

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**EVALUAR LA CALIDAD AGRONÓMICA DEL AGUA RESIDUAL (AR)  
TRATADA EN EL TANQUE IMHOFF**

**POR:**

**ELDA PÉREZ PÉREZ**

**TESIS**

**Presentado Como Requisito Parcial Para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coah.**

**Junio del 2017.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

EVALUAR LA CALIDAD AGRONÓMICA DEL AGUA RESIDUAL (AR)  
TRATADA EN EL TANQUE IMHOFF

Por:

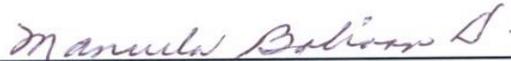
ELDA PÉREZ PÉREZ

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

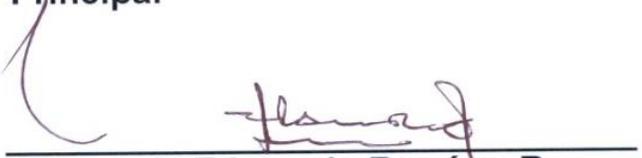
APROBADA POR:

  
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor Principal

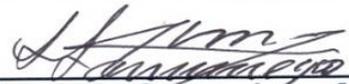
  
Ing. Rolando A Sandino Salazar

Coasesor

  
M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Coasesor

Coordinador de la División de Ingeniería

  
Dr. Luis Samaniego Moreno

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2017

Coordinación de  
Ingeniería

## AGRADECIMIENTO

### A DIOS

Le agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de concluir la carrera con salud, al igual que mi familia por haberme dado sabiduría y porque siempre me acompañaron en mí caminar.

### A MI “ALMA TERRA MATER”

Por haber abierto las puertas para darme las oportunidades de formarme profesionalmente y de terminar mi carrera.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte, por la asesoría de esta tesis, también agradeciendo por sus enseñanzas y consejos y por poner la confianza en mí, y por sus enseñanzas brindadas en este Departamento, simplemente gracias que Dios la bendiga siempre.

Ing. Rolando A. Sandino Salazar, Gracias por el tiempo que le dedicaron para revisar este trabajo de tesis.

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos, por haber prestado su tiempo para revisar esta tesis.

La Q.F.B. Paola Moreno Garza, por su ayuda incondicional para recabar los datos que se necesitaba para llevar a cabo este proyecto.

Mis sinceros agradecimiento a todos los profesores del Departamento de Riego y Drenaje por haberme brindado sus conocimientos.

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES

GILBERTO PÉREZ ROBLERO

MARTIMIANA PÉREZ PÉREZ

Por haberme brindado su apoyo incondicionalmente, por darme consejos, bendiciones y siempre dándome una orientación para seguir el camino correcto y tomar buenas decisiones en mi vida. Dios los bendiga siempre, los quiero mucho papitos con todo cariño les dedico mi título.

### A MIS HERMANOS

Minerva, Blanca, Darinel y a todos mis hermanos en general, les agradezco por haberme dado su apoyo, amor y porque jamás me dejaron sola a pesar de las cosas que pasan en la vida. A todos ellos gracias.

### A MI ESPOSO

Gracias amor (César G. E.) por haberme apoyado y brindado tu gran amor, también por comprenderme y por haber esperado el tiempo suficiente para estar juntos y por formar parte de mi integridad.

A MI HIJA YARETZI, mi princesa hermosa, por haber sido mí fuerza para seguir adelante y llegar el término de mi profesión.

### A MIS SUEGROS (MARÍA Y MARCELINO)

Por haberme brindado su apoyo incondicional y por formar parte de mi familia en mi vida.

### A MIS AMIGOS

Agradezco (Rodi, Wilson, Aldoris, Silvia ) por formar parte de mi vida durante la carrera, por el apoyo recibido de parte de ellos sobre todo de mi mejor amiga Yesenia, por haberme brindado su amistad, comprensión y parte de su tiempo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	ix
I.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. La Molécula de Agua .....	3
2.2. La Importancia del Agua en el Mundo .....	3
2.4. La Importancia del Agua en Saltillo .....	4
2.5. La Escasez del Recurso Hídrico .....	4
2.6. La Contaminación de Agua en México .....	5
2.7. Tipos de Contaminantes del Agua.....	6
2.9. Regeneración y Reutilización de Agua .....	7
2.10. Fuentes de Aguas Residuales .....	8
2.11. Calidad del Agua .....	8
2.11.1. Sabor y Olor.....	9
2.11.3. Color.....	9
2.11.4. Turbidez y Conductividad Eléctrica.....	9
2.11.5. Sólidos Disueltos.....	10
2.11.6. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	10
2.11.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	10
2.11.8. Coliformes Totales y Fecales (CT y CF) .....	10
2.12. Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales en México.....	11
2.12.1. Procesos Biológicos .....	11
2.12.2. Lodos Activados .....	11
2.12.3. Filtros percoladores .....	12
2.12.4. Discos Biológicos Rotativos .....	12
2.12.5. Laguna.....	13
2.12.6. Humedales Artificiales.....	13

2.12.7. Tanque Imhoff .....	13
2.13. Eliminación de Microorganismos para los Procesos de Tratamiento Primario ...	16
III. MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1. Lugar y Fecha de Establecimiento .....	18
3.2. Procedimiento de Muestreo .....	19
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Parámetros Físico-Químicos y Biológicos .....	20
V.CLONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.....	23
VI. LITERATURA CITADA.....	24

