

Katherine Eliana Robles Lara

Director: Alfonso Molina

Universidad Internacional SEK

TRABAJO DE FIN DE CARRERA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN BIOTECNOLOGIA

**“CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO A ESCALA DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO BIOLÓGICO EMPLEANDO MICROORGANISMOS PARA LA
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE UNA INDUSTRIA
FARMACÉUTICA EN LA CIUDAD DE QUITO”**

RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCIÓN

Los efectos inmediatos ocasionados por las aguas residuales no tratadas son la contaminación del medio ambiente y el patrimonio acuífero, provocando no únicamente la pérdida de ecosistemas que son benéficos para el hombre, sino también afectando la salud y bienestar del mismo. La costumbre de desechar las aguas residuales industriales y domésticas y mezclarlas con las aguas corrientes de los ríos, así como las condiciones generales de insalubridad han sido las principales causas de la diseminación y fácil contagio de enfermedades por medio del agua a beber (Sans & de Pablo, 1999).

Históricamente, las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el medio ambiente era el encargado de absorberlas y darles

un tratamiento natural, pero el progreso cultural e industrial acabó llevando esta práctica a situaciones extremas (Rigola, 1989).

La acelerada llegada de los procesos de industrialización trajo consigo una gran variedad de contaminantes, como resultado de estas prácticas se producen aguas residuales de diverso tipo, es decir, cada vez se requiere de tratamientos de aguas residuales más complejos o especializados (Ramalho, Jiménez, & De Lora, 2003).

Uno de los principales problemas de la industria farmacéutica actual es la carencia de soluciones tecnológicas eficientes y económicamente viables para el tratamiento de los residuos líquidos generados por las mismas. Existe una gran variedad de medicamentos lo que conlleva la generación de aguas residuales no caracterizadas ni evaluadas anteriormente en otros procesos industriales; la disposición de dichas aguas produce graves impactos en los recursos hídricos y en muchos casos incumple con la legislación ambiental vigente (Ramos, et al. 2005).

Los límites respecto a los tipos y cantidades de determinados contaminantes orgánicos e inorgánicos garantizan que el agua contendrá tan solo cantidades pequeñas y seguras de las especies químicas potencialmente objetables (Guaytarilla & Mangia, 2012).

De esta manera, el tratamiento de aguas residuales es una de las operaciones indispensables en toda industria, pero los elevados costos de implementación y la falta de disponibilidad de ciertas tecnologías, hacen necesaria la búsqueda de un tratamiento de aguas residuales que implique la reducción de dichos costos y una alta eficiencia. Esto permitiría tanto el cumplimiento de la normativa ambiental como la posibilidad de recuperar recursos que representen una disminución en los gastos operativos.

Por los motivos anteriormente mencionados, lo que se desea implementar en la depuración de aguas residuales industriales procedentes de una planta farmacéutica es

un tratamiento biológico que permita la reutilización de agua en actividades donde no se requiere de agua potable, como riego de jardines.

MARCO TEÓRICO

- **Aguas Residuales Industriales**

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice agua (Muñoz, 2008). Su caudal y composición son altamente heterogéneos ya que difieren dependiendo del proceso de la industria. Este tipo de aguas residuales poseen contaminantes recalcitrantes que requieren de diferentes y complejas tecnologías para su eliminación (Muñoz, 2008). En cuanto al caudal, las industrias no emiten vertidos de manera continua, los mismos pueden generarse durante determinadas horas del día o incluso épocas del año, ya que esto depende de los procesos operativos manejados, del volumen de producción requerido y de otros parámetros operativos (Muñoz, 2008).

- **Aguas Residuales farmacéuticas**

El progreso de la sociedad trae consigo el incremento de las actividades industriales y, por lo tanto, la liberación al ambiente de una gran cantidad de sustancias químicas contaminantes que se integran al ciclo del agua a través de diferentes vías. El vertido de estas sustancias altera el equilibrio natural de los ecosistemas (Zuccato et al. 2005). Dentro de las diferentes industrias generadoras de residuos líquidos, la industria farmacéutica no es la excepción, ya que esta genera miles de compuestos farmacológicamente activos, los cuales son empleados mundialmente para combatir o prevenir enfermedades. Diariamente se sintetizan nuevos productos para reemplazar a otros ya obsoletos (Zuccato et al. 2005).

