requiere una mayor homogeneización de las muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles.
- *Método reflujó abierto / método de titulación:* Es conveniente para aguas residuales en donde se requiera utilizar grandes cantidades de muestra.

En estos métodos utilizados una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujó en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ).

Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

Para evaluar la eficiencia de remoción de la carga orgánica por DQO en el sistema en estudio se utilizó el método de *reflujó abierto/ método de titulación*. En este método posterior a la digestión, el dicromato no reducido, se titula con sulfato ferroso amoniacal (FAS) para determinar la cantidad de dicromato consumido, la materia orgánica oxidada se estima en términos de su equivalencia en oxígeno. Para la valoración se utilizó un indicador, 1-10 fenantrolina o ferroína, se toma como punto final de la valoración el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo (NORMA NMX-AA-030-SCFI-2001).

### 3.7. Procedimiento

En un matraz bola se colocaron las siguientes cantidades según el punto de muestreo.

Muestras 1, 2, 3, 8 y 9; 12.5 mL de agua residual más 12.5 mL de agua destilada.

Muestras 4, 5, 6 y 7; 25 mL de agua residual.

Las muestras 1, 2, 3, 8 y 9 fueron diluidas, debido a que pertenecen a los primeros procesos por los que pasa el agua residual, lo cual implica la presencia de una mayor concentración de carga orgánica.

Se añadió una pizca de  $\text{HgSO}_4$ , algunas perlas de vidrio y lentamente se agregó 12.5 mL de la solución estándar de ácido sulfúrico. En seguida se añadió 12.5 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  mezclando posteriormente.

Se conectó el matraz al condensador permitiendo el flujo del agua. A continuación se agregó 35 mL de ácido sulfúrico concentrado a través de las paredes del matraz bola, cubriéndose la parte superior del condensador para evitar la pérdida de vapores, se calentó por 2 horas (Figura 9).

Las muestras se enfriaron a temperatura ambiente, en seguida se tituló el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  con FAS usando 2 gotas de ferroín en cada una de las muestras. Se tomó como el punto final de la titulación el primer cambio de color de verde-azul a café rojizo.

El control negativo (Blanco) fue digerido y titulado, su volumen de agua destilada fue igual al de las muestras sin diluir.

Preparación de la molaridad FAS: 5 mL  $K_2Cr_2O_7$ , 45 mL Agua Destilada, 15 mL  $H_2SO_4$  y 2 gotas de ferroín.

El valor de la molaridad FAS es determinado de la siguiente manera:

$$\text{Molaridad FAS} = \frac{\text{Vol. de } K_2Cr_2O_7 \text{ titulado, ml}}{\text{Vol. FAS usado en la titulación, ml}} \times 0.25$$



Figura 9. Análisis DQO.

Obtenidos los datos de titulación se determinó DQO aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{DQO en ml L}^{-1} = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{ml de muestra}}$$

A= ml de FAS usados en el control negativo

B= ml de FAS usados en la muestra

M= Molaridad del FAS

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al momento de realizarse el muestreo el sistema contaba con los siguientes gastos:

Punto 1 (Entrada del sistema natural) =  $1.73 \text{ L s}^{-1}$

Punto 4 (Salida del pantano poniente) =  $0.81 \text{ L s}^{-1}$

Punto 5 (Salida del pantano oriente) =  $1.38 \text{ L s}^{-1}$

Punto 8 (Salida del tanque Imhoff) =  $0.37 \text{ L s}^{-1}$

El gasto de entrada no corresponde al de salida debido a que el sistema natural presenta una incorporación del efluente del tanque Imhoff en los tanques igualadores de gasto.

En el Cuadro 1, se muestran los resultados obtenidos en el análisis de DQO en los 9 puntos muestreados con 3 repeticiones. Cabe mencionar que los puntos 8 y 9 pertenecen al influente y efluente del Tanque Imhoff, el cual no forma parte del sistema natural de tratamiento, pero se han incluido para su estudio.

Cuadro 1. Resultados DQO.

Núm. de Punto	mL. Gastados en la Titulación			DQO $\text{mg L}^{-1}$		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1	2.9	3.7	3.2	1,600.00	1,396.83	1,523.81
2	7.6	6	6.7	406.35	812.70	634.92
3	8.9	9.2	9.0	76.19	0.00	50.79
4	7.6	7.5	6.7	203.17	215.87	317.46
5	8.3	9.1	8.5	114.29	12.70	88.89
6	7.3	7.4	8.7	241.27	228.57	63.49
7	9.0	8.4	8.5	25.40	101.59	88.89
8	6.5	8.6	8.7	685.71	152.38	126.98
9	9.0	8.2	8.5	50.79	253.97	177.78

Entre los valores obtenidos de DQO existe una relación entre cada una de las 3 muestras en los diferentes puntos con excepción de la muestra 1 en el punto 8 la cual no sigue la misma relación como se observa en la Figura 10, esto se pudo propiciar debido a un error en el laboratorio al momento de analizar la muestra.