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de los análisis Físicos-Químicos y Biológicos de muestras correspondientes al Influyente y Efluente. ....	20
Cuadro 2. Comparación del efluente con las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997. ....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización Geográfica Tanque Imhoff .....	18
Figura 2. Muestreo del Ifluente .....	18
Figura 3. Muestreo del Efluente.....	19

## RESUMEN

Las aguas residuales son muy importantes, ya que es una manera de volver a utilizarlas a través de un tratamiento. Es primordial disponer de agua de calidad y cantidad suficientes, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En la actualidad, más de un tercio de la superficie del planeta se encuentra en situación de escasez de recursos hídricos. Por la importancia de este recurso en la agricultura se realizó la siguiente investigación muestreando el influente y efluente del Tanque Imhoff ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista Saltillo, Coah. cuyas coordenadas geográficas son L 25°21'22" N y L 101°2'5" W con una elevación de 1,767 msnm.

Las muestras tomadas se analizaron en el Laboratorio de Calidad de Aguas y Fertilidad de Suelos del Departamento de Riego Y Drenaje. Las determinaciones fueron Físicos-Químicos y Biológicos mismas que se compararon con la NOM-003-SEMARNAT-1997, cumpliendo con la mayoría de los parámetros ahí considerados con excepción de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

En lo que respecta a la calidad agronómica del agua, se considera apta para riego de cultivo tolerantes a la salinidad por valor alto de la Conductividad Eléctrica (CE) parámetro importante en la selección del método de riego.

En cuanto a la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST) Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) y de acuerdo a Ordoñez (2006) el tratamiento biológico con el tanque Imhoff se considera eficiente.

Palabras Claves: *Aguas Residuales, Sólidos Sedimentables, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).*

## I.INTRODUCCIÓN

El agua en el planeta presenta una alarmante realidad, en cuanto a su disponibilidad del 75 por ciento que cubre la tierra; el 97 por ciento es agua salada y sólo el 3 por ciento restante está constituido por agua dulce. De este porcentual, un 2 por ciento se encuentra congelado en los polos, quedando, entonces, disponible para el consumo de los seres vivos, solo un 1 por ciento del volumen total (Figuroa, 2007).

Una manera de reutilizar el agua sería con tratamiento, ya que es una cuestión prioritaria a nivel mundial. Es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficientes, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 por ciento de las aguas residuales generadas reciben tratamiento (Romero *et al.*, 2009).

Para Lima (2005) uno de los tratamientos biológicos es el tanque Imhoff, cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y DBO<sub>5</sub>. Ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad. Por ese motivo también se llama tanques de doble cámara, pero también se considera como una planta tratadora de agua residual.

Villegas (2008) recomienda este método para poblaciones menores de 5,000 habitantes, ya que es una mejor opción que el tanque sedimentador simple, porque elimina del 40 al 50 por ciento de sólidos suspendidos y reduce la  $DBO_5$  de 25 a 35 por ciento. Es recomendable enviar el efluente hacia una laguna facultativa para que se tenga una buena remoción de microorganismos patógenos. Este sistema de tratamiento de agua es adecuado para una superficie de terreno pequeño, debiendo ser instalado lejos de la población.

El agua tratada se utiliza en diversas actividades como son nadar pescar, pasear en lanchas y hacer días de campo. Si el agua no se limpia apropiadamente, puede ser transmisora de enfermedades. El agua de buena calidad debe satisfacer las necesidades humanas. Es un recurso cada vez más escaso, sobre todo en zonas áridas y semiáridas lo que constituye un problema (Pérez, 1990).

Por lo anterior es importante promover el tratamiento de las aguas residuales con la finalidad de su reutilización. En la agricultura esto se puede lograr mediante procesos tanto físicos como químicos y biológicos para reducir la concentración de contaminantes.

### 1.1. Objetivos

- Evaluar la calidad agronómica del agua residual (AR) tratada en el tanque Imhoff.
- Determinar la eficiencia del tanque Imhoff en el proceso de remoción de sólidos suspendidos y DBO.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La Molécula de Agua

En la antigüedad se consideraba que el agua era un elemento básico. Fue hasta el siglo XVIII cuando el químico inglés Henry Cavendish sintetizó el agua detonando una mezcla de Hidrógeno y aire, que se supo que no se trataba de un elemento, sino de un compuesto. En 1804 cuando se iniciaba el siglo XIX Gay-Lussac y Alexander Von Humboldt demostraron que la molécula de agua estaba compuesta de dos átomos de Hidrogeno y uno de Oxígeno. De ahí que su fórmula sea  $H_2O$ . Se trata de una simple molécula, pero de una molécula milagrosa. Esta molécula llena los océanos, alimenta y hace posible la vida de miles de especies acuáticas y de todas las terrestres (Perera, 2011).

### 2.2. La Importancia del Agua en el Mundo

Las agua dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. Para Toledo (2002) algunas evaluaciones que han hecho los especialistas y organizaciones internacionales sobre los problemas del agua considera que para el año 2025, más de las dos terceras partes de la humanidad sufrirá algún estrés por la falta de éste líquido.

### 2.3. La Importancia del Agua en México e Importancia Ambiental

Los recursos hídricos en México de acuerdo a Lezama y Graizbord (2010) se caracterizan por su alta diferenciación territorial y temporal en la disponibilidad natural del agua.