A continuación se mencionan otras características que contribuyen con la dificultad de eliminación de estos xenobióticos (Cortacans et al. 2006):

- Los fármacos están constituidos por moléculas grandes y químicamente complejas, de diferente peso molecular, estructura y funcionalidad.
- Son moléculas polares y tienen más de un grupo ionizable.
- Están diseñados para interaccionar con receptores específicos del hombre y animales, o para resultar tóxicos para microorganismos como bacterias, hongos, etc.

Por todas estas características, la presencia de fármacos en el medio ambiente puede traer graves consecuencias a corto y largo plazo, entre estas se tiene:

- Una vez liberados en el medio ambiente pueden afectar a los animales con similares órganos, tejidos, etc. (Fent et al. 2006).
- Los compuestos farmacológicos pueden bioacumularse en los diferentes compartimentos ambientales además de concentrarse en los tejidos de los animales que han sido expuestos a los mismos (Quesada, 2009).
- Los antibióticos pueden propiciar resistencia bacteriana y afectar el crecimiento, movilidad y reproducción de diferentes organismos (Quesada, 2009).
- Se han reportado alteraciones en el comportamiento y la fisiología de algunos insectos y el crecimiento e inhibición de plantas acuáticas y algas (Quesada, 2009).

1.1.1.1.Plantas de tratamiento

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, realizan la función de remover en el mayor grado posible los contaminantes presentes. La remoción no significa la desaparición o extinción de la sustancia indeseable, significa la conversión del contaminante a sustancias inocuas o menos objetables (Rocha, 2008).

De una forma simple y muy general, se pueden describir los siguientes procesos en una planta de tratamiento de aguas residuales (Universidad Autónoma de Chihuahua, 2009):

- Un sistema para retención y remoción de los sólidos y partículas de gran tamaño (basura) que salen del drenaje junto con las aguas residuales.
- Un arenero y preaerador como tratamiento previo a la sedimentación primaria.
- Un sedimentador que separe del fluido principal, las partículas sólidas que se asientan fácilmente (sólidos sedimentables).
- Un sistema biológico y otra serie de procesos auxiliares, necesarios para lograr la calidad de agua deseada antes de que el efluente sea integrado al medio ambiente.
- **Tratamiento biológico de aguas residuales**

El tratamiento biológico de aguas residuales consiste en la remoción de los contaminantes mediante la actividad biológica. El metabolismo microbiano se aprovecha para remover principalmente sustancias biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y la generación de biomasa (Romero, 2004). Los principales objetivos de las plantas de tratamiento biológico son tres:

- Reducir el contenido en materia orgánica de las aguas.
- Reducir el contenido de nutrientes.
- Eliminar los patógenos y parásitos.
- **Biofiltración, estructura y funcionamiento de un biofiltro**

La biofiltración es una tecnología no convencional, empleada en el tratamiento de gases, olores y aguas residuales; cuyo principio consiste en hacer pasar la corriente

de aire y/o agua contaminada a través de una columna constituida por materia orgánica, sobre la cual se desarrolla una comunidad microbiana que utiliza los contaminantes como fuente de alimento (Garzón, 2004). La biofiltración sobre cama orgánica combina los principios de un filtro percolador y un biofiltro tradicional para olores. La cama orgánica actúa como un filtro natural de alta porosidad y presenta propiedades de adsorción y absorción, este medio filtrante a su vez permite el desarrollo de poblaciones microbianas encargadas de degradar los contaminantes retenidos en el filtro, confiriéndole a este sistema propiedades depuradoras (Garzón, 2004).

Estructura de un biofiltro: La estructura de un biofiltro de lecho orgánico se compone de un material de empaque (natural o sintético) y un medio filtrante o lecho biológico que actúa como soporte y fuente de nutrientes para la formación de la lama microbiana (Arana, 2010).