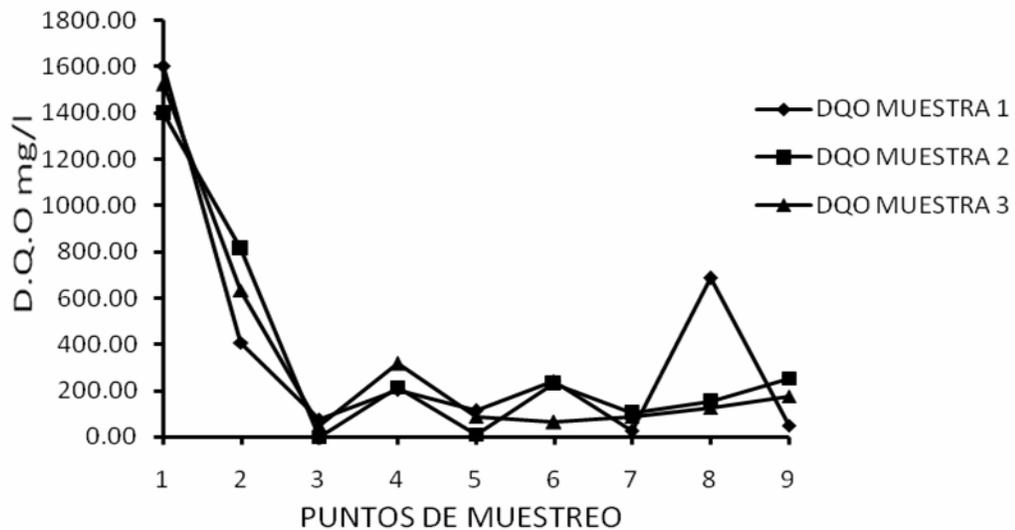


Figura 10. Resultados obtenidos DQO.

#### 4.1. Porcentajes de Remoción

El porcentaje de remoción de carga orgánica en cada etapa del sistema natural es variable debido principalmente a las condiciones en que se encuentra cada proceso (Cuadro 2). El tanque igualador de gasto poniente presenta una mejor remoción de carga orgánica con respecto al tanque igualador oriente debido a que la materia en suspensión es predominantemente de naturaleza orgánica (Knobelsdorf, 2005) la cual tiende a sedimentarse, por lo tanto en el paso del agua del tanque oriente al poniente hay una considerable sedimentación de carga orgánica.

Cuadro 2. Por ciento de remoción de DQO por etapa y de manera global.

Etapa por etapa		Con respecto al Punto 1	
Puntos	DQO %	Punto	DQO %
1-2	58.99	1	0
2-5	88.3	2	58.99
5-6	-147.05	3	97.19
6-7	59.52	4	83.7
1-3	97.19	5	95.22
3-4	- 479.96	6	88.20
4-6	27.58	7	95.22
6-7	59.52		
<b>Global</b>	95.22		95.22

A la salida del pantano poniente ubicaron una toma de agua, para el riego de jardines del Departamento de Horticultura, la cual impide el flujo del agua de forma normal, disminuyendo el gasto de salida considerablemente, lo cual provoca un desbordamiento del agua por fuera del pantano (corto circuito), desapareciendo totalmente la remoción de carga orgánica por DQO.

Por su parte el pantano oriente presenta un considerable azolve en diferentes áreas del pantano lo que provoca corto circuito en su funcionamiento (encharcamientos) disminuyendo la eficiencia de este que se encuentra en un 88.3%. A pesar de esto presenta una buena eficiencia de remoción de carga orgánica por DQO, ya que según Vidales y colaboradores (2010) indican que en este tipo de sistemas se encuentran remociones de carga orgánica por DQO superiores al 80%.

La remoción de materia orgánica, de manera global tomando solamente el sistema natural, es decir abarcando del Punto 1 al Punto 7 fue de un 95.22%.

Por su parte el tanque Imhoff presenta una remoción del 50% de carga orgánica por DQO, tomando como referencia la guía para el diseño de tanques sépticos, Imhoff y lagunas (OPS/CEPIS, 2005) donde se menciona una remoción de carga orgánica por de DBO de un 25 a 60%, y tomando en cuenta

que la relación DQO: DBO representan relaciones cercanas a 2:1 (Arce, *et al.*, 2007) se puede decir que el Tanque Imhoff presenta una adecuada remoción de carga orgánica por DQO.