De modo que entran en contradicción con la distribución de la concentración poblacional y los datos de la generación del producto interno bruto (PIB). Es considerado como fuente de materia, energía y medio de vida en los ecosistemas del planeta. El uso inadecuado de los recursos hídricos por la población ocasiona graves impactos ambientales en los ámbitos global, regional y local.

#### 2.4. La Importancia del Agua en Saltillo

Es un hecho que el desarrollo del hombre está estrechamente relacionado con el aprovechamiento del agua y condicionado de manera importante en términos económico, social y ambiental (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-INEGI-1986). El agua es un abundante recurso natural que se ha aprovechado por muchísimos años para el establecimiento de huertos y grandes extensiones agrícolas y posteriormente para el funcionamiento de fábricas textiles. En la actualidad es utilizada para las actividades de las grandes industrias. Por lo anterior, hoy nuestro recurso se encuentra en una profunda crisis por el alto grado de contaminación y por el mal uso que se hace de ella (Secretaría de Planeación y Desarrollo -SPD-2001).

El agua es un elemento vital para la sociedad debido a que es esencial, Saltillo es un territorio que contaba con varios ojos de agua, manantiales y arroyos. Por estar localizado en el semidesierto actualmente la escasez de agua es un problema constante en varias temporadas del año. Cada vez es más difícil o más caro satisfacer la necesidad de agua de toda la población (Para la Secretaría del Medio Ambiente-SEMA-2013).

#### 2.5. La Escasez del Recurso Hídrico

En la actualidad, más de un tercio de la superficie del planeta se encuentra en situación de escasez de recursos hídricos. No hay realmente

escasez de recursos en algunas zonas, pero generalmente existe un límite en el suministro de agua utilizable en casi todas las partes del mundo. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) según Pereira (1997) calcula que alrededor de 2.000 millones de personas viven en áreas con escasez crónica de agua y que cada año mueren alrededor de 10 millones de personas por consumir agua contaminada.

El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, lo que hace que en zonas áridas y semiáridas constituya un problema (Pérez, 1990).

## 2.6. La Contaminación de Agua en México

Rodríguez–Monroy y Duran de Bazúa (2006) Citados por Romero (2009) consideran que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición perdiendo su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales las define Romero (2009) como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

El agua del país está muy contaminada. En un estudio que realizó la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2006) en 535 cuerpos receptores, el 27 por ciento de las aguas superficiales tenían calidad satisfactoria. Es decir, se podían utilizar para cualquier fin; el 49 por ciento se encontraba poco contaminado, lo que restringía su uso a ciertas actividades, y el 24 por ciento estaba contaminado o muy contaminado, lo que volvía difícil su uso. En 1994 se aprobó una ley que obliga a las ciudades a plantas de tratamiento, y se prevén sanciones para las que no cumplan. La ley entró en vigor en 1995, pero no se

construyeron las plantas ni las ciudades fueron sancionadas. No hay dinero para acatar la ley (Schmidt y *Hatch*, 2012).

Las aguas residuales sin tratar, son la principal fuente de contaminación de ríos, canales y lagos; lo que impacta en la desaparición de la vegetación y la extinción de peces y otras especies acuáticas. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ilustra la dimensión de la repercusión de las aguas de desecho: un litro de agua residual contamina aproximadamente ocho litros de agua dulce. La mayoría de los estados que están por encima del 60 por ciento de tratamiento de aguas son del Norte. Eso se explica porque los recursos hídricos son escasos y además ahí se concentra el mayor núcleo de población. Por lo que tratar las aguas para su reuso resulta primordial (Sánchez, 2014).

## 2.7. Tipos de Contaminantes del Agua

Los contaminantes del agua se clasifican según Jiménez (2003) en tres categorías: 1). Químicos 2). Físicos y 3). Biológicos.

### 1). Contaminantes Químicos

Comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental resultante de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución de Oxígeno como resultante de la utilización de éste en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos.

### 2). Contaminantes Físicos

Incluyen cambios térmicos (contaminación térmica). Es el caso de aguas presentes de plantas industriales, relativamente calientes después de haber sido utilizadas en los intercambiadores (enfriadores); el color (por ejemplo, los licores negros y turbidez, (originada por la descarga de aguas que contienen sólidos en suspensión.

### 3). Contaminantes Biológicos

Son los responsables de transmisión de enfermedades.

## 2.8. El Uso de Agua Residual Tratada en México

En muchas áreas del mundo que se enfrentan a la escasez de agua, como los países ribereños del Mediterráneo, los del Oriente Medio, Suroeste de los Estados Unidos, México o Sureste y Centro de Asia, entre otras, el uso de aguas residuales tratadas es una práctica habitual que en los últimos años ha tenido un incremento notable (Shelef, 1996).

La reutilización del agua según Pérez (1990) requiere un estudio profundo de planificación de la infraestructura y de los recursos, la construcción de la planta de tratamiento de las aguas residuales, la fiabilidad del tratamiento, el análisis económico y financiero. Hoy en día, existen tratamientos técnicamente probados o procesos de purificación capaces de recuperar agua residual de casi cualquier calidad que se desee. Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas dependiendo del nivel de tratamiento a que se sometan.

El Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (PTARM). Reporta la situación del reuso del agua residual tratada en el país en el año 2001, donde en usos industriales se destacan los estados de Nuevo León, Edo. de México y Coahuila reutilizando 2,810 lps que equivale a un 26 por ciento de reuso (Escalante *et al.*, 2003).