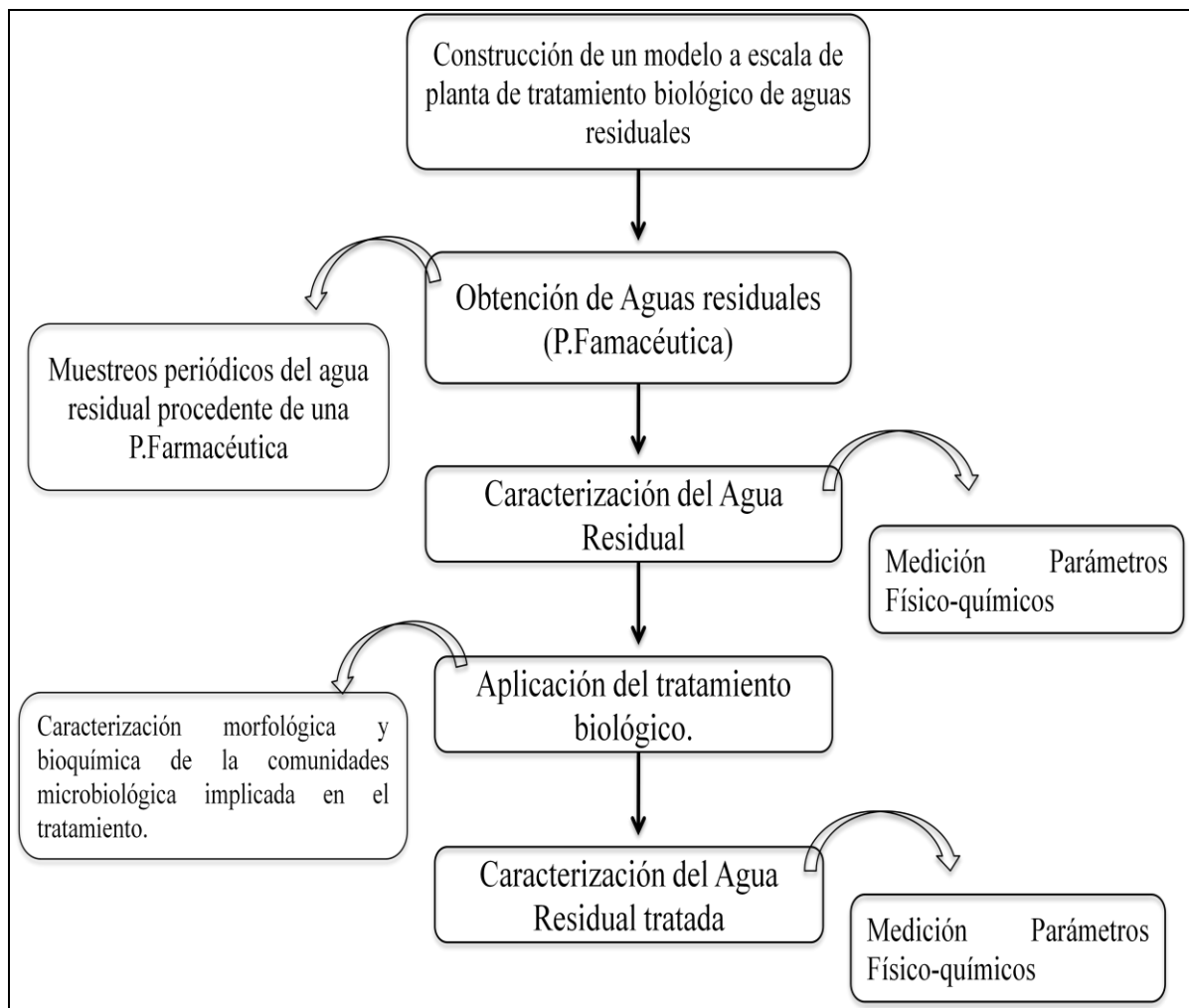
La selección del material de relleno constituido por estos dos componentes está directamente relacionado con el adecuado funcionamiento y eficiencia del sistema de biofiltración, la elección de un material sobre otro se determinará por las condiciones que favorezcan al desarrollo de la biopelícula, sin embargo también deben considerarse aspectos económicos.

MÉTODO

- **Hipotético-Deductivo.**

Mediante la experimentación con un tratamiento biológico se procederá a la evaluación de la eficiencia del mismo, caracterizando físico-químicamente las aguas residuales procedentes de una industria farmacéutica y empleando los resultados obtenidos para el establecimiento de la materia orgánica removida, la tasa de remoción superficial y la tasa de remoción volumétrica.

Figura 1. Diagrama general de la metodología a emplearse.



RESULTADOS

- **Resultados de los parámetros físico-químicos iniciales de influente a tratar**

Una vez finalizado el muestreo se homogenizaron las muestras simples con el fin de obtener una muestra compuesta final, la misma que fue analizada fisicoquímicamente para establecer los valores iniciales de estos parámetros y compararlos con los valores generados una vez que la muestra haya sido tratada mediante biofiltración. A continuación, en la Tabla 1 se presentan los resultados de los parámetros físico-químicos iniciales:

Tabla 1. Resultados de los parámetros físico-químicos iniciales (Influente)

Parámetros	Unidades	Muestra	Límites máximos permisibles (resolución N° 0002-DMA-2008)	Cumplimiento
pH	-/-	7,1	5 a 9	Cumple
Sólidos en suspensión	mg/L	42,0	53	Cumple
Sólidos sedimentables	mL/L	0,5	1,0	Cumple
Fósforo total	mg/L	1,30	10	Cumple
Nitrógeno total	mg/L	38,2	40	Cumple
Arsénico	mg/L	0,0012	0,1	Cumple
Temperatura	°C	21,0	<35	Cumple
Color	U de color	91,0	Inapreciable en dilución 1/20	Cumple
Aceites y Grasas	mg/L	1,2	30	Cumple
DBO ₅	mg/L	333,0	70	No cumple
DQO	mg/L	576,8	123	No cumple

- **Construcción de una planta de tratamiento biológico a escala de laboratorio**

Los resultados del índice de biodegradabilidad indican que las aguas residuales de esta industria pueden ser depuradas mediante tratamiento biológico. Por consiguiente se procedió a la construcción de la planta de biofiltración a escala de laboratorio que se muestra en las Figuras 4 y 5.

Figura 4. Componentes de la Planta de Tratamiento Biológico. A) Tanque de Homogenización: en este tanque se mezclan las muestras simples y obtiene la muestra compuesta a tratar; B) Estructura del biofiltro: constituido por cuatro tanques de plástico, presenta una altura de 1,50 m de altura; C) Tanque de almacenamiento: este tanque receipta el efluente tratado; D) Biofiltro empacado: se utilizó como medio filtrante turba mezclada con trozos de madera y roca volcánica como soporte.

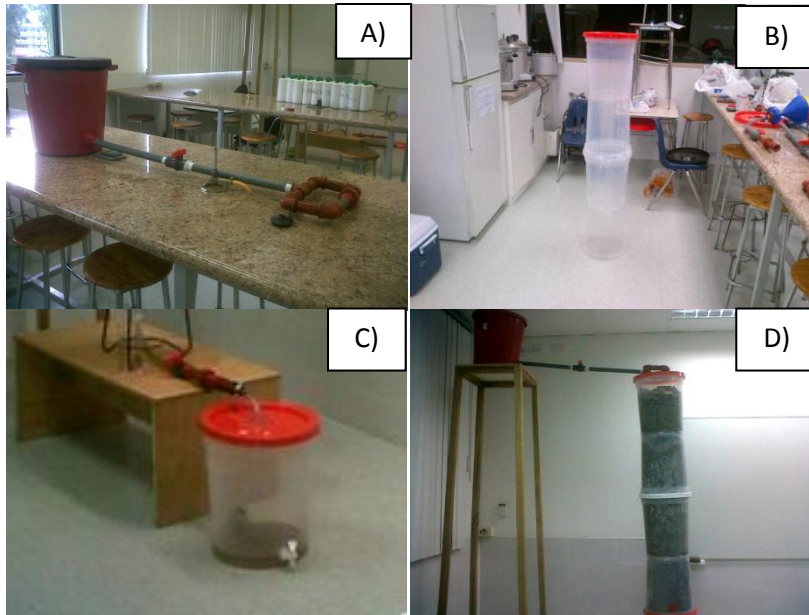


Figura 5. Planta de Tratamiento Biológico a escala de laboratorio. El influente circuló por la planta de tratamiento biológico por gravedad (utilizando la diferencia de altura), todo el sistema se encontraba interconectado por tubería PVC y válvulas de bola para regular el caudal. Se colocó una malla metálica en la parte inferior del biofiltro para evitar el arrastre de partículas gruesas y se suministró oxígeno mediante dos entradas localizadas en la parte lateral.



En la Figura 5 se muestra la estructura final de la planta de tratamiento biológico a escala de laboratorio. En el tanque de homogenización se encuentra el aspersor fijo a través del cual pasa el agua residual hacia el biofiltro para su depuración y finalmente las muestras tratadas son receptadas en el tanque de almacenamiento.

- **Pruebas bioquímicas (prueba de la catalasa) y morfológicas (tinción Gram y observación al microscopio)**

Tabla 2. Resultados de las pruebas bioquímicas (prueba de la catalasa) y morfológicas (tinción Gram y observación al microscopio) de la biopelícula establecida en el biofiltro.

Nº de Muestra	Tinción Gram (%)	Prueba de la Catalasa	Descripción Morfológica
1	+ (45) / - (55)	positivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bacilos • Cocos (estafilococos y diplococos)
2	+ (30) / - (70)	positivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bacilos • Cocos (estafilococos)

3	+ (40) / - (60)	negativo	<ul style="list-style-type: none"> • Bacilos • Cocos
4	+ (20) / - (80)	positivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bacilos • Cocos
5	+ (10) / - (90)	positivo	<ul style="list-style-type: none"> • Bacilos • Cocos • Bacterias helicoidales

- **Resultados de los análisis físico-químicos finales del efluente tratado por biofiltración**

Tabla 3. Comparación de los parámetros físico-químicos iniciales y finales de las aguas residuales procedentes de una planta farmacéutica.

Parámetros	Unidades	Muestra Inicial	Muestra Final	Descripción
pH	-/-	7,1	8,7	Incremento (22,5%)
Sólidos en suspensión	mg/L	42,0	14,0	Reducción (66,7%)
Sólidos sedimentables	mL/L	0,5	<0,5	Reducción
Fósforo total	mg/L	1,30	98	Incremento (98,7%)
Nitrógeno total	mg/L	38,2	4,2	Reducción (89%)
Arsénico	mg/L	0,0012	0,0012	Se mantuvo
Temperatura	°C	21	21	Se mantuvo
Color	U de color	91,0	2050	Incremento
Aceites y Grasas	mg/L	1,2	10	Incremento (88%)
DBO₅	mg/L	333,0	131,5	Reducción (60,5%)
DQO	mg/L	576,8	402,6	Reducción (30,2%)

- **Evaluación de la eficiencia del tratamiento biológico aplicado (Biofiltración)**

Tabla 4. Resultados de la evaluación de la eficiencia del Tratamiento biológico aplicado (Biofiltración).

Materia Orgánica Removida (M) (mg)	D.Q.O	3484
	S.S.T	560
Tasa de Remoción Superficial (TRS) (mg/cm ² minuto)	D.Q.O	$6,2 \times 10^{-3}$
	S.S.T	$9,9 \times 10^{-4}$
Tasa de Remoción Volumétrica (TRV) (mg/ml. minuto)	D.Q.O	$1,2 \times 10^{-3}$
	S.S.T	$1,9 \times 10^{-4}$
Eficiencia de Remoción (%)	D.Q.O	30,2
	S.S.T	66,7

CONCLUSIONES

- Se construyó una planta de tratamiento biológico a escala de laboratorio, constituida por un tanque de homogenización, un biofiltro y un tanque de almacenamiento, para la depuración de aguas residuales procedentes de una industria farmacéutica.
- El diseño constó de tres etapas: homogenización, biofiltración y almacenamiento. La muestra se homogenizó en el primer tanque, luego pasó al biofiltro, mediante un sistema de aspersion estático. El biofiltro contó con dos entradas de oxígeno situadas en la parte inferior del mismo, como medio filtrante se utilizó turba y trozos de madera, y como empaque se empleó roca volcánica. Finalmente, el líquido se drenó hacia el tanque de almacenamiento utilizando válvulas de paso. Todo el sistema se interconectó mediante tubería PVC y se controló el paso de la muestra de una etapa a otra mediante válvulas de bola.
- Dentro de los parámetros de diseño se estimó un índice de biodegradabilidad de 0,6, correspondiente a material muy biodegradable, un volumen total de $0,1 \text{ m}^3$, un área total $1,9 \text{ m}^2$, tiempo de retención hidráulica de 29,6 min y una carga hidráulica de $0,17 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$.

- Se caracterizó mediante un análisis físico-químico las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico, se obtuvieron mayores porcentajes de remoción en los parámetros: sólidos en suspensión, nitrógeno total y D.B.O₅. Los parámetros que aumentaron su valor fueron: pH, fosforo total y aceites y grasas. Sin embargo, todos los valores reportados se encontraron dentro de los límites permisibles.
- Con base en los resultados obtenidos, la biofiltración sobre cama de orgánica demostró ser eficiente en la remoción de materia orgánica y altas cargas de nitrógeno. La eficiencia de remoción de materia orgánica fue del 30,2 % para D.Q.O y 66,7% para sólidos en suspensión. También se estimó la tasa de remoción superficial y la tasa de remoción volumétrica.
- La caracterización morfológica y bioquímica develó la presencia de bacterias Gram positivas y Gram negativas, aerobicas y anaeróbicas facultativas con actividad catalasa.
- A pesar de que existió la eliminación del principio activo naproxeno sódico, esto no implica la total eliminación de fármacos en el agua residual tratada.
- La biofiltración es un tratamiento biológico eficiente y económicamente viable para la depuración de aguas residuales contaminadas con fármacos, presentando numerosas ventajas frente a las tecnologías convencionales comúnmente empleadas. Puede emplearse de manera individual o a su vez utilizarse conjuntamente con otros métodos de tratamiento para alcanzar mejores resultados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas moleculares para establecer la estructura y composición de la comunidad microbiana que forma la biopelícula establecida en el biofiltro.
- Se debería trabajar con diferentes tiempos de biodigestión para establecer el valor óptimo de funcionamiento del biofiltro.
- Es recomendable implementar un sistema automático de recirculación del efluente para mejorar el rendimiento del sistema de biofiltración.
- Los parámetros físico-químicos deberían ser monitoreados permanentemente para optimizar las variables de operación.

BIBLIOGRAFÍA

- Biofiltro edificio de tamices de la E.D.A.R. de Arazuri: Estudio y propuesta de mejoras 2010 *Universidad Pública de Navarra* 139
- Guaytarilla, E., & Mangia, C. (2012). *DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA PURIFICADOR DE AGUA DE POZO PARA INYECTABLES CON CAPACIDAD DE PRODUCCION DE 2500 LITROS/HORA, MEDIANTE EL PROCESO DE ÓSMOSIS REVERSA*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- *Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales* 2008 México Universidad Autónoma de Chihuahua
- La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial 2004 *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 1-8
- Métodos no convencionales para el tratamiento de aguas contaminadas con productos farmacéuticos 2009 *Instituto Nacional Politécnico de Toulouse-Escuela Nacional Superior de Ingenieros en Artes Químicas y Tecnológicas* 177
- Ramalho, R., Jiménez, D., & De Lora, F. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverté, S.A.
- Rigola, M. (1989). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Alfaomega Grupo editor .
- Sans, R., & de Pablo, J. (1999). *Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos* . Barcelona: MARCOMBO S.A.
- *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño* 2004 Colombia Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería
- Universidad Autónoma de Chihuahua *OoCities.org*.