## 4.2 Consideraciones estadísticas

Para determinar si existe remoción de carga orgánica a través de cada proceso del sistema natural se realizó un análisis de varianza estadístico completamente al azar quedando 8 tratamientos 1 testigo con 3 repeticiones cada uno.

El testigo es el punto 1 a la entrada del sistema natural (agua cruda), los 8 tratamientos son los puntos restantes las 3 muestras son independientes obtenidas al azar en cada uno de los puntos de muestreo (Cuadro 3). Cabe mencionar que el punto 8 y 9 (influyente y efluente del tanque Imhoff) no pertenecen al sistema natural de tratamiento pero se han integrado para su evaluación.

Cuadro 3. Cuadro de concentración de datos.

Tratamiento	Repetición			r	$\Sigma r$	$(\Sigma r)^2$	$\Sigma r^2$	Media
	1	2	3					
1	1,600.00	1,396.83	1,523.81	3	4,520.63	20436140.09	6833116.65	1506.88
2	406.35	812.70	634.92	3	1,853.97	3437198.29	1228722.60	617.99
3	76.19	0.00	50.79	3	126.98	16124.97	8384.98	42.33
4	203.17	215.87	317.46	3	736.51	542443.94	188662.13	245.50
5	114.29	12.70	88.89	3	215.87	46601.16	21123.71	71.96
6	241.27	228.57	63.49	3	533.33	284444.44	114487.28	177.78
7	25.40	101.59	88.89	3	215.87	46601.16	18866.21	71.96
8	685.71	152.38	126.98	3	965.08	931378.18	509549.00	321.69
9	50.79	253.97	177.78	3	482.54	232844.55	98684.81	160.85
			$\Sigma$	27	9,650.79	25973776.77	9021597.38	3216.93

## Análisis de Varianza

Cuadro 4. Análisis de Varianza.

FV	GI	SC	CM	FC	F $\alpha$	0.01	0.05
<b>TRATAMIENTO</b>	8	5208376.77	651047.10	32.2236**	2.51		3.71
<b>ERROR. EXP</b>	18.00	363671.79	20203.98				
<b>TOTAL</b>	26.00	5572048.56					

\*\*Existe Diferencia Altamente Significativa.

Debido a que la F calculada es mayor que la de tablas para una probabilidad del 95 y 99 por ciento, existe una diferencia altamente significativa por lo que la hipótesis de que existe remoción de carga orgánica en el sistema natural de tratamiento es aceptada.

El análisis de varianza indica que al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás, sin embargo no se sabe que tratamientos son iguales o diferentes, por lo que fue necesario hacer una prueba de medias la cual se realizó por Diferencia Mínima Significativa (DMS), obteniendo los siguientes resultados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Prueba de Medias (DMS).

Tratamiento	Media			
T1	1,506.88	a		
T2	617.99		b	
T8	321.69			c
T4	245.50			c d
T6	177.78			c d
T9	160.85			c d
T7	71.96			d
T5	71.96			d
T3	42.33			d

La prueba de medias indica que la calidad del agua en el T1 (agua cruda) es diferente a todas las demás, por su parte, el contenido de materia orgánica en el tanque igualador de gasto oriente (T2) también difiere del resto de los demás tratamientos.

Por otro lado, los tratamientos T4 (pantano poniente) y T6 (estanque de sedimentación) presentan calidades de agua estadísticamente iguales, en ambos, se puede observar un aporte de carga orgánica debida, en el T4, a los restos de carrizo dejados por una poda sobre la superficie del pantano, además, la colocación de una válvula en la salida provoca corto circuito, zonas muertas y el desbordamiento de agua, en el T6, se debe a la descomposición de maleza existente en el tanque de sedimentación. El T8 y T9 pertenecientes al influente y efluente del tanque Imhoff, respectivamente, son iguales al T4 y T6 ya que aquellos proceden principalmente de sanitarios y laboratorios de departamentos mientras que estos ya recibieron un nivel de tratamiento, hay que hacer mención que el influente del sistema natural tiene un mayor aporte de caudal y carga orgánica, con respecto al influente del tanque Imhoff, porque proviene de áreas como el comedor, internado, baños y laboratorios en diversos departamentos.