## 2.9. Regeneración y Reutilización de Agua

Las primeras evidencias de la reutilización de aguas residuales corresponden a la Grecia antigua, estas evidencias históricas han sido

recogidas y documentadas por Angelakis y Spyridakis (1996). Barty-King (1992) mencionados por Asano (2001).

Seguí (2004) menciona que en México se producen 200  $m^3/s$  de aguas residuales urbanas. Los procesos de tratamiento para los efluentes municipales son diversos, aunque predominan las lagunas de estabilización y los sistemas de lodos activados (CNA, 2002).

## 2.10. Fuentes de Aguas Residuales

Romalho *et al.*, (1990) reportan que las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son: aguas domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, escorrentía de usos agrícolas y pluviales. La contaminación debida a los usos agrícolas, así como las aguas pluviales de zonas urbanas, están adquiriendo una gran importancia. Normalmente las aguas residuales, tratadas o no, se descargan finalmente a un receptor de aguas superficiales (mar, río, lago, etc.).

## 2.11. Calidad del Agua

La calidad del agua se refiere a la concentración de sólidos disueltos, en suspensión, iones Hidrógeno, organismos patógenos y color en determinada cantidad de agua. Las sustancias químicas representan un problema para la calidad del agua dependiendo de qué tan tóxicas sean, la valoración del agua como de buena o mala calidad no puede ser absoluta, sino que depende del uso que se le vaya a dar o del destino que tenga (Baddi y Cerna, 2008).

La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La  $DBO_5$  y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los

cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, tanto de origen municipal como no municipal (Comisión Nacional del Agua, 2015).

## 2.12. Parámetros de Aguas Residuales

Rigola (1989) describe algunos parámetros importantes de AR:

### 2.12.1. Sabor y Olor

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de  $Cl^-$  y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de  $SO_4$ .

### 2.11.3. Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusivo. El color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas, puede representar un potencial de ciertos productos cuando se utiliza como material de proceso.

### 2.11.4. Turbidez y Conductividad Eléctrica

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, siendo importantes en el reúso del agua.

Conductividad Eléctrica es otro parámetro representando la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad.

#### 2.11.5. Sólidos Disueltos

Los sólidos disueltos o salinidad, son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Esto se origina por el material orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales.

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

Puede considerarse como una medida aproximada de la demanda teórica de Oxígeno y se define como la cantidad de este elemento que es equivalente a la cantidad de dicromato de potasio consumido por el material disuelto y en suspensión (Rosabal *et al.*, 2014).

#### 2.11.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) indica la cantidad de compuesto oxidable que se tiene en el agua. Por lo tanto, la (DBO<sub>5</sub>) según Lenora (1999) representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable.

#### 2.11.8. Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)

Para Moreno (2003) las Bacterias Gram negativas de morfología bacilar, son capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35° ó 37°C (–CT–). Aquéllas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44° ó 44.5° C se denominan Coliformes Fecales (CF).

Generalmente, las bacterias Coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo

(Munn, 2004). Así mismo, para Marín et al., (2004) la contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante que constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población.

## 2.12. Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales en México

### 2.12.1. Procesos Biológicos

Son tratamientos convencionales como sistemas de lodos activados o filtros biológicos percoladores; pueden rápidamente convertir diversos compuestos orgánicos en biomasa que posteriormente, por medio de clarificadores, pueden ser separados. El agua residual de una planta tratadora en Suiza se encontraron compuestos como diclofenaco, naproxeno y carbamazepina, con una eficiencia de remoción de un 69, 45 y 7 por ciento respectivamente (Tixier *et al.*, 2003).

Los tratamientos biológicos se han catalogado como la tecnología más viable en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, sólo generan una remoción parcial de contaminantes emergentes, los cuales en la mayoría son descargados en los efluentes de las plantas tratadoras (García *et al.*, 2011).

### 2.12.2. Lodos Activados

Método que Méndez *et al.*, (2004) describen como un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa. Después de un tiempo la

mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por sedimentación del agua residual tratada.

#### 2.12.3. Filtros percoladores

Los filtros incluyen según los autores anteriores un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio. Este sistema de drenaje inferior es importante, tanto por la instalación de recolección, como por su estructura discontinua por donde puede circular el aire. El líquido recolectado pasa a través de un tanque de sedimentación en el que se separan los sólidos del agua residual. En la práctica, una parte se recicla del líquido recolectado en el sistema de drenaje inferior o del efluente del tanque de sedimentación, para diluir la concentración del agua residual que entra en el sistema y para mantener la humedad de la película biológica.

#### 2.12.4. Discos Biológicos Rotativos

En este sistema según Trujillo (2013) los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos hasta formar una película biológica sobre la superficie mojada de los mismos. La rotación de los discos pone la biomasa en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera, para la adsorción de Oxígeno. La rotación del disco induce la transferencia de este gas y mantiene la biomasa en condiciones aerobias. La rotación es el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos en los discos por medio de los esfuerzos cortantes que origina y sirve para mantener en suspensión los sólidos arrastrados, de modo que puedan ser transportados desde el reactor hasta el clarificador.

#### 2.12.5. Laguna

Es el proceso de tratamiento más utilizado en el país, seguido de lodos activados, donde se tienen registradas 268 plantas. Las lagunas se utilizan principalmente para tratar aguas residuales domésticas. En este sentido, los contaminantes que se desea remover son la materia orgánica biodegradable, los sólidos suspendidos y los microorganismos patógenos (CNA, 2007).