El contenido de materia orgánica, medida como DQO en el T5 (pantano oriente) y T3 (tanque igualador de gasto poniente), son iguales, debido a la presencia de lirio acuático en el segundo, provocando que este proceso actué como un pantano de flujo superficial, dando como resultado una mayor remoción de carga orgánica que es igual al T5. Por su parte, el T7 (laguna de almacenamiento) presenta el mismo nivel de remoción que el T3 y T5, esto por que cuando el agua pasa por el tanque de sedimentación (T6), no hay una adecuada remoción, debido a la cantidad excesiva de maleza existente.

Analizando la Figura 10 junto con los resultados de la prueba de medias, se puede decir que la mayor cantidad de eliminación de materia orgánica se

lleva a cabo en los tanques igualadores de gasto, y a partir de los pantanos de flujo subsuperficial solamente es una eliminación menor.

### 4.3 Relación DQO con los Parámetros Físicos – Químicos

Se consideró realizar mediciones de los parámetros físico-químicos (Cuadro 6) de: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Temperatura (T°), Sólidos Disueltos (SD), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Turbidez, para observar la relación que existe entre dichos parámetros y la DQO. Como ya se había hecho mención los puntos 8 y 9 pertenecen al influente y efluente del Tanque Imhoff, no forma parte del sistema natural de tratamiento.

Cuadro 6. Parámetros Físico - Químicos.

Núm. Punto	DQO Muestra1 mg/l	DQO Muestra 2 mg/l	DQO Muestra 3 mg/l	pH	Temp. °C	C.E mS	SDT ppt	Turbidez UNT	SST mg L <sup>-1</sup>
1	1,600.00	1,396.83	1523.81	8.28	23.4	1.81	0.90	165.6	21,830
2	406.35	812.70	634.92	7.48	22.0	1.73	0.86	118.0	14,670
3	76.19	0.00	50.79	7.26	21.5	1.77	0.88	128.6	4,000
4	203.17	215.87	317.46	7.44	19.2	1.80	0.90	31.3	2,250
5	114.29	12.70	88.89	7.60	15.9	1.80	0.88	54.0	103,000
6	241.27	228.57	63.49	7.48	16.2	1.97	0.98	26.4	1,250
7	25.40	101.59	88.89	8.50	15.8	1.68	0.84	103.0	6,000
8	685.71	152.38	126.98	8.55	20.5	1.60	0.81	173.0	13,500
9	50.79	253.97	177.78	8.48	19.0	1.57	0.79	54.0	4,000

## Relación DQO – pH

A pesar de que el pH se encuentra entre el rango óptimo de 6.5 a 8.5 en el cual se pueden desarrollar adecuadamente la mayoría de los microorganismos (Arce, *et al.*, 2007) no se observa una relación de este parámetro con la remoción de carga orgánica con DQO (Figura 11).

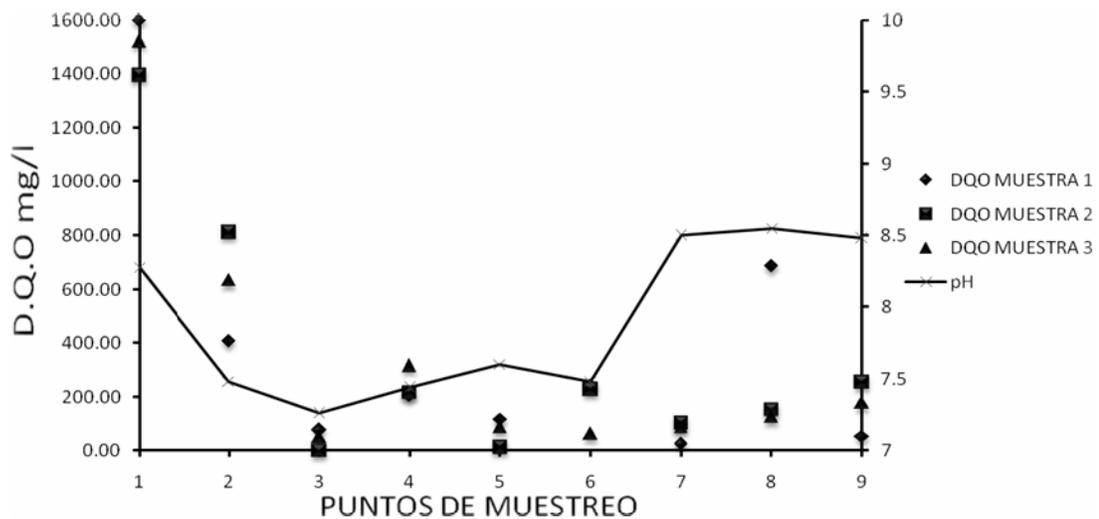


Figura 11. Relación DQO – pH.