#### 2.12.6. Humedales Artificiales

En la actualidad en humedales artificiales se han utilizado con éxito la especie *Phragmites australis*, comúnmente llamada carrizo o caña de río (Quipuzco, 2002). De igual forma en varios estados de la República como son Michoacán, Nayarit, Colima, Chihuahua, Estado de México, Hidalgo, Oaxaca, Tamaulipas, Tlaxcala y Cd. De México se han instalado sistemas naturales basados en estos tipos de plantas para el tratamiento de aguas residuales (CNA, 2007 y Castañeda y Flores, 2013).

#### 2.12.7. Tanque Imhoff

Este sistema puede considerarse como un paso adelante de la fosa séptica. Toma el nombre de su inventor el ingeniero alemán Karl Imhoff (1876 – 1965) que introdujo en la primera década del Siglo XX la innovación de separar la zona de sedimentación de la de retención y digestión del lodo. Éste tiene la función de separar los sólidos de rápida sedimentación (Noyola *et al.*, 2013).

##### 2.12.7.1. Funcionamiento.

Lima (2005) lo conceptualiza como una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Ofrecen ventajas para el

tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se llama tanques de doble cámara. Tienen una operación muy simple y no requieren de partes mecánicas. Sin embargo, para su uso es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

Este mismo autor menciona las siguientes Ventajas y desventajas:

#### Ventajas:

- Contribuye a la digestión del lodo, mejor que un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.
- No descargan lodo en el líquido efluente.
- El lodo se seca y se evacua con más facilidad que el procedente de los Tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95 por ciento de humedad.

#### Desventajas:

- Son estructuras profundas mayor de 6 m.
- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío se utiliza en pequeñas comunidades.
- El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

#### 2.12.7.2. Diseño del Tanque Imhoff.

Éste dispone de un sedimentador y un digester de lodos. Consiste, básicamente, en la remoción constante de las espumas, en la inversión del flujo de entrada para una distribución uniforme de los sólidos sedimentables en los extremos del digester y en el drenaje periódico de los lodos digeridos. El sedimentador, ubicado en la parte superior del tanque, tiene como misión la de remover los sólidos sedimentables y flotantes. Por su parte, el digester ocupa la parte inferior del tanque Imhoff y su función es la estabilización anaeróbica de los lodos sedimentados. El material sedimentable va depositándose en el fondo del sedimentador donde se producirá su estabilización o mineralización (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CPISCA-2016).

Otra investigación es la Planta Totorá que consta de seis tanques Imhoff, realizado por Consulting Engineers Salzgitter-CES-2001, En la evaluación de tratamientos biológicos como las lagunas anaerobias facultativas, un sistema anaerobio de tanques Imhoff y un sistema hídrico caracterizando el agua residual y volúmenes de las mismas.

Noyola (2000) los valores de pH oscilan entre 7.1 y 7.4, lo que nos indica que el tratamiento que se le puede dar a esta agua residual puede ser uno biológico. Los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) presentan un promedio de 260 mg/l. con este parámetro podemos estimar la cantidad de materia suspendida a sedimentar. Mientras que los (SSV) que están en el rango de 117 a 235 mg/l (Crites y Tchobanoglous, 2000). Los valores de la DQO están en el rango de 458 a 665 mg/l; La  $DBO_5/DQO$  se encuentra mayor a 0.5, lo que permite clasificar al agua residual como biodegradable (Gama, 2001).

Montoya (1976) concluye que la finalidad y uso de los tanques Imhoff son las mismas que las de un proceso de tratamiento primario, pues los niveles de remoción de sólidos suspendidos Totales (SST) y de  $DBO_5$  son bajos comparados con los niveles logrados en los sistemas más completos de tratamiento biológico. Los tanques Imhoff son una alternativa que debe

considerarse, puesto que presentan la gran ventaja de no requerir sistema alguno de transporte de los lodos primarios al digestor. Ordoñez (2006) menciona que el tanque Imhoff reduce una proporción del 40 al 60 por ciento de Sólidos Suspendingidos Totales (SST) y del 25 al 35 por ciento de  $DBO_5$ .

Vázquez en (2011) menciona que un Tanque Imhoff debe de presentar un 90.8 por ciento de eficiencia de remoción de  $DBO_5$ , teniendo una concentración de entrada de  $233 \text{ mg l}^{-1}$  y una concentración de salida de  $21.47 \text{ mg l}^{-1}$ , por lo que se observa que se pueden llegar a remover de un gasto de  $16.67 \text{ lps}^{-1}$ , aproximadamente,  $305.9 \text{ kg día}$  de lodos biológicos está cumpliendo con límites máximos permisibles.

El tanque Imhoff puede ser una parte de una planta para el tratamiento completo, su digestión debe tener una capacidad para lodos secundarios y también para los que recibirá de la sobrepuesta cámara de sedimentación (Calvache *et al.*, 2002).

Alrededor de un mes se degrada la materia y la producción de gases es muy escasa y los lodos son suficientemente estables como para no presentar un peligro potencial para la salud pública (Castillo e Hidalgo, 2006).

### 2.13. Eliminación de Microorganismos para los Procesos de Tratamiento Primario

Durante el tratamiento primario, del mismo modo que los microorganismos asociados a partículas sólidas, podrán ser eliminados con la materia sedimentable un 50 y 90 por ciento de los huevos y quistes de parásitos durante el tratamiento primario, mientras que este proceso sólo puede llegar a eliminar un 25 por ciento de las bacterias (Fair *et al.*, 1968).