## Relación DQO – Temperatura

En la temperatura se puede apreciar una relación con DQO, esto es debido a la influencia que tiene este parámetro sobre las reacciones químicas y la actividad bacteriana, lo cual ayuda a una mayor remoción de carga orgánica (Delgadillo, *et al.*, 2010). En la Figura 12, el punto 4 perteneciente al pantano poniente es el único en diferir en la relación, debido a que en el momento del muestreo había sido podado, dejándolo a una mayor exposición solar, lo que pudo haber influido en el aumento de la temperatura con respecto al punto 5 (pantano oriente) donde también se llevó a cabo una poda pero en este se dejó el material vegetativo sobre su superficie.

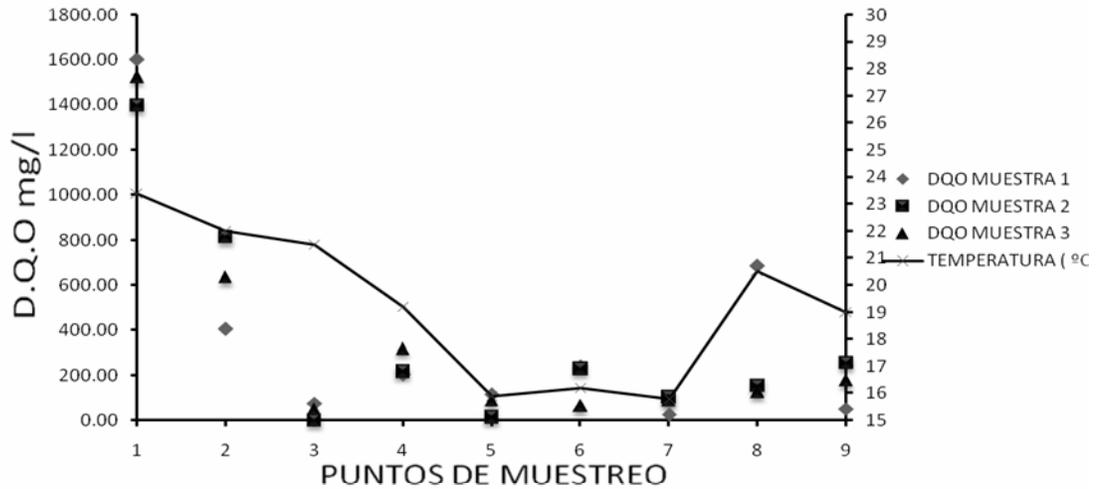


Figura 12. Relación DQO – Temperatura.

### Relación DQO – Conductividad Eléctrica

La remoción de carga orgánica por DQO no guarda una relación con la conductividad eléctrica (Figura 13), ya que esta es un parámetro que mide sustancias disueltas las cuales son particularmente de origen inorgánico (Knobelsdorf, 2005).

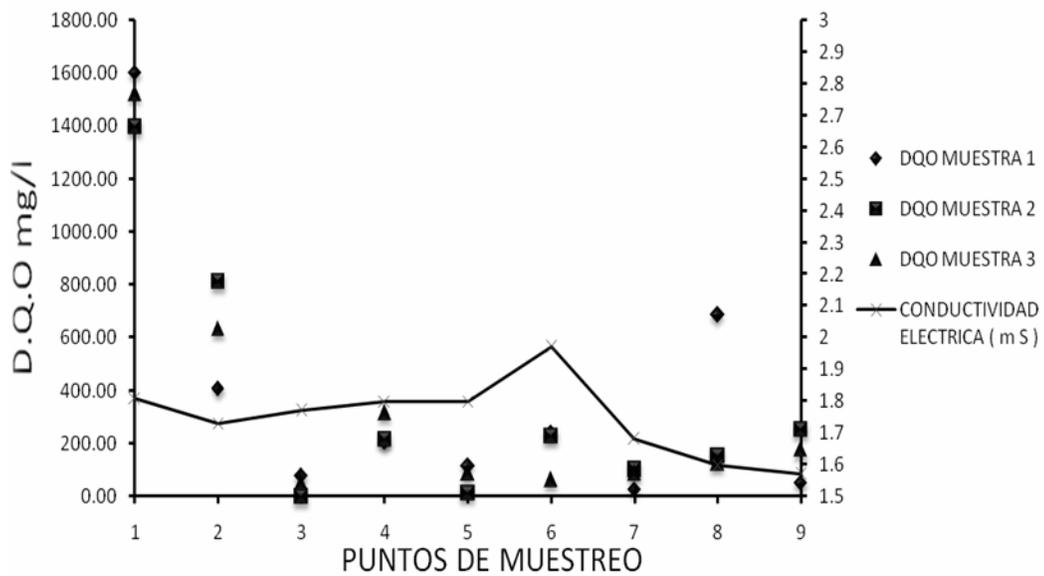


Figura 13. Relación DQO – Conductividad Eléctrica.