El tratamiento primario no reduce de forma eficaz la concentración de bacterias o virus contenidos en el agua residual (Clarke *et al.*, 1962).

Un efluente primario lo define Mujeriego (1990) como el efluente de una planta de tratamiento de agua residual capaz de eliminar la materia sólida contenida en el agua de modo que ésta no contenga más de 0,5 ml/l de sólidos sedimentables, de acuerdo con las análisis realizados mediante métodos analíticos autorizados. La sedimentación primaria elimina normalmente menos del 50 por ciento de los Coliformes. El agua residual que ha sido sometida a un tratamiento secundario y ha sido desinfectada hasta alcanzar una concentración de 23 Coliformes totales/100 ml, tal como se exige para el riego de jardinería, puede contener tantas bacterias como virus patógenos y, por lo tanto, debe evitarse que entre en contacto directo con las personas.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Lugar y Fecha de Establecimiento

El presente trabajo se llevó acabo en el área donde está instalado un Tanque Imhoff en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicado en Buenavista, Saltillo, Coah. entre las coordenadas geográficas L 25°21'22" N y L 101°2'5" W con una elevación de 1,767 msnm. En la Figura 1. se presenta la localización de Tanque Imhoff así como el punto de muestreo en donde se tomó la muestra de agua sin tratar (Figura 2.)



Figura 1. Localización Geográfica Tanque Imhoff en la UAAAN.



Figura 2. Muestreo del Influyente

En el mismo tanque, en la salida (efluente) se tomó la otra muestra para determinar la eficiencia del tratamiento (Figura 3).



Figura 3. Muestreo del Efluente

### 3.2. Procedimiento de Muestreo

1. Para ello se tomó 1l de agua en cada uno de los sitios, en el tanque Imhoff utilizando un recipiente de plástico.
2. Los recipientes se identificaron previamente con una etiqueta, poniendo la fecha de muestreo.
3. Se enjuagaron los recipientes dos veces con la misma agua antes de que se recolectara, llevándose al Laboratorio de Calidad de Aguas y Fertilidad de Suelos del Departamento de Riego Y Drenaje.
4. Una vez en el laboratorio se midieron el pH, la Conductividad Eléctrica (CE) Grasas y Aceite (G y A) Sólidos Sedimentables (SS) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) Sólidos Totales (ST) Sólidos Disueltos (SD) Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) Sólidos Suspendidos Totales (SST) Coliformes Fecales (CF) y Totales (CT). Calidad de Agua (Calcio, Magnesio, Carbonato, Bicarbonato, Cloruros).

Todos los parámetros anteriores se determinaron como los señala la Normatividad.

## IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Parámetros Físico-Químicos y Biológicos

Con la finalidad de cubrir los objetivos del presente trabajo se analizaron los resultados Físicos-Químicos y Biológicos obtenidos en el influente y efluente del presentándose en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de los análisis Físicos-Químicos y Biológicos de muestras correspondientes al Influyente y Efluente.

Parámetros Analizados	Influyente	Efluente	% de Remoción
pH	7.42	7.41	0.134
Conductividad Eléctrica (CE) ( $\mu S. cm^{-1}$ )	14.45	11.72	18.892
Sólidos Sedimentables (SS) (ml/lit)	0.3	0.0	100
Sólidos Totales (ST) (mg/lit)	1250	650	48
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/lit)	830	615	25.903
Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/lit)	330	95	71.21
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) (mg/lit)	245	50	79.59
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) (mg/lit)	11.45	1.3875	87.88
Grasas y Aceite (G y A) (mg/lit)	15.195	14.870	2.13
Coliformes Totales (CT) (NMP/100 ml)	11	8	27.27
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	14	8	42.85
Calidad de Aguas			
Calcio ( $Ca^{2+}$ ) (Meq/lit)	0.96	0.48	50
Magnesio (Mg) (Meq/lit)	8.26	34.93	-322.88
Carbonato ( $CO_3^{2-}$ ) (Meq/lit)	0.8	1.1	-37.5
Bicarbonato ( $HCO_3$ ) (Meq/lit)	11.7	8.4	28.20
Cloruros ( $Cl^-$ ) (Meq/lit)	4.14	6.992	-68.88

En el Cuadro No. 2 Se observa los resultados del efluente en función de las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

Cuadro 2. Comparación del efluente con las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

Parámetros Analizados	Efluente	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997
pH	7.41	No aplica	No aplica
Conductividad Eléctrica (CE) ( $\mu S. cm^{-1}$ )	11.72	No aplica	No aplica
Sólidos Sedimentables (SS) (ml/lit)	0.0	2	No aplica
Sólidos Totales (ST) (mg/lit)	650	No aplica	No aplica
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/lit)	615	No aplica	No aplica
Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/lit)	95	125	20
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) (mg/lit)	50	No aplica	No aplica
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) (mg/lit)	1.3875	150	20
Grasas y Aceite (G y A) (mg/lit)	14.870	25	15
Coliformes Totales (CT) (NMP/100 ml)	8	No aplica	No aplica
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	8	No aplica	240
Calidad de Aguas		No aplica	No aplica
Calcio ( $Ca^{2+}$ ) ( Meq/lit)	0.48		
Magnesio (Mg) ( Meq/lit)	34.93		
Carbonato ( $CO_3^{2-}$ )( Meq/lit)	1.1		
Bicarbonato ( $HCO_3$ ) ( Meq/lit)	8.4		
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) (Meq/lit)	6.992		