## Relación DQO – Sólidos Disueltos Totales

Al igual que la conductividad eléctrica el parámetro de Sólidos Disueltos Totales (Figura 14) guarda la misma relación con la remoción de materia orgánica por DQO.

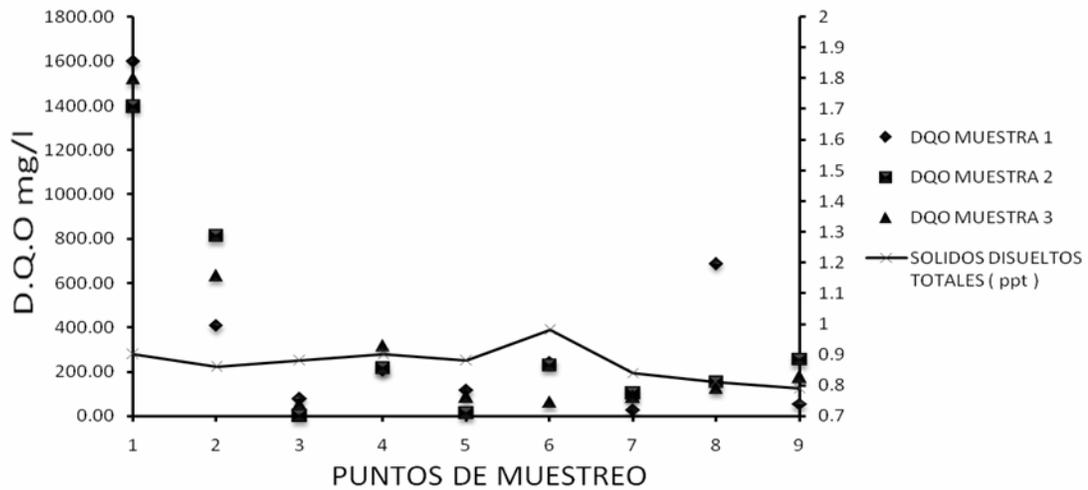


Figura 14. Relación DQO – Sólidos Disueltos Totales.

## Relación DQO – Turbidez

La DQO muestra cierta relación con la Turbidez (Figura 15), con excepción del punto 3 (tanque igualador poniente) y el punto 7 (salida de la laguna de almacenamiento) esto se debe a que el parámetro de turbidez tiene una relación directa con el material tanto en suspensión como coloidal, lo que indica materia de origen tanto orgánico como inorgánico (Caza, 2009).

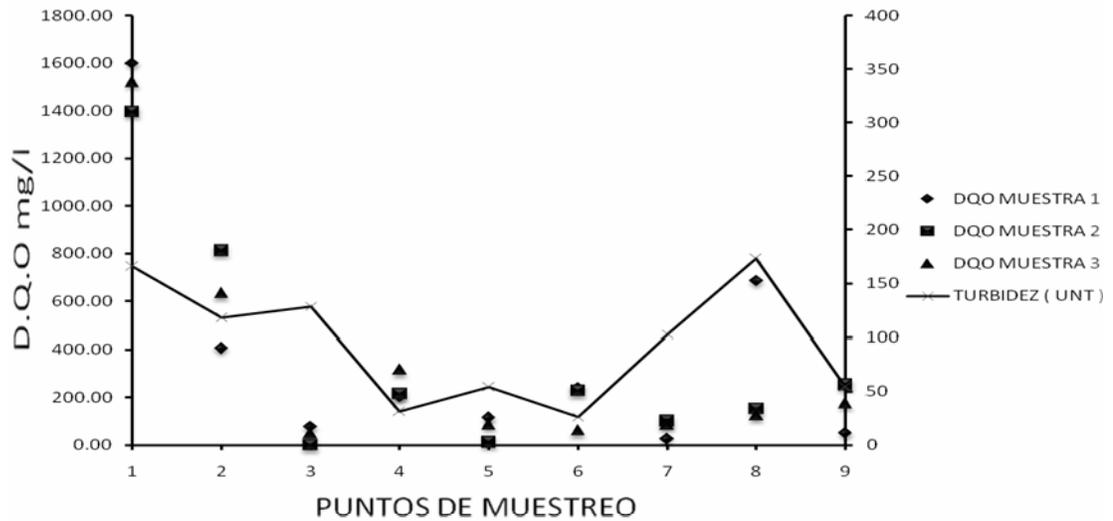


Figura 15. Relación DQO – Turbidez.

### Relación DQO – Sólidos Suspendedos Totales

Se puede apreciar cierta relación entre sólidos suspendidos y la remoción de carga orgánica por DQO, con excepción del punto 4 (pantano poniente) y el punto 5 (pantano oriente) en este último se disparó totalmente el resultado debido muy probablemente a un error en el laboratorio al momento de determinarlo.

Estos dos parámetros no guardan una relación directamente en sí, debido a que el origen de los sólidos suspendidos pueden ser tanto de origen orgánico como inorgánico (Arce, *et al.*, 2007).

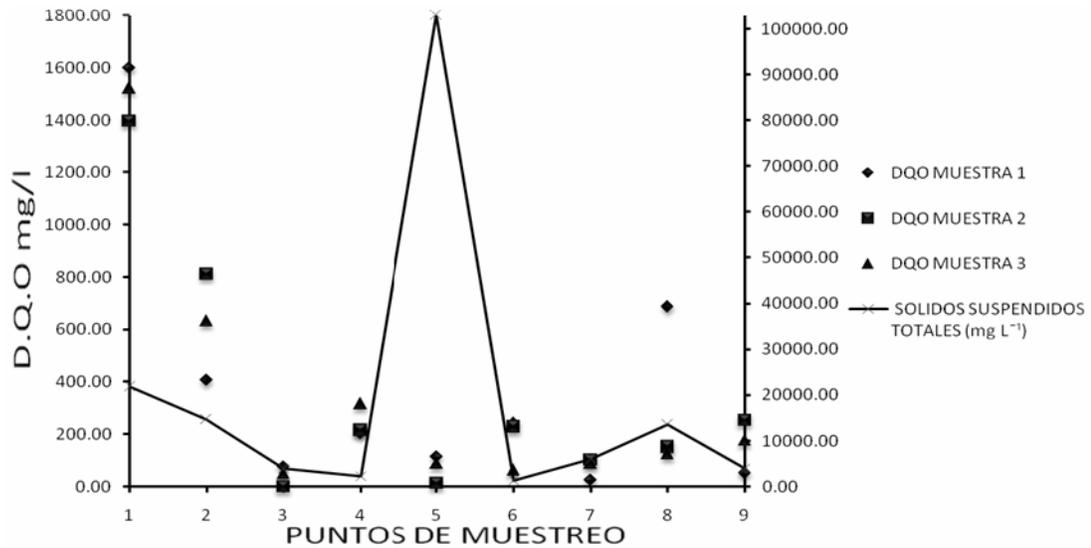


Figura 16. Relación DQO – Sólidos Suspendedos Totales.

Como se puede observar en las graficas, no necesariamente existe una relación directa entre los parámetros físicos-químicos con respecto a la remoción de carga orgánica por DQO ya que muchos de estos miden concentraciones de materia tanto orgánica como inorgánica, a excepción de temperatura la cual influye en los microorganismos y estos a su vez en la degradación de la materia orgánica.

## V. CONCLUSIONES

La eficiencia de remoción de carga orgánica evaluada por DQO en el sistema natural de tratamiento de la UAAAN de manera global es de un 95.22% lo que indica una buena remoción ya que en los sistemas de tratamiento naturales las tasas de remoción son de cercanas al 90% o más (Samaniego, 2011). Sin embargo la eficiencia de remoción de carga orgánica por DQO en los diferentes procesos muestran grandes deficiencias esto se debe a la falta de mantenimiento que presentan.

El tanque Imhoff presenta una eficiencia del 50% que puede considerarse como una eficiencia óptima en remoción de carga orgánica evaluada por DQO según la guía para el diseño de tanques sépticos, Imhoff y lagunas (OPS/CEPIS, 2005), donde se menciona una remoción de carga orgánica por de DBO de un 25 a 60%, y tomando en cuenta que la relación DQO: DBO representan relaciones cercanas de 2:1 (Arce, *et al.*, 2007).

Analizando los resultados de DQO con la prueba de medias, se puede concluir que en los T1 y T2 son los procesos en donde se lleva a cabo la mayor remoción de carga orgánica, los tratamientos T4, T6, T8 y T9 son iguales debido a varios factores relacionados a la eficiencia en sus procesos de depuración. Por su parte los tratamientos T3, T5 y T7 son iguales en contenidos de DQO.

No se observa una relación directa entre los parámetros físicos-químicos con respecto a la eficiencia en la remoción de carga orgánica por DQO.