De los datos del Cuadro 1. anterior se puede decir que el Tanque Imhoff sí es eficiente, ya que de acuerdo a Ordoñez (2006) del 40 al 60 por ciento de sólidos suspendidos en la tabla hay una remoción de 71.21 por ciento; en cuanto a la remoción de  $DBO_5$  se logra un 87.88 por ciento no alcanzando el 90.8 por ciento que se señala Vásquez (2006) sin embargo, lo mencionado por Ordoñez (2006) que señala que el proceso es eficiente si elimina del 25 al 35 por ciento de  $DBO_5$  superándolo ampliamente.

El tratamiento primario sólo puede eliminar el 25 NMP de las bacterias, según Fair *et al* (1968) considerando el proceso como eficiente. En el Cuadro 1. la remoción de este parámetro mayor (27.27 y 42.85 NMP) en ambos tipos de bacterias (CT y CF), respectivamente.

Se realizó una comparación con la NOM-003-SEMARNAT-1997 con los parámetros del efluente, considerando sólo los siguientes parámetros: Sólidos Suspendidos Totales (SST) No pasa, ya que el límite máximo es 20 mg/lit; Demanda Bioquímica Química ( $DBO_5$ ) Grasas y Aceites (G y A) Coliformes Fecales (CF) Sí pasan la NOM, lo que la hace apta para el riego de parques y jardines con contacto directo, así como para uso agrícola.

De acuerdo a la calidad de agua del Cuadro 2. deben tomarse en consideración los factores que afectan la salinidad del agua en el suelo, particularmente carbonatos y magnesio, por lo que se debe tener cuidado con el manejo del agua.

Todos los parámetros mencionados en el Cuadro 1. son importantes, como el PH que tiene gran preponderancia en el campo. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. La Conductividad Eléctrica (CE) no afecta a la mayoría de los cultivos; Sólidos Disueltos, (SDT) Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) no aplican.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

Se puede concluir que el Tanque Imhoff sí es eficiente de acuerdo a los parámetros Sólidos Suspendidos (SST) y Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO5).

El agua del efluente cumplió con la mayor parte de parámetros que indican las normas NOM-003-SEMARNAT-1997 que marca los límites máximos permisibles para uso en parques y jardines en el que se destina a actividades públicas con exposición directa o contacto físico.

Con lo que respecta al uso del agua tratada para riego es de buena calidad, seleccionando cultivos muy tolerantes a la salinidad y considerando el método de riego.

## VI. LITERATURA CITADA

- Asano, T. (2001) agua de (residuos) agua-el recurso de agua confiable "ciencias del agua y Tecnología vol.
- Badii, M. H. j. y E. Cerna 2008. El recurso de agua y sustentabilidad (Wáter resource and sustainability) p: 667.
- Calvache, W. M., Durán C., Guaña E., Imba A., y W. Nazate. 2002. Tratamientos de agua: Tratamiento primarios y parámetros Hidráulicos, Ecuador: RECITELA.
- Castañeda, V. A. A. y Flores, L. H. E. 2013. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. Revista de Tecnología y Sociedad, ISSN: 2007-3607.
- Castillo, S. D. J. y R. D. H. Hidalgo, 2006. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales para la cabecera cantonal "Malimpa" ubicada en el cantón quinindé provincia de Esmeraldas. Tesis de licenciatura, Politécnica Nacional, Malipia, Provincia de Esmeraldas.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente 2016. Tratamientos de Aguas Residuales, Grises y Negras. Manual Técnico para la Construcción de Tanque Imhoff.
- Clarke, N. A., Berg, G., Kbler, P. W., Y S. L. Chang. 1962. Conf. int. Sobre la polución de las aguas. Londres.

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2006. Estadísticas del Agua en México. México: Sistema Nacional de Información sobre cantidad, Calidad, usos y conservación del agua (SINA).

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México. Diseño de Plantas Potabilizadoras Tipo de Tecnología Simplificada.

Comisión Nacional del Agua (CNA) 2015. Estadísticas del Agua en México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Coyoacán Ed. De México.

Consulting Engineers Salzgitter (CES) GMBH. 2001. Estudio de impacto ambiental proyecto de agua potable y alcantarillado de Ayacucho, Perú. Volumen II, Tomo I.

Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, 1ª edición, Colombia, McGraw Hill Interamericana. Bogotá-Colombia.

Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., y F. Villavicencio. 2003. El reuso del agua residual tratada en México. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Juárez-Rodríguez et al, 49. p; 332.

Fair, G. M., Geyer J. C., D. A. Okun. 1968. Ingeniería de agua y aguas residuales vol. 2. Purificación de agua y tratamiento y eliminación de aguas residuales. John New york.