## **VI. RECOMENDACIONES**

A pesar de que los resultados obtenidos de manera global en la remoción de carga orgánica por DQO en el sistema natural de tratamiento de la UAAAN son aceptables, hay diferentes procesos que muestran una gran deficiencia en la depuración por falta de mantenimiento por lo que se recomienda.

Implementar un programa de mantenimiento integral que comprenda podas, desazolves, retiro de sólidos, cambio de sustrato, para evitar cortos circuitos y zonas muertas, así como monitoreo constante del gasto para evaluar tiempos de residencia.

Hacer evaluaciones de la hidrodinámica del sistema con el objetivo de determinar zonas muertas y de estancamiento.

En la última etapa de tratamiento (laguna de almacenamiento) se puede emplear el uso de especies acuáticas como peces, los cuales nos pueden servir como indicadores del contenido de oxígeno en el agua.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, I.S. Rodríguez, R. M. Pérez, J. Buzón, M. Camacho. 2003. Validación de la Determinación de la DQO en la Unidad Analítica del CEBI (Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente).Revista Cubana de Química. Vol. XV, Nº 2, 2003.
- Alexander, R. J. 2005. Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas Utilizando la Depuración Simbiótica. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, Julio, año/vol.3, número 002, pp. 26-33.
- Arce, V. Al., Calderón Molgora CG. y Tomasini, O. AC. 2007. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. Serie Autodidactica de Medición de la Calidad del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA y de la Subdirección General de Administración del Agua, CNA.
- Caza, V. C.R., 2009. “Reducción de la Demanda Química de Oxígeno del Agua de Formación del Terminal Petrolero de Balao Mediante la Utilización de Bacterias para evitar la Contaminación Ambiental”. Tesis de Ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
- Comisión Nacional del Agua. 2004. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Edición 2004. México, D.F.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L.F. y Andrade, M. 2010. Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales. Serie Técnica. Universidad de Barcelona.
- Fernández-Alba, R. A., Letón, G. P., Rosal, G.R., Dorado, V. M., Villar, F. S., y Sanz, G .J.M. 2006. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. Informe de Vigilancia Tecnológica. Madrid, España.
- Flores, V. E., Breña, P. A., y Pomarez, O. J.M. 2006. Tratar el Agua Residual: Una Necesidad. Libro perteneciente a la Serie Incalli Ixcahuicopa. Universidad Autónoma Metropolitana. 1ª Edición 2006.
- Huerga, P.E. 2005.Desarrollo de Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales Mediante el uso de Tecnologías Limpias Dirigidas al Reciclaje y/o Valoración de Contaminantes. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia, España.

- Knobelsdorf, M. M.J. 2005. Eliminación Biológica de Nutrientes en una ARU de Baja Carga Orgánica Mediante el Proceso VIP. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Martín, F. I. 2008. Propuesta de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales a bajo Costo para la Localidad de Guelatao de Juárez, Oaxaca, México, Proyecto Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid.
- Metcalf & Eddy.1998. Ingeniería de Aguas Residuales. Tomo 1. Mc. Graw-Hill, 1998.
- 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.
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (cancela a la NMX-AA-030-1981).
- Organización Panamericana de la Salud, 2005. Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Organización Mundial de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente CEPIS. Lima, 2005.
- Peña, V. M.R., Van, G.M. Y Madera, P. C.A. 2003 Humedales de Flujo Subsuperficial: Una alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domestica en Zonas Tropicales. Volumen 5 - No. 1 - Octubre de 2003.
- Pérez, A. F.E., y Camacho, A. K.L. 2011. "Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Servidas". Tesina de Ingeniería Ambiental. Universidad Veracruzana. Poza Rica de Hgo., Veracruz.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salina, E y Ortiz-Hernández, M.L. 2009. Tratamiento de Aguas Residuales por un Sistema Piloto de Humedales Artificiales: Evaluación de la Remoción de la Carga Orgánica. Rev Int.Contam. Ambient 25(3)157-167.

- Samaniego, M. L. 2011. Remoción de Contaminantes Específicos en Ecosistemas Construidos. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo N.L, México.
- Seguí, A. L.A. 2004. Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona España.
- Silva G. S. E., Browne M. S. M., Hernández Z. J. S.,Toxtle T. J. S., Pérez A. R. 2008. Departamento Universitario para el Desarrollo Sustentable y Posgrado en Ciencias Ambientales, del Instituto de Ciencias. Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Biología, BUAP. Puebla, Pue.
- Vidales, C. JA., Rodríguez, F. H., Aranda R. J. y García, Z. RA. 2010. Pantanos Construidos para Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. [Ide@s CONCYTEG 5(60): Junio, 2010].