- Figuroa, R. Á. I. 2007. Importancia del Agua. Perspectivas sobre Derecho Ambiental y de la sustentabilidad, Pellegrini 790, A4402FYP, Salta, Argentina. pp.141.
- Gama, L., 2001. Biodiversidad .*Revista de Divulgación Académica de ciencias Biológicas*.ISSBN-1665-0514.9-19
- García, C., Gortares M. P. y P. Drogui. 2011. Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción Revista: Química viva, 10(2), 96-105.
- Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática-INEGI-1986
- Jiménez, B. E. 2003. La contaminación de agua en México. Estado de México, México Editorial Limusa.
- Lenora, F. 1999. Ingeniería Sanitaria II Manual de Practicas. (Santo Domingo Alcántara de soto, Argentina): Editorial BÚHO
- Lezama, J. L. y Graizbord B. 2010. Los grandes problemas de México. Pedregal Santa Teresa, México:
- Lima, 2005. Guía para el diseño de tanques sépticos tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Revista Organización Panamericana de la Salud: UNATSABAR.
- Marín, B., Vivas L.J., Troncoso W, Acostó J.A., Vélez A.M. y J. Betancourt. 2004. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional y Regional. INVEMAR.

- Méndez, L., Miyashiro V., Rojas, R., Cotrado, M., y N. Carrasco. 2004. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. San Marcos, Lima, Perú 7, 74-83. P, 75.
- Montoya, G. V. 1976. Tratamientos Primarios, Universidad del Valle Cali-Colombia p; 28.
- Moreno, M. L. 2003. La Depuración de Agua de aguas Residuales Urbanas de Pequeñas Poblaciones Mediante Infiltración Directa en el Terreno. Madrid, España: IGME.
- Mujeriego, R. 1990. Riego con agua residual municipal regenerada. Universidad Polytechnic de Catalunya.
- Munn, C. B. 2004. Marine Microbiology: ecology and applications. New York: BIOS Scientific Publisher.
- NOM-001-SEMARNAT-1996 Diario Oficial de la Federación (DOF. 1996) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-003-SEMARNAT-1997 Diario Oficial de la Federación (DOF. 1997). Que establece los límites máximos permisibles del agua residual tratada reusada en servicios al Público.
- Noyola, A., Morgan S., J. M., y Güereca, L. P. 2013. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, México. p: 8,28.

- Noyola, R., Vega, G., Ramos H., y M. Calderón 2000. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Tercera edición. Manuales IMTA. México.
- Ordoñez, G. 2006. Tanques de sedimentación primaria para el Tratamiento de aguas residuales, Monografía Previs, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Pereira, B. L. 1997. Reutilización de aguas residuales para fines urbanos recreativos y limpieza viaria), con vistas con vistas a justificar propuesta de normativa. Tesis Doctoral, Politécnica de Madrid, Madrid.
- Perera, M. R. 2011. El agua, Alimento vital para sus células. Estados Unidos: Editorial Palibrio.
- Pérez, P.J. 1990. Depuración y reutilización de aguas residuales para riego. Experimental cajamar, Las Palmerillas.
- Quipuzco, E. 2002. Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr.*
- Ramalho, R. S., Beltrán, D. J., y F. de Lora.1990. Tratamiento de aguas residuales. Reverte.
- Rigola, L. M. 1989. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales (Vol. 27). Ilustrada, Marcombo.
- Romero, A. M., Colín, C. A., Sánchez, S. E., H. L. Ortiz. 2009. Tratamiento de aguas residuales por unos sistemas piloto de humedales artificiales: Evaluación de remoción de la carga orgánica. *Revista Int. Contaminación ambiental* 25 (3) 157-167,2009.pg.158.

- Rosabal, C.Y., Chang, H.L., A. N Pérez. 2014. Demanda Química de Oxígeno. Empresa Nacional y Servicios Técnicos (ENAST). Tesis de licenciatura, Amado Esteves, México.
- Sánchez, M. 2014. En México se trata menos de la mitad de las aguas residuales: BDI; EL 16 por ciento de las plantas inoperantes.
- Schmidt, S. Y Hatch K., G. 2012. "El agua en México", Foreign Affairs Latinoamérica, Vol.12: Núm. (4), P; 268, 279,283. Disponible en [.ww.fal.itam.mx](http://www.fal.itam.mx).
- Secretaría de Planeación y Desarrollo-SPD-2001. El tratamiento de aguas residuales.
- Secretaría del Medio Ambiente-SEMA-2013. El agua en Saltillo Colonial. Bordeando el Monte. México.
- Seguí, A. L. A. 2004. Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis técnico-económico y casos. Universidad Politécnica de Catalunya. pp:15,39
- Shelef, G. 1996. Wastewater reclamation and water resources management. Wastewater Reclamation and Reuse, pp24.
- Tixier, C., Singer H., Ollers, S., S. Muller. 2003. Occurrence and Fate of Carbamazepine, Clofibric Acid, Diclofenac, Ibuprofen, Ketoprofen, and Naproxen in Surface Waters. Environ. Sci. Technol. 37: 1061-1068.
- Toledo, A. 2002. El agua en México y el Mundo. Secretaría de Planeación y Desarrollo (SPD). Conservación y Uso Sustentable del Agua. Saltillo, Coah. México; Gaceta Ecológica, Rev. Int. Contam. Ambient vol.25 N°.3 (64), 9-18 .p; 9 ,10

Trujillo, C. D. H. G. 2013. Apuntes de la Materia: Procesos Biológicos. Tuxtla Gutiérrez Chiapas. P.54, 56.

Vázquez, G. M. B. 2011. Evaluación de un tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales en Centro de Tabasco. Revista Unacar Tecnociencia, México. p; 41-42.

Villegas, O. F. 2008. Tanque Imhoff, Universidad popular de Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco.

#### Páginas Citadas de Internet

[https://www.upct.es/~minaeees/analisis\\_aguas.pdf](https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf)