



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"

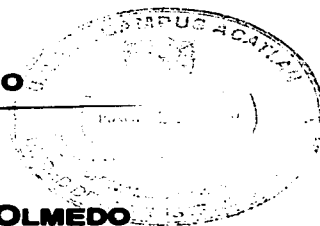
### DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE SUSTRATO EN BIOFILTROS DE BIOMASA SUSPENDIDA Y DE LECHO FIJO

#### TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

**ABEL GUILLERMO LEÓN PARDO**



ASESOR: **M. EN C. RAÚL PINEDA OLMEDO**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas  
UNAM a difundir en formato electrónico el  
contenido de mi trabajo de tesis.

NOMBRE: LEÓN PARDO  
ABEL GUILLERMO  
FECHA: 20 MARZO - 2003  
FIRMA: [Signature]

Fecha: Enero, 2003

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**TESIS  
CON  
FALLA DE  
ORIGEN**

**PAGINACION**

**DISCONTINUA**

**Se deben tomar medidas para evitar su despilfarro y su mejor aprovechamiento y como primer medida ha de ser no contaminar el agua.**

**Se requiere que se ejerza la autoridad a nivel nacional y dejar a un lado el paternalismo exacerbado que existe pero también un cambio cultural en todos los ciudadanos para pagar el costo real y cuidar el agua.**

**Concluimos con la siguiente Frase "Las guerras del futuro no se pelearán por el petróleo sino por el agua".**

**Anónimo**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **POSGRADO**

**Dr. Guillermo González  
Ing. Anselmo Llanos  
Ing. Fidencio Burgos  
Dr. José María Chávez**

### **LICENCIATURA**

**M en C. Raúl Pineda  
Ing. Manuel Gómez  
Ing. María Eugenia Espinosa**

### **CINVESTAV**

**Dr. Rebeca Maning  
Lic. Alberto Guzmán**

**Por las facilidades y apoyos recibidos para llevar acabo esta tesis.**

### **A MIS COMPAÑEROS**

#### **POSGRADO**

**Consuelo, Patricia, Elia.**

#### **LICENCIATURA**

**Rodrigo, Sofía, Héctor, Nayeli, Miguel, José, Jesús, Rogelio.**

**Por su apoyo incondicional.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**A MI FAMILIA**

**A mis Padres**

**Abel León  
Amelia Pardo  
Guillermina León**

**A mis Tíos**

**María Pérez  
Carlos León  
Guadalupe López  
Juan León  
Miguel León  
Jesús León**

**Primos**

**Norma León  
Verónica León  
Elizabeth León  
Juan Carlos León  
Carlos León  
Raymundo León**

**Por brindarme todo lo que estaba a su alcance y darme la oportunidad de seguir adelante.**

**A MIS AMIGOS Y A MI NOVIA**

**A MI NOVIA**

**Elizabeth Miranda**

**A MIS AMIGOS**

**Gerardo Zúñiga  
Ivan Quintanar  
Mauricio Castillo  
Greisa Rojas  
Lorena González  
Karina González  
Vladimir Ramírez  
Gabriel Martínez**

**Por compartir con ellos parte de mi vida.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	I
CAPITULO I TRATAMIENTO DE AGUAS.....	1
1.1 SEGÚN LA NATURALEZA DEL TRATAMIENTO.....	2
1.1.1.1 Tratamientos físicos.....	2
1.1.1.2 Tratamientos Químicos.....	3
1.1.1.3 Tratamientos térmicos.....	4
1.1.1.4 Tratamientos biológicos.....	5
1.1.2 Según el tamaño del contaminante eliminado.....	5
1.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	5
1.3 BIOFILTROS.....	7
1.4 BIOMASA SUSPENDIDA.....	7
1.5 BIOFILTRO DE LECHO FIJO.....	8
1.5.1 Clasificación y características del proceso.....	8
1.6 CONSIDERACIONES BIOLÓGICAS.....	9
1.6.1 Metabolismo bacteriano.....	9
1.6.2 Crecimiento Bacteriano.....	10
1.6.2.1 Crecimiento en términos de números de bacterias.....	10
1.6.2.2 Crecimiento en términos de números de bacterias.....	11
1.6.2.3 Crecimiento en cultivos mixtos.....	11
1.6.3 Crecimiento celular.....	13
1.6.4 Crecimiento con sustrato limitado.....	13
1.6.5 Crecimiento celular y utilización de sustrato.....	14
1.6.6 Efectos del Metabolismo Endógeno.....	15
1.6.7 Efectos de la Temperatura.....	16
1.6.8 Balance de masa de microorganismos sin recirculación.....	16
1.7 Microbiología en Biopelícula Adherida.....	17
1.8 CONDICIONES DEL MEDIO.....	18
1.8.1 Potencial de Hidrogeno (pH).....	18
1.8.2 Temperatura.....	18

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



<b>CAPITULO II Materiales y Métodos</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES DE LECHO</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 Estudios Preliminares.....	20
<b>2.2 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE SUSTRATO</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3 PROPAGACIÓN DEL INÓCULO</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 Materiales y Equipo.....	23
2.3.2 Preparación del Reactor.....	23
2.3.3 Preparación del Inóculo Propagado.....	24
2.3.4 Preparación del Inóculo.....	25
2.3.5 Reactor con Lecho de Anillos Rashing.....	25
2.3.6 Reactor de Biomasa Suspendida.....	26
2.3.7 Reactor con Lecho de Fibra Sintética (Esponja de hule Espuma).....	26
2.3.8 Reactor con Lecho de Piedra Pómez.....	27
2.3.9 Reactor con Lecho de Tezontle.....	27
2.3.10 Reactor con Lecho de Fibra Natural (Zacate).....	28
<b>2.4 MÉTODO PARA CONOCER LA CANTIDAD DE SUSTRATO EN LOS REACTORES</b> .....	<b>28</b>
<b>CAPITULO III RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
3.1 PROPIEDADES FÍSICAS.....	30
3.2 CURVA DE SUSTRATO.....	30
3.3 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE ANILLOS RASHING.....	32
3.4 BIOFILTRO DE BIOMASA SUSPENDIDA.....	34
3.5 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE FIBRA SINTÉTICA (ESPONJA).....	37
3.6 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE PIEDRA PÓMEZ.....	39
3.7 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE TEZONTLE.....	41
<b>DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA</b> .....	<b>46</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>53</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>55</b>

## INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones en la historia de la humanidad ha sido el procurarse agua lo más pura y limpia posible. El planeta contiene aproximadamente cien billones de  $m^3$  y de ésta no más del 1.0% es disponible, el resto es agua salada, glaciares y agua no apta para consumo. Existen insuficiencias tecnológicas, y algunas técnicas disponibles (como las que permiten desalar agua de mar) no resultan económicamente viables. El inmoderado aumento de la población humana, hace que el consumo aumente.

Las aguas contaminadas han tenido efectos tan graves en el ambiente, que los gobiernos e instituciones internacionales han estudiado el problema y han creado tecnología para enfrentarlo. Los drenajes municipales e industriales llevan sustancias diversas, disueltas en concentraciones tan altas, que al ser descargadas en cuerpos de agua, no se logra reducir su efecto. Además, de que la calidad, de dichos cuerpos de agua, cada vez es menor, la descarga de aguas residuales domésticas o industriales a un determinado cuerpo receptor, genera efectos sobre: la vida acuática, la población circundante, la calidad de las aguas y su uso aguas abajo; perdiéndose así, un recurso vital para el desarrollo humano.

Para afrontar la crisis internacional por el acceso al agua, la comunidad internacional requiere invertir aproximadamente 180 mil millones de dólares en los próximos 10 años; sin embargo, en la actualidad la inversión no rebasa los 8 mil millones, advirtió Manuel Álvarez Cuenca, investigador de la Universidad Politécnica de Ryerson, en Canadá. México es una de las naciones que enfrenta una de las crisis más severas del planeta, pues prácticamente el 93 por ciento de sus ríos y cuerpos de agua están contaminados, situación que hace urgente el diseño de programas de tratamiento de sus aguas residuales.

Una forma de tratar ésta agua es por filtros biológicos, la cual es una alternativa para controlar la contaminación de las aguas, los filtros biológicos pueden ser: biomasa suspendida (lodos activados, lagunas), lecho fijo (filtros percoladores) y filtros híbridos (utilizan las bases de los biofiltros de biomasa suspendida y de lecho fijo). Los filtros de biomasa suspendida, contienen microorganismos que forman partículas flotantes en un tanque agitado, al que se le suministra continuamente agua y oxígeno. El filtro de lecho fijo consiste en lechos de piedras o de algún otro material poroso, sobre los cuales crece una película de microorganismos que se adhiere al lecho.

El objetivo de la presente investigación es determinar la remoción de sustrato en biofiltros de masa suspendida y lecho fijo, y si estos métodos son efectivos para remover la materia orgánica que se encuentra en el agua. Se propone un modelo físico de reactor biológico que se basa en el crecimiento microbiano para la metabolización y oxidación de compuestos no deseables disueltos en el agua, empleando diferentes lechos de filtración. Debido a la aireación suministrada se asume que los reactores son de mezcla completa sin recirculación, y que la cantidad de sustrato y aireación es suficiente para que los microorganismos presentes tengan el carbono y oxígeno suficientes, para llevar a cabo los procesos metabólicos por vía aerobia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se trabajó con diferentes lechos y como testigo se utilizó el reactor de biomasa suspendida. En el reactor de biomasa suspendida el volumen de operación es mayor que algunos de lecho fijo, debido al volumen que ocupa el soporte. Como el agua penetra en todos los rincones del lecho, es importante cuantificar la cantidad de vacíos del material de lecho, así como, conocer la composición del material empleado, ya que estos son un factor importante para que se realicen los procesos metabólicos de diferente manera.

Los microorganismos empleados en este trabajo fueron obtenidos del suelo, debido a que el suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Las bacterias sobresalen en forma especial como consecuencia de la densidad de poblaciones en el suelo, además, son el grupo más abundante, por lo general, más numerosos que los otros cuatro juntos (Tabla 1.).

Tabla 1. Distribución de Microorganismos en varios horizontes del perfil del suelo.<sup>1</sup>

3-8	7800	1950	2080	119	25
20-25	1800	379	245	50	5
35-40	472	98	49	14	0.5
65-75	10	1	5	6	0.1
135-145	1	.04	-	3	-

Las bacterias del suelo pueden dividirse en dos grandes grupos: las especies nativas autóctonas que son residentes, y los organismos invasores o alóctonos. Para desarrollarse, la bacteria debe elaborar su propia materia, es decir, realizar la síntesis de sustancias orgánicas, para ello, es necesario que disponga de elementos básicos y de una fuente de energía que le permita efectuar la síntesis. Todas las bacterias necesitan elementos constitutivos: agua, carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en gran cantidad; azufre, fósforo, sodio, potasio, cloro, en menor proporción. Algunos otros elementos en concentraciones mucho más reducidas (magnesio, hierro, cobre, cobalto, etc.) Ciertas bacterias pueden asegurar su desarrollo a partir de agua y sales minerales que contienen estos elementos.

Numerosos estudios se han diseñado, para identificar a las bacterias que producen colonias en el medio estándar de laboratorio, aunque es claro que muchos microorganismos nativos pasan desapercibidos con el uso de estos métodos, debido, a las condiciones especiales necesarias para mostrar su abundancia.

De las células de diferentes tipos de suelo capaces de formar colonias en placas de agar, del 5 al 60% son *Asthobacter*, del 7 al 67% *Bacillus*, 3 a 15% *Pseudomonas*, hasta el 20% son *Agrobacterium*, del 2 al 12 % son *Alcaligenes* y del 2 al 10% son *Flavobacterium*. Generalmente menos del 5% de las colonias se derivan de células de *Corynebacterium*, *Staphylococcus*, *Xanthomonas*, *Mycobacterium* y *Sarcina*. En base a tales proporciones, se puede hacer fácilmente una lista de los géneros dominantes aplicable a los suelos en general.

<sup>1</sup> Martin Alexander, "Introducción a la Microbiología del Suelo", AGT Editorial S.A., México 1980.

Bajo estas circunstancias, en este trabajo se emplearon el azúcar como alimento y aire como fuente para efectuar la síntesis de la fuente de carbono. La gran diversidad de bacterias del suelo fue el criterio para decidir emplear el suelo como la fuente de microorganismos en los reactores biológicos. Al ser la glucosa un sustrato fácil de asimilar; la selección de los microorganismos se debió a su capacidad de asimilación a dicho sustrato.

La motivación del presente trabajo fue la búsqueda de un método de tratamiento de aguas por medio biológico específicamente con un sustrato identificado fácilmente asimilable para reconocer cuál es más eficiente para la remoción de ese sustrato.

# **CAPITULO I**

## **Tratamiento de Aguas**

1

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# CAPITULO 1 TRATAMIENTO DE AGUAS

## Introducción

Por definición, las aguas residuales llevan elementos contaminantes, por tanto, el tratamiento de aguas residuales consiste en retirar de alguna forma los contaminantes. Los objetivos que se pretenden en la depuración de las aguas son los siguientes:

- Reducir al máximo la contaminación y sus efectos.
- Asegurar la protección del medio ambiente y de los seres vivos que en él viven.
- Prever el desarrollo urbano e industrial.

Para poder conseguir estos objetivos, el hombre ha desarrollado distintas tecnologías, que, de forma individual o combinada, consiguen retirar total o parcialmente los contaminantes.

## 1. CLASIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Las tecnologías existentes para la depuración del agua residual son muy diversas y se pueden clasificar en:

- Según la naturaleza del tratamiento.
- Según el tamaño del contaminante eliminado

### 1.1 SEGÚN LA NATURALEZA DEL TRATAMIENTO.

#### 1.1.1.1 Tratamientos físicos

Basándose en las características y propiedades físicas de los contaminantes, se consigue su eliminación total o parcial. Los tratamientos físicos típicos son:

**SEDIMENTACIÓN:** se basa en la separación de los contaminantes sólidos, cuya densidad es mayor que la del líquido, por acción de la gravedad.

**FLOTACIÓN:** se basa en la separación por diferencia de densidad de los contaminantes sólidos, cuya densidad es menor que la del líquido. Esta flotación puede ser natural o provocada, como ocurre en el caso de introducción de aire a presión.

**FILTRACIÓN:** Se fundamenta en la retención de sólidos provocada por la interposición de un medio poroso. Los sólidos quedan retenidos en la superficie o en el interior del medio poroso. Como medios porosos se utilizan materiales como arenas, carbón activado, vidrio, o membranas sintéticas. La filtración puede realizarse a presión o sin ella.

**ADSORCIÓN:** Por medio de la fijación (física o química) sobre un sólido el contaminante se retira de una solución. Como medios de adsorción se emplean, entre otros, carbón activado y zeolitas.

**DESORCIÓN** .Se provoca una desorción cuando una masa líquida se pone en contacto con una corriente de aire al cual se transfiere el contaminante. Este proceso es típico para la eliminación de amoniaco en aguas industriales con altas concentraciones del mismo.

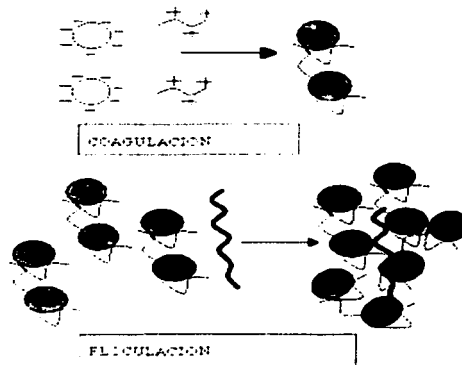
**Tabla 2. Tratamientos Físicos.**

Tratamiento	Características	Limitaciones
Sedimentación	Uso amplio	Formación de lodos Superficie amplia
Flotación	Uso amplio	Formación de lodos Activados
Filtración	Elimina algunos contaminantes disueltos y partículas	Requiere lavado Consumo energético
Adsorción	Elimina contaminantes disueltos	Regeneración de absorbente
Desorción	Elimina contaminantes disueltos	Atascamientos Gasto energético

### 1.1.1.2 Tratamientos Químicos.

Se basan en modificar las propiedades químicas de los contaminantes de modo que resulten destruidos o que se conviertan en otros productos fácilmente separables o no tóxicos. Los tratamientos típicos son:

**COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN.** Los sólidos pequeños, mediante el uso de reactivos químicos, se agregan en sólidos mayores que son sedimentables (Figura1) Normalmente son tratamientos que van seguidos de algún medio de separación física. Mediante este tratamiento se eliminan partículas de tamaño coloidal, con velocidades de sedimentación muy bajas.



**Figura 1. Coagulación y floculación**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los coloides son partículas de pequeño tamaño cargadas eléctricamente. Una de sus propiedades es su gran estabilidad, que impide que se agreguen, pudiéndose mantener en suspensión de forma indefinida en el líquido que lo contiene. Esta estabilidad es debida a que las fuerzas que tienden a agregar las partículas (energía cinética debido a su movimiento y fuerzas de Van der Waals) son menores que la repulsión electrostática debida a su carga superficial (Tabla 3)

*Tabla 3. Partículas y tiempo de sedimentación.*

Grava	10	1 segundo
Arena fina	0.1	2 minutos
Arcillas	0.01	2 horas
Bacterias	0.001	8 días
Partículas coloidales	0.0001-0.00001	2-20 años

La coagulación es el proceso de desestabilización química por adición de reactivos coagulantes, que hace que las partículas se desestabilicen. La floculación es el proceso de adhesión entre las partículas ya desestabilizadas, favorecido por la adición de un polímero floculante.

**PRECIPITACIÓN QUÍMICA.** Este tratamiento consigue, mediante la adición de reactivos, que contaminantes solubles se transformen en formas insolubles o de menor solubilidad.

**OXIDACIÓN-REDUCCIÓN QUÍMICA.** Consiste en hacer reaccionar los contaminantes con reactivos que provocan la pérdida de electrones (oxidación) o la ganancia de electrones (reducción) de los contaminantes.

**REDUCCIÓN ELECTROLÍTICA.** Este tratamiento incluye reacciones de oxidación - reducción sobre la superficie de electrodos (generalmente del cátodo) Es un procedimiento de recuperación.

**INTERCAMBIO IÓNICO.** Consiste en poner en contacto un líquido con un sólido que presente facilidad para intercambiar iones. Normalmente estos sólidos son resinas de intercambio iónico.

### 1.1.1.3 Tratamientos térmicos

Este tipo de tratamientos utilizan altas temperaturas para descomponer los contaminantes. Presentan como inconvenientes los altos gastos energéticos y la formación de contaminantes residuales. Los tratamientos típicos son:

**OXIDACIÓN HÚMEDA.** En este proceso se pone en contacto la fase líquida con aire a temperaturas de 150-325° C y presiones de 2000-20000 kPa,

**OXIDACIÓN SUPERCRÍTICA.** En este proceso se explotan las propiedades del agua a temperaturas y presión críticas: 374° C y 25.3 MPa. En estas condiciones las sustancias orgánicas son completamente miscibles y las sales insolubles.



**INCINERACIÓN.** Es un proceso de destrucción térmica en presencia de oxígeno. Opera en el rango de temperaturas entre 1000-1700° C.

#### **1.1.1.4 Tratamientos biológicos.**

En este tipo de tratamientos se emplean mecanismos biológicos o bioquímicos para llevar a cabo un cambio químico en las propiedades del contaminante. Estos tratamientos se basan en la utilización como alimento de compuestos orgánicos por parte de los microorganismos. Dependiendo del medio en el que se desarrollen los microorganismos se distinguen en dos tipos de tratamientos biológicos:

- **Tratamientos aerobios:** los microorganismos se desarrollan en presencia de aire.
- **Tratamientos anaerobios:** los microorganismos se desarrollan en condiciones de ausencia de aire.

Dentro de los distintos tipos de tratamientos biológicos se han desarrollado diversas tecnologías que aprovechan algún aspecto característico de estos tratamientos.

#### **1.1.2 Según el tamaño del contaminante eliminado.**

Si definimos los niveles de depuración en función del tamaño de la partícula eliminada nos encontramos con los siguientes niveles:

- **Pre tratamiento.** Elimina las partículas que arrastra el agua residual. Normalmente está constituido por sistemas de eliminación física.
- **Tratamiento primario:** elimina las partículas en suspensión. Consta de procedimientos físicos, a veces combinados con químicos.
- **Tratamiento secundario:** Consigue la eliminación de partículas coloidales y subcoloidales. Está constituido por operaciones químicas y/o biológicas.
- **Tratamiento terciario:** consigue la eliminación de partículas disueltas.

### **1.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

El objetivo principal del tratamiento biológico de aguas residuales consiste en estabilizar la materia orgánica, coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan. Lo cual depende de las circunstancias locales como la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), así como, de trazas de compuestos orgánicos. Un tratamiento orgánico comprende:

- **Conversión de la materia orgánica carbonácea disuelta y en estado coloidal en diferentes tejidos celulares.**
- **Formación de conglomerados biológicos compuestos de materia celular y de los coloides orgánicos presentes.**
- **Remoción de los conglomerados por medio de sedimentación.**

Si el tejido celular producido no se retira por precipitación, éste ejerce una DBO en el agua residual y el tratamiento se considera incompleto. Las aplicaciones del tratamiento biológico son:

- Remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Remoción de demanda química de oxígeno (DQO)
- Remoción de carbono orgánico total (COT)
- Nitrificación
- Desnitrificación
- Remoción de fósforo
- Estabilización de desechos

Los Principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales son los que se presentan en la siguiente tabla.

Crecimiento en suspensión	Procesos de lodos activados.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Lagunas aireadas.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Digestión aerobia.	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea.
Película bacterial adherida	Filtros percoladores.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Sistemas biológicos de contacto rotatorios.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
	Reactor de película adherida.	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación.
Híbrido (proceso de crecimiento en suspensión y de película adherida)	Filtros percoladores / todo activado. Humedales artificiales.	Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación) Remoción de la DBO carbonácea, (nitrificación)
Crecimiento en suspensión	Denitrificación por crecimiento en suspensión.	Denitrificación.
Película bacterial adherida	Denitrificación por película fija.	Denitrificación.
Crecimiento en suspensión	Procesos de contacto anaerobio	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación
	Digestión anaerobia	Estabilización, remoción de la DBO carbonácea
Película bacterial adherida	Lecho anaerobio fijo	Remoción de la DBO carbonácea, estabilización de desechos, (denitrificación)
Híbrido	Proceso anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente	Remoción de la DBO carbonácea, altas concentraciones.
	Reactor de manto de lodos/ reactor del lecho fijo	Remoción de la DBO carbonácea,

Crecimiento en suspensión	en	Procesos simples o de múltiples etapas, diferentes procesos propios	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo
Crecimiento combinado en suspensión y película bacteriana adherida		Procesos simples o de múltiples etapas	Remoción de la DBO carbonácea, nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo
<b>Lagunas aerobias</b>		<b>Lagunas aerobias</b>	<b>Remoción de la DBO carbonácea</b>
Lagunas de maduración (terciarias)		Lagunas de maduración (terciarias)	Remoción de la DBO carbonácea (nitrificación)
Lagunas facultativas		Lagunas facultativas	Remoción de la DBO carbonácea
Lagunas anaerobias		Lagunas anaerobias	Remoción de la DBO carbonácea (estabilización de desechos)

\* Los usos principales aparecen primero, los demás se muestran en paréntesis.<sup>2</sup>

### 1.3 BIOFILTROS

Un biofiltro es un sistema de descontaminación por medio de microorganismos que se encuentran en suspensión, inmovilizados en un lecho o en ambas situaciones. Los biofiltros conocidos son: biomasa suspendida y lecho fijo, éstos, son métodos efectivos para remover la materia orgánica que se encuentra en el agua, son eficientes y de bajo costo comparados con otros métodos de tratamiento de aguas (físicos o químicos).

### 1.4 BIOMASA SUSPENDIDA

El tratamiento biológico de biomasa suspendida consiste en conseguir mantener una biomasa de microorganismos en suspensión, en una tanque aireado, donde se alimenta en continuo el agua residual. Los microorganismos se alimentan de la materia orgánica presente en el agua residual y posteriormente forman parte del lodo activado. La mezcla de salida del tanque de aireación, pasa a un decantador, donde se produce la separación de la biomasa del agua, ya depurada por gravedad. El lodo decantado recircula al reactor.

El crecimiento de los microorganismos del lodo, a expensas de la materia orgánica presente en el agua residual, provoca un aumento de la concentración de microorganismos en el tanque de aireación, por lo que se requiere una purga de lodos para mantener constante su concentración. La operación del proceso permite la eliminación de materia orgánica biodegradable, nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos.

<sup>2</sup> Crites y Tchobanoglous, "Tratamiento de Aguas Residuales", Mc Graw Hill, 2000.

## 1.5 BIOFILTRO DE LECHO FIJO

Los biofiltros de lecho fijo, consisten en lechos de algún material poroso, sobre los cuales crece una película de microorganismos que se adhiere al soporte. Al filtro se le añade en forma continua o intermitente el agua que se trata por medio de un mecanismo distribuidor. El contaminante en solución escurre entre los intersticios y es consumido por la película de microorganismos. Este sistema ofrece poca resistencia a la transferencia de masa y no necesita airearse. El tiempo de retención varía de acuerdo con el diseño del filtro, pero su rango es de 2 a 8 h; los filtros tienen generalmente una profundidad de 1.5 a 2 m y su superficie fluctúa entre 50 y 200 m<sup>2</sup>. El efluente que se obtiene contiene poca materia orgánica en solución, pero tiene una alta concentración de sólidos suspendidos por que la película de organismos es desplazada y desprendida cuando alcanza determinado tamaño, lo que obliga a tener un tanque de sedimentación para obtener la calidad de agua deseada.

### 1.5.1 Clasificación y características del proceso

Los procesos aerobios de crecimiento con biopelícula adherida en uso pueden clasificarse en:

1. Procesos de crecimiento con biopelícula adherida no sumergida
  - a) Filtros percoladores de carga baja, convencional y alta, oxidación y nitrificación.
  - b) Filtros percoladores con medio plástico, oxidación y nitrificación.
  - c) Filtros percoladores de carga alta de desbaste, oxidación parcial.
2. Procesos híbridos de crecimiento en biopelícula adherida y crecimiento en suspensión.
  - a) Sistemas biológicos de contacto rotatorios, oxidación y nitrificación.
  - b) Biofiltro activado, oxidación y nitrificación.
  - c) Filtro percolador, proceso de lodos activados, oxidación y nitrificación.
3. Procesos de crecimiento adherido sumergido
  - a) Crecimiento en biopelícula adherida de flujo ascendente, oxidación, nitrificación y desnitrificación.

Los procesos de crecimiento en biopelícula adherida no sumergidos son los más adecuados para el tratamiento de desechos orgánicos solubles y relativamente disueltos. Los procesos híbridos se pueden utilizar para tratar desechos que contengan constituyentes en partículas y solubles. Los procesos sumergidos de crecimiento en biopelícula se usan para tratar aguas residuales domésticas incluyendo la oxidación del material carbonoso, nitrificación y desnitrificación.

## 1.6 CONSIDERACIONES BIOLÓGICAS

### 1.6.1 Metabolismo bacteriano

El metabolismo bacteriano que permite a los microorganismos crecer y obtener energía es complejo; existen muchas vías y ciclos, los cuales abarcan todas las reacciones químicas que tiene lugar dentro de la célula. Las dos reacciones principales que conforman el proceso metabólico se conocen como reacciones catabólicas y reacciones anabólicas. Las reacciones catabólicas producen la descomposición de moléculas orgánicas complejas en sustancias simples, junto con la liberación de energía. Las reacciones anabólicas permiten la formación de más moléculas complejas, generalmente requieren energía. La energía para las reacciones anabólicas se obtiene de las reacciones catabólicas (Figura 2)

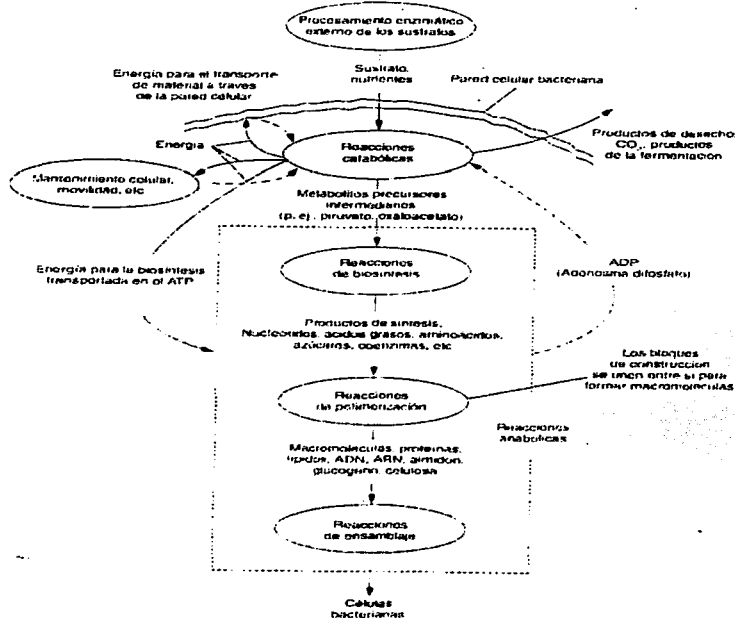


Figura 2. Representación esquemática del metabolismo bacteriano.

## 1.6.2 Crecimiento Bacteriano

Las bacterias se reproducen por fisión binaria o bipartición, de manera asexual o por gemación. En general lo hacen por fisión binaria: la célula original se convierte en dos organismos nuevos. El tiempo requerido para cada división, conocido como tiempo de germinación, puede variar desde menos de 20 minutos hasta varios días. Si el tiempo de generación es de 30 minutos, una bacteria puede generar 16, 777,216 bacterias luego de un periodo de 12 horas. Este valor es hipotético dado que las bacterias no continúan dividiéndose indefinidamente debido a limitaciones ambientales, disponibilidad de sustrato, concentración de nutrientes, o tamaño del sistema.

### 1.6.2.1 Crecimiento en términos de números de bacterias

El patrón general de crecimiento de las bacterias en un cultivo discontinuo se muestra en la Figura 3. Inicialmente se inocula un número pequeño de organismos en un volumen fijo de medio de cultivo, y la cuenta viable de organismos se registra como una función del tiempo. El patrón de crecimiento, basado en el número de células, tiene cuatro fases:

- ✓ Fase de latencia. Se inicia al agregar un inóculo a un medio de cultivo, y representa el tiempo que requieren los organismos para aclimatarse a su nuevo ambiente y empezar a dividirse.
- ✓ Fase de crecimiento exponencial. Durante este periodo las células se dividen a cierta tasa determinada por su tiempo generacional y su habilidad para procesar alimento (tasa constante de crecimiento porcentual)
- ✓ Fase estacionaria. La población permanece estacionaria. Las causas que explican este fenómeno son: las células agotaron el sustrato o los nutrientes necesarios para su crecimiento el crecimiento de las células nuevas se compensa con el número de células muertas.
- ✓ Fase de muerte exponencial. Durante esta fase, la tasa de mortalidad excede la producción de células nuevas. La tasa de mortalidad es función de la población viable y de las características ambientales. En algunos casos, la fase de muerte exponencial es la inversa de la fase de crecimiento exponencial.

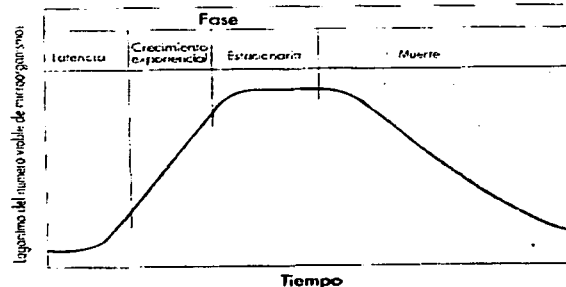


Figura 3. Curva característica del crecimiento bacteriano en términos de cuenta viable de organismos.

### 1.6.2.2 Crecimiento en términos de números de bacterias

El patrón general de crecimiento de las bacterias en un cultivo discontinuo se muestra en la Figura 4, el cual muestra las siguientes fases.

- ✓ Fase de lactancia. Las bacterias requieren de tiempo para aclimatare a su ambiente nutricional. En términos de masa bacteriana no es tan larga como su fase correspondiente en términos de números de microorganismos por que la masa empieza a incrementarse después de que tiene lugar la división celular.
- ✓ Fase de crecimiento exponencial. Siempre existe un exceso en la cantidad de alimento que rodea a los microorganismos, y la velocidad del metabolismo y el crecimiento es sólo una función de la habilidad del microorganismo para procesar el sustrato.
- ✓ Fase de declinación del crecimiento. La velocidad de incremento de la masa bacteriana disminuye debido a la limitación en el suministro de alimento.
- ✓ Fase endógena. Los microorganismos son forzados a metabolizar su protoplasma, sin que haya reemplazo, debido a que la concentración de alimento disponible se encuentra en el mínimo. Durante esta fase puede ocurrir el fenómeno conocido como lisis; en el cual los nutrientes que quedan en las células muertas se difunden hacia el exterior para suministrar alimento a las células vivas restantes (conocido como crecimiento crítico)

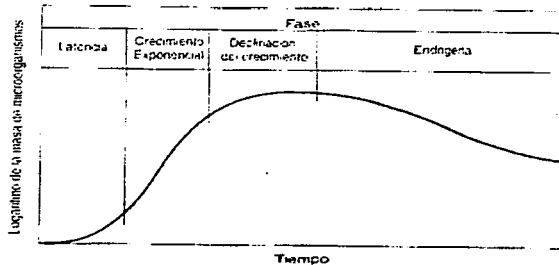
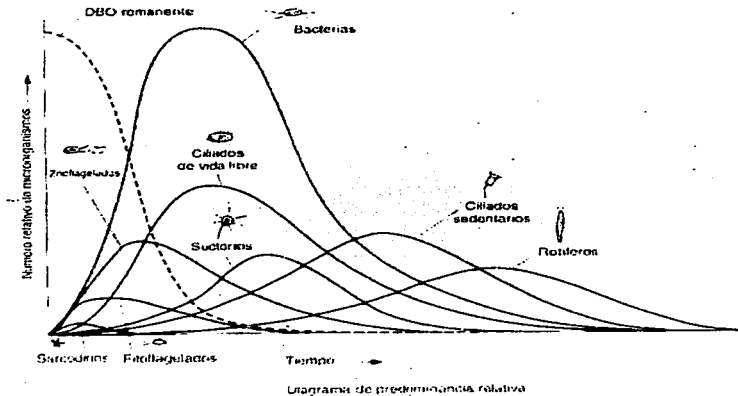


Figura 4. Curva característica del crecimiento bacteriano en términos del registro de la masa de los organismos.

### 1.6.2.3 Crecimiento en cultivos mixtos

El análisis anterior solo considera una población sencilla de microorganismos. Sin embargo, la mayoría de los procesos de tratamiento biológico se componen de poblaciones mixtas, complejas e interrelacionadas, en donde cada microorganismo del sistema tiene su propia curva de crecimiento (Figura 5)

La posición y la forma de la curva de crecimiento en el sistema, sobre una escala de tiempo, depende de la disponibilidad de alimento, nutrientes y de factores ambientales, como la temperatura y el pH, así como, si el sistema es aerobio o anaerobio. Aunque las bacterias son de importancia fundamental, muchos otros microorganismos participan en la estabilización de los desechos orgánicos.



**Figura 5.** Crecimiento relativo de microorganismos durante la estabilización de desechos orgánicos en un ambiente líquido. Se observa en la gráfica como se va reduciendo la DBO en determinado tiempo y como en el cultivo se presenta una sucesión de población a través del tiempo.

Las condiciones ambientales pueden controlarse regulando el pH, la temperatura y los elementos trazas que se agregan, así como, al añadir o excluir oxígeno. El control de las condiciones ambientales asegura que los microorganismos tengan un medio adecuado para crecer. Así, la homogeneización del caudal, puede utilizarse para homogeneizar la tasa de flujo y la carga orgánica.

Para asegurar que la biomasa aumente, se debe permitir que permanezca en el sistema el tiempo suficiente para que se reproduzca. El tiempo requerido depende de su tasa de crecimiento, la cual, se relaciona directamente con la velocidad a la cual metabolizan o utilizan los desechos. Suponiendo que las condiciones ambientales se controlan adecuadamente, se puede asegurar la estabilización efectiva de los desechos al controlar la tasa de crecimiento de los microorganismos.



### 1.6.3 Crecimiento celular

Tanto el reactor de cultivo discontinuo como el de cultivo continuo, en los cuales el contenido del reactor se mezcla completamente, la tasa de crecimiento de las células bacterianas se puede definir con la siguiente relación:

$$r_g = \mu X$$

donde:  $r_g$  = tasa de crecimiento bacteriano, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>]

$\mu$  = tasa específica de crecimiento, [tiempo<sup>-1</sup>]

$X$  = concentración de microorganismos, [masa volumen<sup>-1</sup>]

Dado que  $dX/dt = r_g$  para cultivo discontinuo la siguiente relación es válida:  
 $dX/dt = \mu X$

### 1.6.4 Crecimiento con sustrato limitado

Si en un cultivo discontinuo, uno de los requerimientos esenciales (sustrato y nutrientes) para el crecimiento estuviera presente sólo en cantidades limitadas, al agotarse el crecimiento cesaría. En un cultivo continuo, se ha encontrado que el efecto limitante de un sustrato o un nutriente se pueden definir adecuadamente usando la expresión propuesta por Monod:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S}$$

donde:  $\mu$  = tasa específica de crecimiento, [tiempo<sup>-1</sup>]

$\mu_m$  = tasa específica máxima de crecimiento, tiempo<sup>-1</sup>

$S$  = concentración en la solución del sustrato limitante del crecimiento, [masa volumen<sup>-1</sup>]

$K$  = constante de velocidad media, concentración del sustrato en la mitad de la velocidad máxima de crecimiento, [masa volumen<sup>-1</sup>]

El efecto de la concentración de sustrato sobre la tasa específica de crecimiento se muestra en la Figura 6.

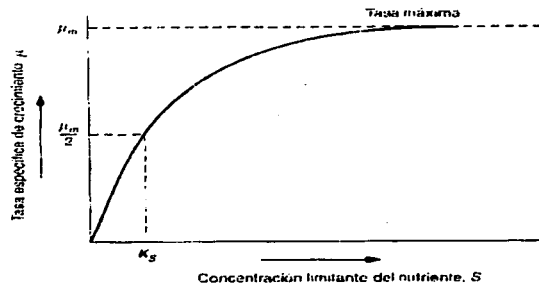


Figura 6. Tasa específica de crecimiento

La expresión para la tasa de crecimiento es:

$$r_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S}$$

### 1.6.5 Crecimiento celular y utilización de sustrato

Tanto en los sistemas de cultivo continuos como discontinuos, una porción del sustrato se convierte en células nuevas y una porción se oxida en productos finales orgánicos e inorgánicos. Debido a que se ha observado que la cantidad de células nuevas producidas se puede reproducir para determinado sustrato, se desarrolló la relación entre la tasa de utilización del sustrato y la tasa de crecimiento.

Dicha relación se describe en la siguiente fórmula:

$$r_g = -Y r_{su}$$

donde:  $r_g$  = tasa de crecimiento bacterias, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>]  
 $Y$  = coeficiente de producción bacterias máxima, (mg<sub>masa</sub> mg<sup>-1</sup><sub>masa</sub>) (relación de la masa de células formadas en comparación con la masa consumida de sustrato, medida durante cualquier periodo finito del crecimiento logarítmico).  
 $r_{su}$  = tasa de utilización del sustrato, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>]

Sobre la base de estudios de laboratorio, se concluyó que la producción depende del estado de oxidación de la fuente de carbono y de los elementos nutrientes, del grado de polimerización del sustrato, de las vías del metabolismo, de la tasa de crecimiento y de varios parámetros físicos de cultivo. La tasa de utilización del sustrato se define como:

$$r_{su} = \frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)}$$

donde:  $\mu_m$  = tasa específica máxima de crecimiento, tiempo<sup>-1</sup>.  
 $X$  = concentración de microorganismos, masa/unidad de volumen.  
 $S$  = concentración en la solución del sustrato limitante de crecimiento, masa/unidad de volumen.  
 $K_s$  = constante de velocidad media, concentración del sustrato en la mitad de la velocidad máxima de crecimiento, masa/unidad de volumen

El término  $\mu_m/Y$  se reemplaza con frecuencia por el término  $k$ , definido como la tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos:

$$k = \frac{\mu_m}{Y}$$

Sustituyendo, la expresión resultante es:

$$r_{su} = -\frac{k X S}{K_s + S}$$

### 1.6.6 Efectos del Metabolismo Endógeno

La distribución de las edades de las células en los sistemas bacterianos que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales es tal que no todas las células del sistema se encuentran en la fase exponencial. Por consiguiente, la expresión para la tasa de crecimiento debe corregirse de manera que represente la energía requerida para el mantenimiento celular. También deben considerarse la muerte y la depredación. En general, estos factores se agrupan, al suponer que la disminución de la masa celular causada por ellos es proporcional a la concentración de los organismos presentes. Con frecuencia esta disminución se identifica en la literatura como decaimiento endógeno. La respiración endógena se puede representar en forma de ecuación:



A pesar de que la reacción de respiración endógena mostrada genera productos finales relativamente simples y energía, también se forman productos orgánicos finales estables.

De acuerdo con la Formula 1 descrita con anterioridad, se forman productos orgánicos finales estables, además, si todas las células se oxidaran por completo, la DQO (también la DBOU) de las células sería igual a 1.42 veces la concentración de las células. El término decaimiento endógeno se puede formular de la siguiente manera:

$$r_d (\text{decaimiento endógeno}) = -K_d X \quad (10)$$

donde:  $K_d$  = coeficiente de decaimiento endógeno, [tiempo<sup>-1</sup>]  
 $X$  = concentración de células, [masa volumen<sup>-1</sup>]

la expresión para la tasa de crecimiento neto:

$$r'_g = \frac{\mu X S}{K_s + S} - K_d X = -Y r_{su} - k_d X$$

donde:  $r'_g$  = tasa neta de crecimiento bacterial, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>].

La expresión correspondiente para la tasa neta específica de crecimiento está dada por la expresión propuesta por Van Uden (1967):

$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - K_d$$

donde:  $\mu'$  = tasa neta específica de crecimiento, [tiempo<sup>-1</sup>].

Los efectos de la respiración endógena en la producción bacteriana neta se explican definiendo una producción observada (Ribbons, 1970, Van Uden, 1967):

$$Y_{obs} = \frac{r'_g}{r_{su}}$$

### 1.6.7 Efectos de la Temperatura

La dependencia de la velocidad de reacción de la temperatura es muy importante para evaluar la eficiencia general de un proceso de tratamiento biológico. La temperatura influye tanto en la actividad metabólica de la población bacteriana como en la tasa de transferencia de gas y las características de asentamiento de los lodos biológicos. El efecto de la temperatura en la tasa de reacción de un proceso biológico se expresa de la siguiente forma:

$$r_T = r_{20} \theta^{(T-20)}$$

Los valores de  $\theta$  para los procesos biológicos varían desde cerca de 1.02 a 1.09, siendo característico 1.04. Al revisar las expresiones cinéticas utilizadas para describir el crecimiento de los microorganismos y la remoción del sustrato, es muy importante recordar que son empíricas.

### 1.6.8 Balance de masa de microorganismos sin recirculación

El balance de masa para los microorganismos en un reactor de mezcla completa sin recirculación se puede escribir de la siguiente manera:

#### 1. Planteamiento general:

Tasa de acumulación de microorganismos dentro de los límites del sistema	=	tasa de flujo de microorganismos hacia el interior del sistema	-	tasa de flujo de microorganismos fuera del límite del sistema	+	crecimiento neto de micro- organismos del sistema
---	---	---	---	--	---	--

#### 2. Planteamiento simplificado

Acumulación = entrada - salida + crecimiento neto

#### 3. Representación simbólica

$$\frac{dX}{dt} V_r = QX_o - QX + V_r(r'_x) \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:  $dX/dt$  = tasa de cambio en la concentración de microorganismos en el reactor, medida en términos de biomasa, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>].

$V_r$  = volumen del reactor

$Q$  = gasto

$X_o$  = concentración de microorganismos en el influente, [masa volumen<sup>-1</sup>].

$X$  = concentración de microorganismos en el reactor, [masa volumen<sup>-1</sup>].

$r'_x$  = tasa neta de crecimiento de microorganismos, [masa volumen<sup>-1</sup> tiempo<sup>-1</sup>].

En la Ecuación 2 se supone que la fracción volátil de los sólidos suspendidos totales se puede usar como una aproximación de la masa biológica activa. A pesar de que se han usado otras mediciones, como nitrógeno, proteína, ADN y contenido de ATP, la prueba para sólidos suspendidos se utiliza principalmente por su simplicidad.

Si el valor de  $r'_g$  se sustituye en la Ecuación 2, el resultado es:

$$\frac{dX}{dt} = QX_0 - QX + V_r \left( \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \right)$$

donde:  $S$  = concentración del sustrato en el efluente del reactor, si se supone que la concentración de los microorganismos en el efluente puede ser despreciado y que prevalecen las condiciones de un estado estacionario ( $dX/dt = 0$ ).

La ecuación puede simplificarse y obtener:

$$\frac{Q}{V_r} = \frac{1}{\theta} = \mu' = \frac{\mu_m S}{K_s + S} - k_d$$

donde:  $\theta$  = tiempo de retención hidráulica. El termino  $1/\theta$  también corresponde a  $1/\theta_c$  donde  $\theta_c$ , conocido como tiempo promedio de retención celular, se define como la masa de organismos en el reactor dividida por la masa de los organismos removidos del sistema cada día.

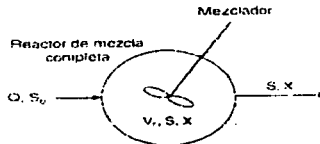


Figura 6. Reactor de mezcla completa

En efecto  $\theta_c$  corresponde al tiempo promedio que los microorganismos permanecen en el sistema. Para el reactor mostrado en la figura 6,  $\theta_c$  se expresa de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{V_r X}{QX} = \frac{V_r}{Q}$$

### 1.7 Microbiología en Biopelícula Adherida

En un filtro con biopelícula adherida la conversión biológica de la materia orgánica se consigue por la acción de comunidades de microorganismos, como bacterias aerobias, anaerobias y facultativas; hongos; algas y protozoarios. Cuando la carga orgánica, la hidráulica, la composición del agua residual, del influente, el pH, la temperatura, la disponibilidad de aire y otros factores ambientales cambian, ocurren variaciones en las poblaciones de la comunidad biológica del filtro.

Las algas pueden crecer únicamente en las partes superiores del filtro, donde la luz solar está disponible, las algas no toman parte de la degradación de los desechos, pero durante las horas de luz solar añaden oxígeno al agua. Desde el punto de vista operativo, las algas constituyen un problema, ya que pueden obstruir la superficie del filtro y producir malos olores. Los protozoarios en el filtro tienen como función controlar la población de bacterias. Los animales superiores se alimentan de la biopelícula del filtro, y ayudan a mantener la población de bacterias en un estado de rápido crecimiento o rápido consumo de alimento. Los caracoles son un problema en los filtros nitrificantes, pues consumen las bacterias nitrificantes.

## 1.8 CONDICIONES DEL MEDIO

### 1.8.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

En primer lugar el pH, la concentración de iones de hidronio o, más simple su acidez, debe ser compatible con la vida de las bacterias. Para la mayoría de las bacterias, el pH óptimo para el crecimiento se encuentra entre 6.5 y 7.5. Sin embargo, algunas especies pueden crecer en condiciones muy ácidas o muy alcalinas (ver tabla 4).

Tabla 4. Rangos de pH para diferentes microorganismos<sup>3</sup>

BACTERIAS	RANGOS DE pH PARA EL CRECIMIENTO		
	mínimo	inferior óptimo	superior
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	0.5	2.0-3.5	6.0
<i>Acetobacter aceti</i>	4.0-4.5	5.4-6.3	7.0-8.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.2	7.0-7.5	9.3
<i>Azotobacter spp.</i>	5.5	7.0-7.5	8.5
<i>Chlorobium limicola</i>	6.0	6.8	7.0
<i>Thermus aquaticus</i>	6.0	7.5-7.8	9.5

### 1.8.2 Temperatura

La temperatura a la que deben ser colocados los medios sembrados es también un elemento fundamental, tomando en cuenta la temperatura óptima de crecimiento, las bacterias se clasifican en:

- ✓ Bacterias psicrófilas con una temperatura óptima 5°C y una capacidad de crecimiento a una temperatura inferior a 20°C.
- ✓ Bacterias mesófilas con una temperatura óptima cercana a 25 y 30°C y una capacidad de crecimiento a temperatura entre 15 y 45°C.
- ✓ Bacterias termofilas con una temperatura óptima cercana a 45 y 65°C y una capacidad de crecimiento a una temperatura superior a 40°C, son incapaces de crecer por debajo de los 40°C.

Las bacterias psicrófilas no son comunes en el suelo, ya que inclusive a temperaturas bajas las mesófilas son resistentes al frío, más que las psicrófilas.

<sup>3</sup> Michael j. Pelczar, Jr. E.C.S. Chan, "Elementos de Microbiología".

# **CAPITULO II**

## **Materiales y Métodos**

## CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Introducción

El conocer los materiales y métodos, tiene como finalidad el tener conocimiento de todas estas herramientas y como fueron utilizadas. Se hacen estudios preliminares para tener conocimiento de la relación de vacíos de los materiales que se utilizaron como lecho fijo. A continuación, se presenta la preparación de los reactores (modelo físico), la forma en que se preparó el medio para obtener los microorganismos: primero se hace una propagación de inóculo, en el cual activa los microorganismos del suelo en el medio. Posteriormente, de la propagación tomamos una parte de su concentración para preparar el inóculo que ocuparemos en los reactores. Dándole continuidad al crecimiento y homogeneidad a los microorganismos que ocuparemos como descontaminante en los reactores.

### 2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES DE LECHO

#### 2.1.1 Estudios Preliminares

Se llevaron a cabo estudios respecto a las propiedades físicas de los materiales de lecho para conocer su relación de vacíos, densidad, porosidad, grado de saturación del material y contenido de agua.

#### Materiales y Equipo

- Agua
- Anillos Rashing
- Tezontle
- Piedra Pómez
- Fibra sintética (esponja)
- Fibra natural (zacate)
- Horno eléctrico
- 1 Probeta de 1000 ml.
- 1 Probeta de 100 ml.
- 1 Probeta de 25 ml.
- 12 vidrios de reloj
- 1 balanza electrónica
- Frascos de vidrio con capacidad de 3885 ml.

#### Desarrollo

1. Se colocan los materiales de lecho dentro del frasco de vidrio, se deja sobresaturar con agua durante 48 horas.
2. Se toma el peso del vidrio de reloj.
3. Se toma una muestra del material saturado, se coloca en un vidrio de reloj y se toma el peso de la muestra con el vidrio de reloj. (Figura 2.1.)
4. La muestra es secada dentro de un horno eléctrico a una temperatura de 60°C durante 24 horas. (Figura 2.2.)



5. Se toma el peso del material seco con el vidrio de reloj.

6. Con los datos obtenidos anteriormente se comienza a determinar los siguientes valores:

6.1. Contenido de Agua del material ( $W_w$ )

Peso del material húmedo con el vidrio de reloj – Peso del material seco con el vidrio de reloj

6.2. Volumen del material ( $V_m$ )

Una vez seco el material se ve el desplazamiento de agua dentro de la probeta para determinar el volumen del material

6.3. Volumen de vacíos ( $V_v$ )

Es el volumen de agua que absorbió el material

6.4. Peso del material seco ( $W_s$ )

Peso del material seco con vidrio de reloj – Vidrio de reloj

6.5. Densidad ( $\gamma_m$ )

Relación de peso del material entre su volumen

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

6.6. Relación de Vacíos ( $e$ )

Se denomina relación de vacíos, oquedad o índice de poros a la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos de un suelo:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

6.7. Porosidad ( $n\%$ )

Se llama porosidad de un suelo a la relación entre su volumen de vacíos entre el volumen de su masa. Se expresa como porcentaje:

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

### 6.8. Grado de saturación ( $G_w\%$ )

Se llama grado de saturación del suelo a la relación entre su volumen de agua y el volumen de sus vacíos. Se expresa en porcentaje:

$$G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

### 6.9. Contenido de Agua ( $w\%$ )

Se le conoce como contenido de agua o humedad a la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Se expresa en porcentaje:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

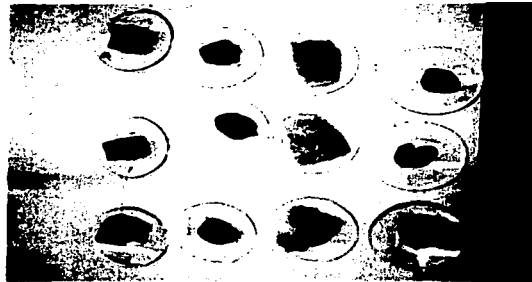


Figura 2.1. Muestras colocadas en vidrio de reloj.



Figura 2.2. Muestras secadas en horno eléctrico.

## 2.2 OBTENCIÓN DE LA CURVA DE SUSTRATO

La curva de sustrato presente en el medio se realizó en un vaso de precipitados de capacidad de un litro, se le agregó un litro de agua y se disolvieron cantidades de azúcar para obtener las diferentes concentraciones.

Las concentraciones realizadas fueron: 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 15.0 y 20.0 mg/lt, las cuales fueron obtenidas en cada una de estas muestras, y a las cuales se les estableció por triplicado su concentración.

## 2.3 PROPAGACIÓN DEL INÓCULO

### 2.3.1 Materiales y Equipo

- Agua
- Azúcar
- Suelo
- Aire
- 2 Probetas de 1000 ml.
- 1 Báscula electrónica
- 1 Frasco de capacidad de 3885 ml. con tapa
- Manguera de plástico
- Pistola para aplicar silicón
- silicón

### 2.3.2 Preparación del Reactor

A un frasco de capacidad de 3885 ml., se le perfora su tapa para tres mangueras, dos de ellas con una longitud aproximada de 35 cm y la otra de 4 cm (Figura 2.3.)

La parte donde pasa la manguera por la tapa es sellada con silicón. Una manguera de 35 cm de longitud se utilizó para el abastecimiento de aire al reactor. (Figura 2.4.) Una manguera de la misma longitud fue utilizada como toma de muestra. Una tercera manguera de la misma longitud se introdujo 4 cm. en el frasco se utilizó como venteo, se sumerge un dispositivo con agua para evitar la evaporación (Figura. 2.5.)

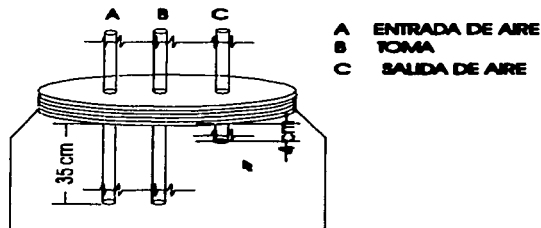


Figura 2.3. Tapa del reactor con mangueras.

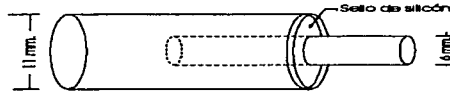


Figura 2.4 Manguera 1

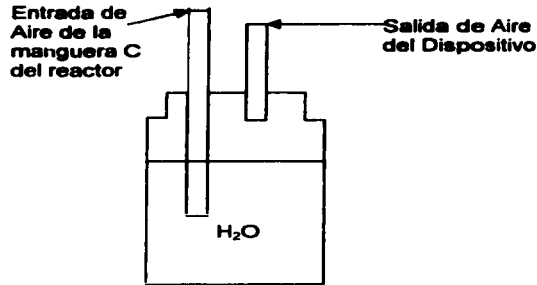


Figura 2.5. Dispositivo

### 2.3.3 Preparación del Inóculo Propagado

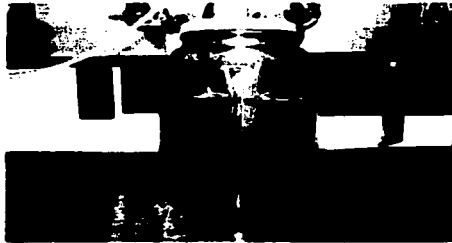


Figura 2.6. Inóculo Propagado.

Se agregó a un frasco de capacidad de 3885 ml, una muestra de suelo orgánico de 120g, de la parte superficial del jardín del área de postgrado, 60g de azúcar y 3 litros de agua, donde se le inyecta aire. Se le da un tiempo de 72 horas para establecer el cultivo a temperatura ambiente. (Figura 2.6.)

### 2.3.4 Preparación del Inóculo



*Figura 2.7. Inóculo*

Después de haber concluido el tiempo de crecimiento se toman 300 ml del inóculo propagado, 2700 ml de agua y 54 g de azúcar, se mezclan en el reactor con el aire y se deja crecer un tiempo de 96 horas. (Figura 2.7.)

### 2.3.5 Reactor con Lecho de Anillos Rashing

En un reactor se colocan bases de resina, se fija la manguera que introduce el aire, y la manguera de toma de muestra. Se introduce la cantidad de 1483.2781g de lecho de anillos rashing, en 2000 ml de agua con 40g de azúcar y 220ml de inóculo. (Figura 2.8.)



*Figura 2.8. Reactor de lecho fijo de Anillos Rashing.*

### 2.3.6 Reactor de Biomasa Suspendida

En un reactor, se fija la manguera que introduce el aire y la manguera de toma de muestra. Se introducen 2700 ml de agua con 54g de azúcar y 300ml de inóculo. (Figura 2.9.)



Figura 2.9 Reactor de Biomasa Suspendida.

### 2.3.7 Reactor con Lecho de Fibra Sintética (Esponja de hule Espuma)

En un reactor se colocan las bases de resina, y se fijan la manguera que introduce el aire y la manguera de toma de muestra. Se introducen 41.4342g de lecho de fibra sintética, 2700 ml de agua, 54g de azúcar y 300ml de inóculo. (Figura 2.10.)



Figura 2.10. Reactor de Lecho de Fibra Sintética (Esponja de Hule Espuma)

### 2.3.8 Reactor con Lecho de Piedra Pómez

En un reactor se colocan las bases de resina, se fija la manguera que introduce el aire y la manguera de toma de muestra. Se introducen 704.3762g de lecho de Piedra Pómez, 2000 ml, 40g de azúcar y 220ml de inóculo. (Figura 2.11.)



Figura 2.11. Reactor de Lecho de Piedra Pómez.

### 2.3.9 Reactor con Lecho de Tezontle

En un reactor se colocan las bases de resina, se fijan la manguera que introduce el aire y la manguera de toma de muestra. Se introducen 1406.1174g de lecho de tezontle, 2000 ml de agua, 40g de azúcar y 220ml de inóculo. (Figura 2.12.)



Figura 2.12 Reactor de Lecho de Tezontle.

### 2.3.10 Reactor con Lecho de Fibra Natural (Zacate)

En un reactor se colocan las bases de resina, se fijan la manguera que introduce el aire y la manguera de toma de muestra. Se introduce 66.558g de lecho de Fibra Natural, 2700 ml de agua, 54g de azúcar y 300ml de inóculo. (Figura 2.13.)



Figura 2.13 Reactor de Lecho de Fibra Natural (Zacate)

### 2.4 MÉTODO PARA CONOCER LA CANTIDAD DE SUSTRATO EN LOS REACTORES

- 1 balanza analítica
- Horno eléctrico
- Potenciómetro
- Solución Buffer pH 7
- 1 Probeta de 25 ml.
- Frascos pequeños capacidad máxima 100 ml.

Se toman muestras del reactor aproximadamente de 20 ml en un recipiente de vidrio limpio. A estas muestras se le mide el nivel de pH, se pesa un recipiente de vidrio a 60° C en la balanza analítica (Figura 2.14).

Posteriormente es filtrada por en un recipiente pesado y se vuelve a tarar, es dejado dentro de un horno a una temperatura de 60° C hasta que la muestra se llega a secar (de 24 a 96 horas) las determinaciones se hicieron por triplicado.

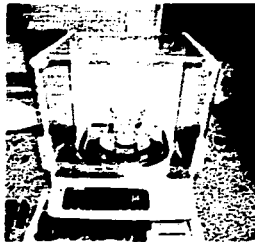


Figura 2.14 Balanza analítica tarando un recipiente de vidrio



# **CAPITULO III**

## **RESULTADOS**

## CAPITULO 3 RESULTADOS

### 3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

tabla 3.1.

	$W_{up}$	$W_{wp}$	$W_{up}$	$V_v$	$V_v$	$W_{up}$	$W_{wp}$	$W_{up}$	$W_{wp}$	$W_{up}$
Anillos Rashing	3.66	3.59	0.07	0.07	1.41	1.60	0.05	4.96	100.00	1.95
Pómez	24.04	18.33	5.71	5.71	28.33	0.64	0.20	20.25	100.00	33.54
Fibra Sintética (Esponja)	54.26	0.94	53.32	53.32	3.83	0.25	13.92	1392.27	100.00	3748.60
Fibra Natural (Zacate)	24.09	2.30	21.78	21.78	5.33	0.43	4.10	410.01	100.00	946.57
Tezontle	43.98	35.92	8.06	8.06	22.50	1.59	0.36	35.69	100.00	22.16

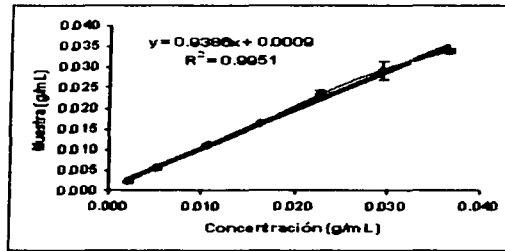
En esta tabla podemos observar que el material con mayor porosidad es la fibra sintética tiene una mayor relación de vacíos y menor densidad, lo que sus valores se encuentran en rango muy alto en relación de vacíos, porosidad y contenido de agua. El grado de saturación ( $G_w\%$ ) es igual a un 100% debido a que los materiales se saturaron en agua más de 24 horas, haciendo el volumen de vacíos ( $V_v$ ) igual al volumen de agua ( $V_w$ ). Como el agua tiene una densidad de  $1g/cm^3$ , el peso del agua es igual al volumen de vacíos.

### 3.2 CURVA DE SUSTRATO.

Tabla 3.2.

0.002000	0.002178	0.000104
0.005155	0.005434	0.000095
0.010638	0.011186	0.000330
0.016484	0.016629	0.000037
0.022727	0.023397	0.000938
0.029412	0.029220	0.002215
0.036585	0.033914	0.000314

Gráfica 1. Curva de Sustrato



En esta gráfica observamos la concentración teórica contra la concentración de la muestra.

### 3.3 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE ANILLOS RASHING

Tabla 3.3 Resultados Obtenidos en los Ciclos

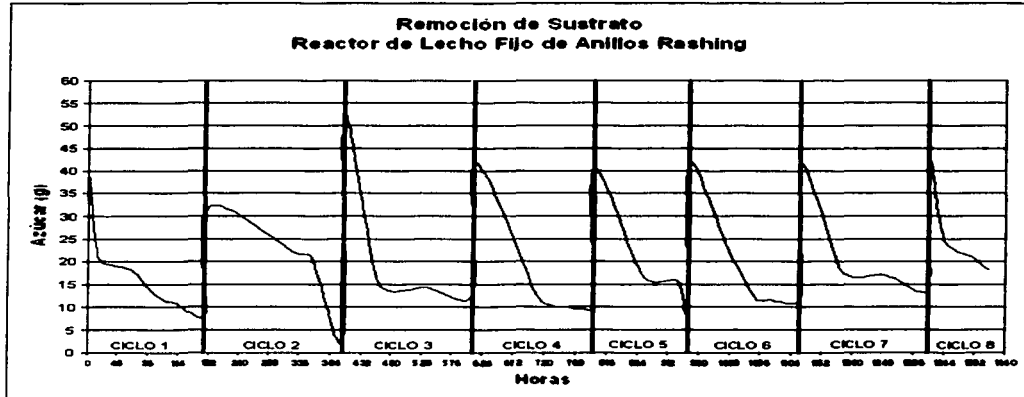
04-Jun-02	12-Jun-02	Ciclo 1	2000	42.57	220	0.01167	0.00374	67.92	0.21	$y = -0.127x + 28.538$	0.127
12-Jun-02	21-Jun-02	Ciclo 2	1480	31.88	740	0.01436	0.00131	90.89	0.14	$y = -0.1177x + 34.516$	0.1177
21-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	1850	36.88	370	0.01661	0.00573	65.49	0.15	$y = -0.1621x + 39.495$	0.1621
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2000	42.78	600	0.01646	0.00372	77.42	0.23	$y = -0.2026x + 39.349$	0.2026
06-Jul-02	12-Jul-02	Ciclo 5	2000	40.31	260	0.01784	0.00407	77.20	0.23	$y = -0.1952x + 37.894$	0.1952
12-Jul-02	17-Jul-02	Ciclo 6	2000	41.05	420	0.01696	0.00484	71.50	0.25	$y = -0.2429x + 39.911$	0.2429
19-Jul-02	26-Jul-02	Ciclo 7	2000	41.28	400	0.01720	0.00566	67.12	0.18	$y = -0.1381x + 34.416$	0.1381
27-Jul-02	31-Jul-02	Ciclo 8	2000	42.57	570	0.01656	0.00702	57.59	0.30	$y = -0.2147x + 36.517$	0.2147

Tabla 3.4 Muestras Obtenidas

0.000	40.000	7.400
14.000	22.017	7.200
23.750	19.930	7.400
72.000	18.164	7.323
96.000	14.372	7.500
120.000	11.616	7.500
143.833	10.720	7.525
185.500	8.299	7.425
191.667	32.000	7.450
331.750	21.759	7.350
354.500	20.905	7.200
402.500	2.934	7.200
403.250	52.000	7.250
459.000	15.139	7.410
535.333	14.228	7.430
609.000	12.713	7.250
611.333	42.000	7.700
714.000	11.779	7.570
755.333	10.000	7.525

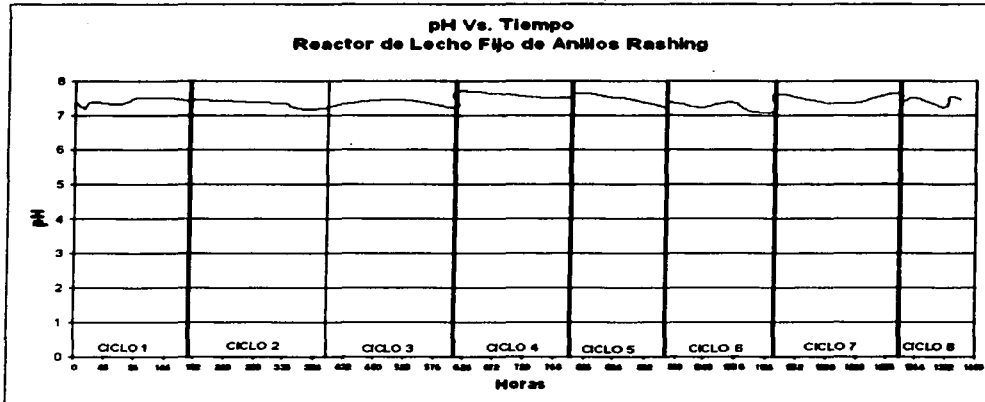
779.063	9.653	7.500
797.000	40.500	7.850
874.000	16.623	7.500
929.333	15.707	7.275
944.000	9.178	7.250
944.500	41.500	7.400
1001.000	24.176	7.250
1049.667	11.819	7.400
1073.000	11.667	7.125
1118.000	41.500	7.600
1183.000	17.976	7.425
1209.000	16.682	7.375
1254.000	16.873	7.400
1300.333	13.555	7.600
1319.833	42.000	7.400
1341.833	24.900	7.500
1389.333	20.853	7.250
1399.333	19.600	7.550
1415.333	18.015	7.450

**Gráfica 2 Remoción de Sustrato**



En esta gráfica se observa que en los tres primeros ciclos no se lleva un control con respecto a las concentraciones de azúcar en el reactor. Los cinco últimos ciclos llevan un mejor control y se percibe que su comportamiento es similar. La velocidad de consumo de los ciclos cuatro al seis es muy parecida, pero, la velocidad de remoción es diferente debido a que la velocidad de consumo se obtuvo con tan solo el consumo (azúcar) inicial y el final, entre el tiempo (horas) que transcurrió para dicho consumo, y la velocidad de remoción se obtuvo sacando la ecuación de la recta de los diferentes puntos registrados. El porcentaje de remoción del ciclo dos no es muy exacto debido a que no había un control.

**Gráfica 3 Nivel de pH**



Los niveles de pH se mantienen estable entre los rangos de 7.125 y 7.65, por lo que el material de lecho es inerte y los microorganismos no alteran los niveles de pH del agua.

### 3.4 BIOFILTRO DE BIOMASA SUSPENDIDA

**Tabla 3.5 Resultados Obtenidos en los Ciclos**

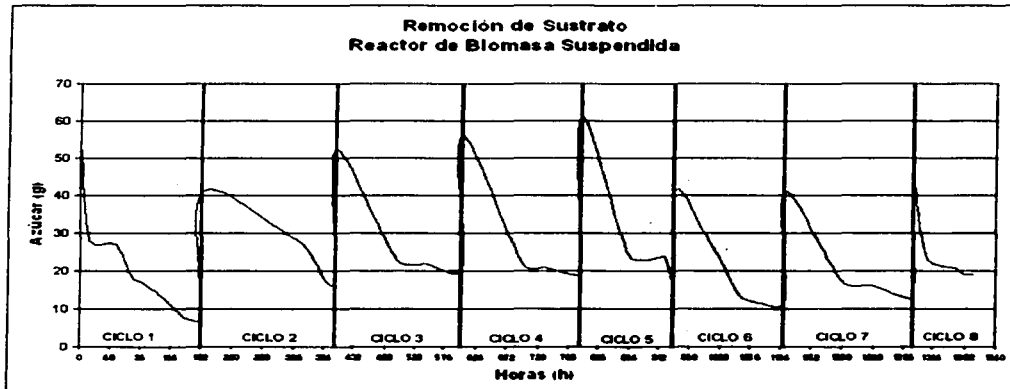
04-Jun-02	12-Jun-02	Ciclo 1	2700	30.01	300	0.01000	0.00239	76.11	0.14	$y = -0.1842x + 39.284$	0.1842
12-Jun-02	20-Jun-02	Ciclo 2	2000	41.73	1000	0.01391	0.00573	58.84	0.15	$y = -0.1082x + 41.984$	0.1082
20-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	2500	52.04	500	0.01735	0.00883	60.61	0.20	$y = -0.1613x + 46.833$	0.1613
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2750	55.81	250	0.01880	0.00840	65.58	0.28	$y = -0.2305x + 51.846$	0.2305
06-Jul-02	12-Jul-02	Ciclo 5	3000	60.46	225	0.01875	0.00438	78.65	0.36	$y = -0.2818x + 56.67$	0.2818
12-Jul-02	17-Jul-02	Ciclo 6	2000	41.18	420	0.01702	0.00481	71.74	0.25	$y = -0.2438x + 41.159$	0.2438
19-Jul-02	26-Jul-02	Ciclo 7	2000	41.27	400	0.01719	0.00550	67.99	0.18	$y = -0.1539x + 37.667$	0.1539
26-Jul-02	31-Jul-02	Ciclo 8	2000	42.48	570	0.01653	0.00744	54.98	0.26	$y = -0.2041x + 35.735$	0.2041

Tabla 3.6 Muestras Obtenidas

0.000	54.000	7.300
14.000	28.928	7.200
23.750	26.938	7.200
57.000	26.822	7.110
81.000	18.896	7.300
105.000	16.317	7.525
128.833	13.431	7.425
170.500	7.163	7.375
192.667	41.000	7.550
332.750	28.947	7.290
355.500	26.289	7.375
403.500	17.125	6.900
404.250	52.000	7.000
498.500	22.871	7.417
546.500	21.872	7.625
602.500	20.475	7.550
602.833	56.000	7.900
697.500	21.513	7.717
729.500	20.889	7.883

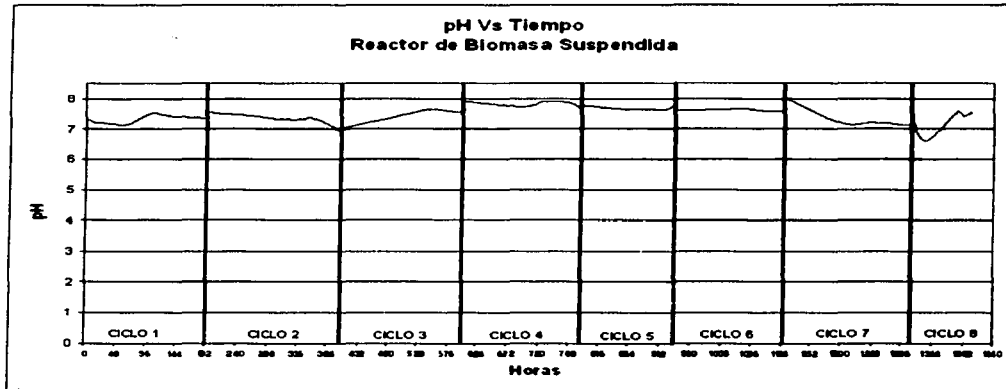
771.000	19.196	7.850
788.500	61.000	7.750
865.500	23.930	7.642
920.833	23.830	7.638
935.500	14.111	7.800
936.000	41.500	7.600
992.500	27.491	7.625
1041.167	13.372	7.675
1064.500	11.594	7.600
1109.500	41.000	8.000
1200.500	17.285	7.183
1245.500	16.180	7.200
1291.833	13.192	7.100
1311.333	42.000	7.200
1333.333	23.558	6.600
1380.833	20.493	7.550
1390.833	19.131	7.400
1406.833	19.088	7.550

Gráfica 4 Remoción de Sustrato



En esta gráfica se observa que en los tres primeros ciclos no se lleva un control con respecto a las concentraciones de azúcar en el reactor. Los cinco últimos ciclos llevan un mejor control y se percibe que su comportamiento es similar. La velocidad de consumo de los ciclos cuatro y cinco es la más alta, esto se debe a que la cantidad de azúcar y agua se incremento y la cantidad de inóculo disminuyo. En los últimos tres ciclos se utilizo la misma cantidad de azúcar, agua e inóculo que el reactor de anillos rashing y tezontle para comparar resultados entre los tres reactores.

Gráfica 5 Nivel de pH



Los niveles de pH se mantienen estable entre los rangos de 6.6 y 8, por lo que los microorganismos no alteraron los niveles de pH del agua.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3.5 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE FIBRA SINTÉTICA (ESPONJA)

Tabla 3.7 Resultados Obtenidos en los Ciclos

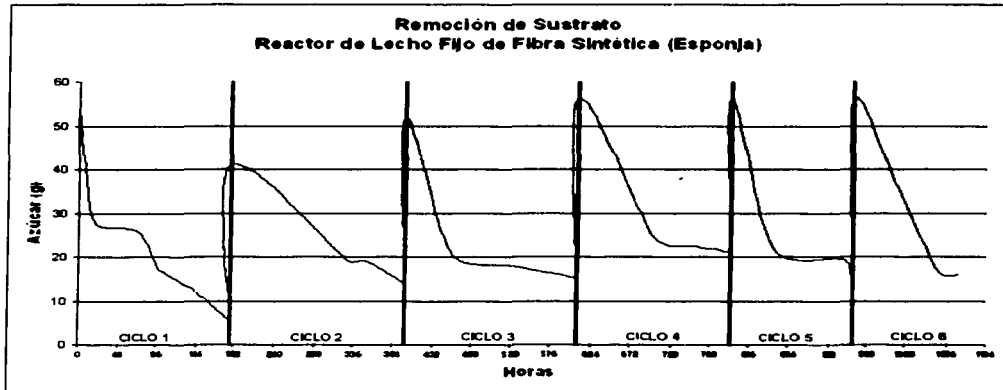
04-Jun-02	12-Jun-02	Ciclo 1	2700	66.62	300	0.02221	0.00188	91.63	0.36	$y = -0.1977x + 39.833$	0.1977
12-Jun-02	21-Jun-02	Ciclo 2	1795	41.40	1205	0.01380	0.00469	66.03	0.17	$y = -0.1311x + 40.207$	0.1311
20-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	2500	51.52	500	0.01717	0.00509	70.34	0.22	$y = -0.1543x + 41.816$	0.1543
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2750	55.37	250	0.01848	0.00723	80.83	0.28	$y = -0.2087x + 52.305$	0.2087
06-Jul-02	12-Jul-02	Ciclo 5	2750	55.91	250	0.01864	0.00536	71.22	0.33	$y = -0.2311x + 47.719$	0.2311
12-Jul-02	17-Jul-02	Ciclo 6	2750	55.44	250	0.01848	0.00533	71.15	0.33	$y = -0.3298x + 54.937$	0.3298

Tabla 3.8 Muestras Obtenidas

0.000	54.000	7.450
14.000	30.183	7.500
23.750	26.934	7.200
73.000	25.775	7.325
97.000	17.635	7.375
121.000	14.624	7.250
144.833	11.873	7.175
186.500	5.575	7.150
187.333	41.000	7.650
327.750	19.272	7.423
350.500	19.086	7.325
398.500	14.026	7.000
399.417	52.000	7.150
455.333	21.020	7.444

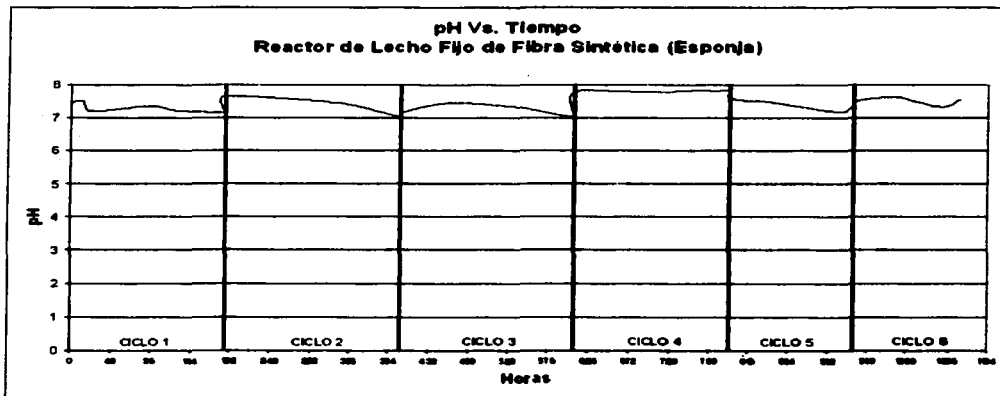
531.667	17.871	7.336
607.333	15.282	7.000
608.167	56.000	7.800
701.667	24.347	7.783
751.000	22.421	7.850
776.167	21.675	7.825
783.667	56.000	7.600
847.833	21.705	7.450
927.000	19.693	7.175
941.667	15.948	7.400
942.167	56.000	7.500
998.667	35.641	7.625
1047.333	16.449	7.325
1070.667	15.987	7.575

**Gráfica 6 Remoción de Sustrato**



En esta gráfica se puede observar el comportamiento muy similar, se utilizaron cantidades de azúcar altas, su porcentaje de remoción es alto, pero, esto fue debido a que el azúcar se quedó atrapado en el material de lecho, por lo que los microorganismos consumieron muy poco sustrato.

**Gráfica 7 Nivel de pH**



Los niveles de pH se mantienen estable entre los rangos de 7.0 y 7.825, por lo que el material de lecho es inerte y los microorganismos no alteran los niveles de pH del agua.

### 3.6 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE PIEDRA PÓMEZ

Tabla 3.9 Resultados Obtenidos en los Ciclos

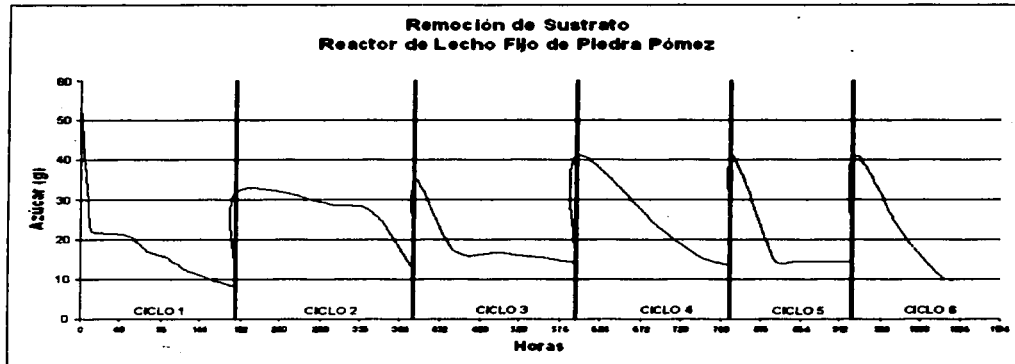
04-Jun-02	11-Jun-02	Ciclo 1	2000	53.45	220	0.02408	0.00403	53.26	0.28	$y = -0.1753x + 34.265$	0.1753
11-Jun-02	21-Jun-02	Ciclo 2	1480	32.10	740	0.01445	0.00556	60.87	0.13	$y = -0.0776x + 34.6$	0.0776
21-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	1666	35.04	400	0.01696	0.00692	59.19	0.14	$y = -0.0897x + 28.556$	0.0897
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2000	40.87	220	0.01841	0.00642	65.10	0.19	$y = -0.1634x + 40.413$	0.1634
06-Jul-02	12-Jul-02	Ciclo 5	2000	41.01	260	0.01815	0.00649	64.25	0.22	$y = -0.1549x + 32.659$	0.1548
12-Jul-02	17-Jul-02	Ciclo 6	2000	40.77	220	0.01837	0.00448	75.60	0.26	$y = -0.2504x + 39.103$	0.2504

Tabla 3.10 Muestras Obtenidas

0.000	54.000	7.250
14.000	22.398	7.000
23.750	21.905	7.000
57.000	20.857	7.267
81.000	16.879	7.200
105.000	15.327	7.550
128.833	12.115	7.650
170.500	8.938	7.383
187.333	32.000	7.200
303.167	28.695	7.150
350.500	26.972	5.850
400.917	12.503	4.600
401.167	35.000	7.000
449.500	17.248	6.175

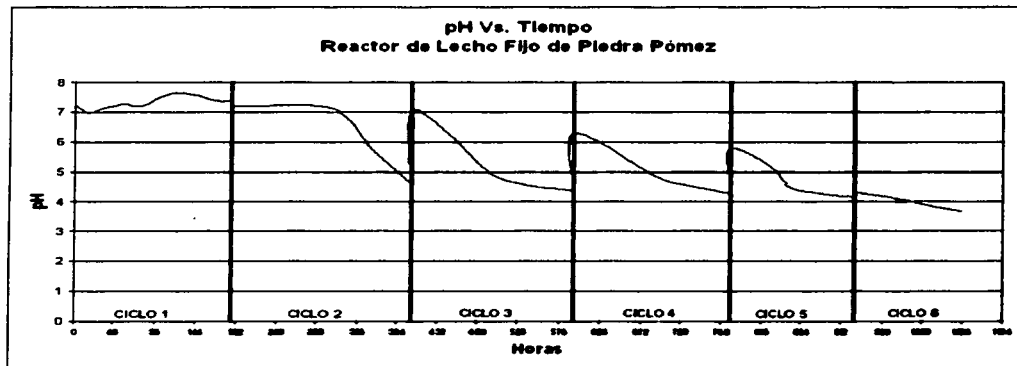
505.000	18.638	4.800
595.167	14.279	4.367
595.667	41.000	6.300
688.333	24.216	4.867
737.667	16.451	4.500
783.333	14.236	4.375
779.333	41.000	5.800
833.500	14.667	5.050
856.333	14.560	4.425
927.833	41.000	4.300
984.333	22.298	4.075
1033.000	10.514	3.750
1056.333	9.930	3.675

Gráfica 8 Remoción de Sustrato



En esta gráfica se observa que no se lleva un control con respecto a las concentraciones de azúcar en el reactor. Los tres últimos ciclos se controla pero en los reactores desde el principio hay una sobre saturación de sólidos, por lo que el reactor no trabaja de manera eficiente. Esto se debe a que la piedra pómez es un material muy blando y se desgasta.

Gráfica 9 Nivel de pH



En esta gráfica se observa que los niveles de pH se encuentran en un nivel ácido, esto se debe a que la piedra pómez no es un material inerte.

### 3.7 BIOFILTRO DE LECHO FIJO DE TEZONTLE

Tabla 3.11 Resultados Obtenidos en los Ciclos

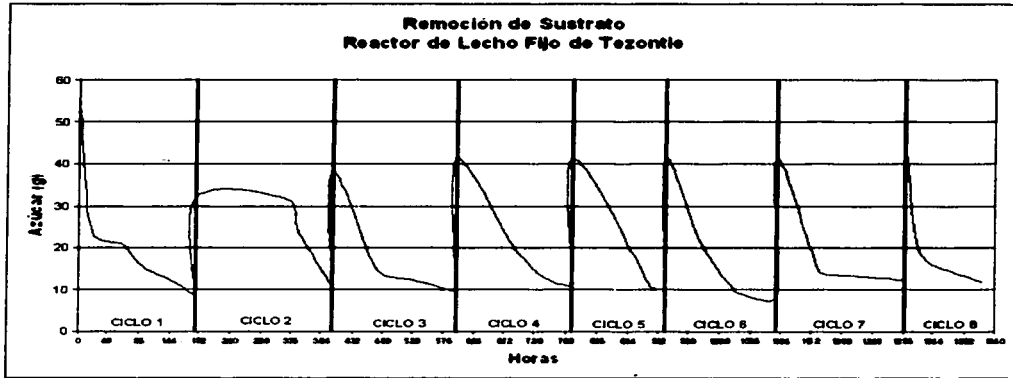
04-Jun-02	11-Jun-02	Ciclo 1	2000	50.62	220	0.02280	0.00388	62.99	0.25	$y = -0.1955x + 39.307$	0.1955
12-Jun-02	21-Jun-02	Ciclo 2	1480	31.98	740	0.01441	0.00482	65.88	0.11	$y = -0.0821x + 35.226$	0.0821
21-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	1850	38.21	370	0.01721	0.00433	74.84	0.18	$y = -0.175x + 27.891$	0.175
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2000	40.30	220	0.01815	0.00502	72.36	0.20	$y = -0.1837x + 39.679$	0.1837
06-Jul-02	11-Jul-02	Ciclo 5	2000	40.65	260	0.01799	0.00439	75.61	0.23	$y = -0.2233x + 40.398$	0.2233
11-Jul-02	19-Jul-02	Ciclo 6	2000	40.31	220	0.01816	0.00374	79.39	0.27	$y = -0.2585x + 38.781$	0.2585
19-Jul-02	28-Jul-02	Ciclo 7	2000	40.84	400	0.01702	0.00523	69.29	0.19	$y = -0.1426x + 32.512$	0.1426
26-Jul-02	31-Jul-02	Ciclo 8	2000	41.76	570	0.01825	0.00456	72.33	0.28	$y = -0.2147x + 36.517$	0.2147

Tabla 3.12 Muestras Obtenidas

0.000	54.000	7.600
23.750	23.732	6.800
72.000	20.800	7.325
96.000	16.207	7.325
120.000	14.016	7.350
143.833	12.439	7.050
185.500	8.600	6.225
186.333	32.000	5.850
326.750	31.694	4.145
349.500	23.892	3.400
399.917	10.857	3.500
400.167	38.000	3.800
471.750	14.708	3.708
519.333	12.575	3.525
595.000	9.597	3.400
595.333	41.000	3.900
687.500	20.173	3.617
736.833	12.687	3.300
783.167	11.121	3.100

777.500	41.000	3.900
875.500	17.872	3.386
899.500	10.874	3.075
924.500	9.891	3.075
925.000	41.000	3.400
981.500	20.690	3.225
1030.167	10.129	3.325
1053.500	8.292	2.950
1098.500	41.000	3.100
1163.500	14.756	3.250
1189.500	13.470	3.125
1234.500	13.177	3.050
1280.833	12.530	2.975
1300.333	42.000	3.400
1322.333	19.326	3.400
1379.833	13.731	3.025
1395.833	13.035	3.050
1419.500	11.688	3.050

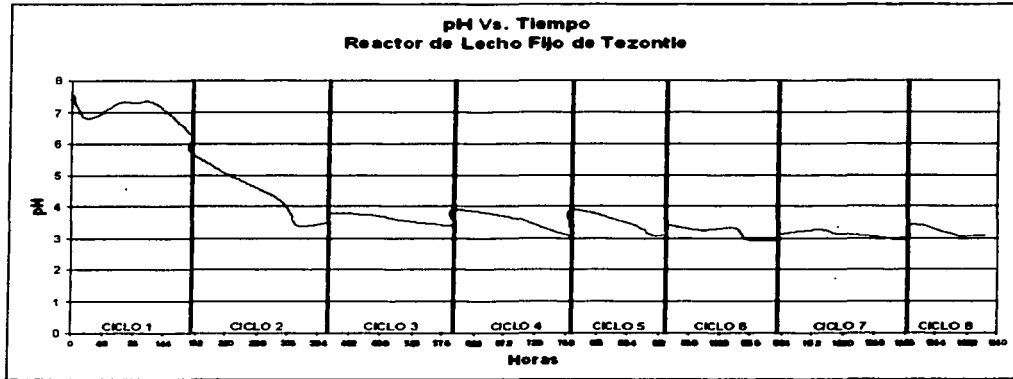
Gráfica 10 Remoción de Sustrato



En esta gráfica se observa que en los tres primeros ciclos no se lleva un control con respecto a las concentraciones de azúcar en el reactor. Los cinco últimos ciclos llevan un mejor control y se percibe que su comportamiento es similar. Se puede observar que la velocidad de remoción es alta. En los últimos tres ciclos se utilizó la misma cantidad de azúcar, agua e inóculo que el reactor de anillos rashing y biomasa suspendida para comparar resultados entre los tres reactores.

Gráfica 11 Nivel de pH

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En esta gráfica se observa que los niveles de pH se encuentran en un nivel ácido, esto se debe a que la piedra pómez no es un material inerte, esto se debe a la composición del material.

### 3.8 BIOFLTRO DE LECHO FIJO DE FIBRA NATURAL (ZACATE)

*Tabla 3.13 Resultados Obtenidos en los Ciclos*

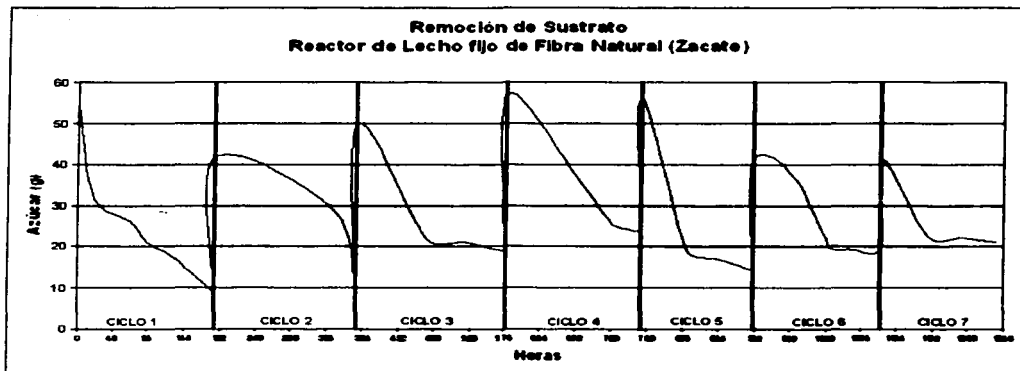
04-Jun-02	12-Jun-02	Ciclo 1	2700	67.21	300	0.02240	0.00287	87.19	0.32	$y = -0.206x + 44.238$	0.208
12-Jun-02	19-Jun-02	Ciclo 2	2000	42.21	1000	0.01407	0.00153	88.14	0.21	$y = -0.1583x + 43.419$	0.1583
20-Jun-02	29-Jun-02	Ciclo 3	2500	49.84	500	0.01865	0.00753	84.75	0.18	$y = -0.1558x + 44.975$	0.1559
29-Jun-02	06-Jul-02	Ciclo 4	2750	57.71	480	0.01787	0.00747	58.19	0.22	$y = -0.204x + 56.684$	0.204
06-Jul-02	12-Jul-02	Ciclo 5	2750	55.97	250	0.01886	0.00615	67.04	0.28	$y = -0.2767x + 47.801$	0.2767
12-Jul-02	17-Jul-02	Ciclo 6	2000	46.72	1200	0.01480	0.00534	63.40	0.27	$y = -0.188x + 42.992$	0.189
19-Jul-02	26-Jul-02	Ciclo 7	2500	54.52	1000	0.01558	0.00605	61.18	0.25	$y = -0.1234x + 38.863$	0.1234

Tabla 3.14 Muestras Obtenidas

0.000	84.000	7.180
23.750	31.902	6.850
73.000	28.009	6.500
97.000	20.801	5.700
121.000	18.578	4.200
144.833	15.426	3.925
186.500	8.598	3.600
187.333	42.000	3.450
350.500	27.920	3.535
376.500	4.572	3.600
377.083	50.000	6.400
471.333	21.827	4.038
519.333	20.981	3.713
578.333	18.834	3.575
578.333	57.000	6.200

670.333	38.079	5.800
719.667	25.847	5.025
747.260	24.050	4.050
781.333	56.000	6.850
822.333	19.014	6.270
859.333	17.142	5.500
909.333	14.111	4.550
909.833	41.000	6.800
966.333	37.011	5.700
1015.000	19.595	6.025
1038.333	19.526	4.725
1083.333	41.000	5.600
1148.333	22.291	6.000
1194.333	22.075	7.050
1239.333	21.122	6.525

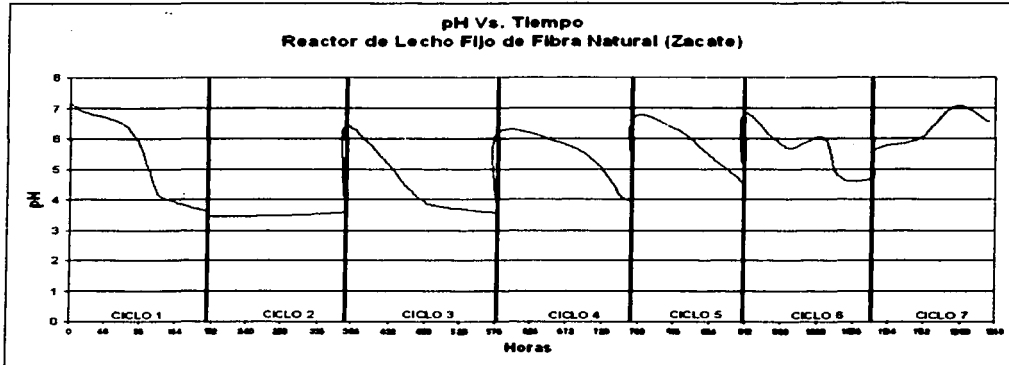
Gráfica 12 Remoción de Sustrato



Se puede observar que no se lleva un control en ninguno de los siete ciclos, esto debido a que no se contaban con los medios suficientes, para saber si el sustrato era absorbido o transformado por el lecho, el lecho al final de los ciclos cambio a color negro.



Gráfica 11 Nivel de pH



Se observa en esta gráfica que los niveles de pH varían continuamente, es por que el material de lecho hacía variar continuamente los niveles, por lo que el material no es inerte.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# **DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Algunos de los microorganismos asociados al suelo tienen la capacidad de degradar el sustrato fácilmente asimilable (azúcar) que se empleó. Asimismo, con la utilización de dos tipos de materiales (orgánico e inorgánico) en el lecho del biofiltro, se encontró que los microorganismos presentes en el suelo son capaces de degradar tanto el sustrato como el soporte. Esto nos permite pensar que las poblaciones desarrolladas en soportes orgánicos forman un consorcio en el que unas poblaciones degradan el sustrato y otras el lecho.

En el caso de los biofiltros con soporte inorgánico no se presentó este tipo de comportamiento, así que se puede pensar que los microorganismos presentes en el suelo pueden cambiar su metabolismo teniendo una fase de adaptación. Por lo tanto, el soporte inorgánico será el más favorable para la remoción puesto que el contaminante sirve como única fuente de carbono.

En el caso del soporte orgánico, parte del carbono necesario se obtiene a partir de la degradación del soporte. La población de microorganismos dominantes varió en todos los soportes empleados.

Los resultados obtenidos de los biofiltros fueron:

### a) Concentración:

El mayor rendimiento de remoción de sustrato azúcar de 90.80 %, y se logró en el reactor de lecho fijo de Anillos Rashing.

### b) Velocidad de consumo<sup>4</sup> g/h:

La mayor velocidad de consumo lograda fue de 0.27 g/h, en el reactor de lecho fijo de fibra natural; después de 7 ciclos, este reactor presentó una velocidad consumo promedio de 0.25 g/h. El biofiltro con anillos rashing tuvo una velocidad de consumo de 0.243 g/h.

### c) pH

El reactor más estable fue el de lecho fijo de anillos rashing, seguido del reactor de biomasa suspendida. El reactor que más rápido bajó su pH fue el reactor de tezontle, llegando a un pH de 3 (ácido), esto indica que parte de la degradación del sustrato fue parcial, al almacenarse cantidades importantes de ácido que cambiaron el pH del medio.

### d) Resultados

En los últimos 3 ciclos se hizo una comparación, tomando en cuenta las mismas cantidades de azúcar, stock y agua de los reactores de biomasa suspendida, de lecho fijo de anillos rashing y el de lecho fijo de tezontle. Y se obtuvo el mejor resultado del reactor de lecho fijo de anillos rashing, con mayor velocidad de consumo y mejor estabilidad del pH. Esto refuerza la hipótesis de que estos microorganismos pueden adaptar su metabolismo según las condiciones ambientales.

<sup>4</sup> El máximo fue el lecho fijo de fibra sintética, pero el azúcar solo fue absorbida más no removida.

Faltan estudios a detalle con controles y mediciones más exactas. Así como, el empleo de técnicas analíticas que permitan la identificación de la formación de subproductos. Los resultados sugieren que esta metodología tiene potencial para ser empleada bajo condiciones de carga orgánica y flujos reales.

### **Hacia Donde se Dirige la Investigación**

- Esto se puede llevar a cabo con otro tipo de lecho y otros sustratos reales o aguas residuales reales. Sin embargo, al parecer ya se encontró el lecho más eficiente.
- Hacer estudios con reactores más grandes.
- Lecho fijo es mejor que la biomasa suspendida
- Anillos rashing es el mejor debido a su peso volumétrico no es tan alto, tiene una mayor área de contacto, tiene una velocidad alta de remoción, es resistente al desgaste, no altera los niveles de pH y permite un crecimiento homogéneo de la biopelícula.
- Se debe trabajar en lote alimentado para, en un futuro tener un proceso continuo.
- Con base a los resultados obtenidos, esto se puede llevar a cabo a escala semi-piloto o piloto.

### **Con respecto a los biofiltros:**

- El reactor de lecho fijo de Tezontle puede ser utilizado para bajar el pH de agua muy básica.
- El reactor de lecho fijo de anillos rashing, puede ser utilizado en aguas un poco ácidas (pH = 6).
- Al reactor de lecho fijo de fibra sintética, se necesita aumentar sus espacios para que tenga una mejor circulación dentro del lecho y funcione mejor el reactor.
- El reactor de lecho fijo de piedra pómez no es apto debido a su desgaste rápido.
- El reactor de lecho fijo de fibra natural podrá ser estudiado para remover concentraciones de pinturas de base vegetal por las poblaciones que ahí crecen.

Esto se debe a que según la bibliografía la degradación de sustrato fácilmente asimilable puede ser una forma de obtener microorganismos activos que han orientado su metabolismo para la obtención de carbono a partir del contaminante. Una vez que se ha hecho esto se puede seleccionar la población de microorganismos que eliminara un contaminante específico con los medios adecuados.

## GLOSARIO

**Proceso aerobio.** Proceso de tratamiento biológico que ocurren en presencia de oxígeno.  
**Proceso anaerobio.** Proceso de tratamiento biológico que ocurren en ausencia de oxígeno.

**Proceso anóxico.** Proceso en el cual el nitrógeno de los nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno, y también es conocido como desnitrificación anóxica.

**Proceso facultativo.** Proceso de tratamiento biológico que pueden ocurrir en presencia o ausencia de oxígeno molecular.

**Proceso híbrido.** Combinación de procesos aerobios y anóxicos agrupados con el fin de conseguir un objetivo particular.

**Proceso con biopelícula adherida.** proceso de tratamiento biológico en el cual los microorganismos, responsables de la transformación de la materia orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejido celular, se encuentran adheridos a un medio inerte como rocas, desechos o cerámica especialmente diseñada y materiales plásticos. También se conoce como proceso de película fija.

**Remoción de nutrientes.** Término aplicado a la remoción del nitrógeno y del fósforo en los procesos de tratamientos biológicos.

**Remoción de la DBO carbonosa.** Conversión de la materia orgánica carbonosa de las aguas residuales en tejido celular y otros subproductos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente se convierte en amoníaco.

**Desnitrificación.** Proceso biológico por medio del cual el nitrato se convierte en nitrógeno y otros productos gaseosos finales.

**Proceso de laguna.** Término genérico aplicado a procesos de tratamiento que se llevan a cabo en estanques o lagunas de diferentes formas y profundidades.

**Nitrificación.** Proceso biológico de dos etapas por medio del cual el amoníaco se convierte primero en nitrito y luego en nitrato.

**Estabilización.** proceso biológico por medio del cual se estabiliza la materia orgánica, presente en los lodos producidos en la sedimentación primaria y el tratamiento biológico, generalmente por la conversión en gases y en tejido celular. Dependiendo si ésta se lleva a cabo bajo condiciones aerobias o anaerobias, el proceso se conoce como digestión aerobia o digestión anaerobia.

**Sustrato.** Término utilizado para indicar la materia orgánica o los nutrientes que se transforman durante los tratamientos biológicos, o aquella que puede ser limitante de dichos tratamientos. La materia orgánica carbonosa de las aguas residuales se considera como el sustrato que se transforma durante el tratamiento biológico.

**Proceso de crecimiento en suspensión.** Proceso de tratamiento biológico en el cual los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica o de otros constituyentes de las aguas residuales en gases y tejido celular se mantienen suspendidos en el líquido.

**Carga hidráulica.** Es un parámetro de diseño y operación empírico que se relaciona con el flujo, la tasa de cizallamiento superficial y el tiempo de retención hidráulica. Se reporta en unidades de volumen de aguas residuales incluyendo la recirculación, por unidad de área de la sección horizontal por día. Dado que la mayoría de los filtros percoladores de medio rocoso tienen una profundidad entre 1 y 2 m.

**Carga orgánica.** La carga de material de desecho en los filtros percoladores se determina en términos de kilogramos de DBO<sub>5</sub> por metro cúbico día (kg. DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> día). No hay parámetro para la carga de sólidos, pues no se ha caracterizado en forma positiva.

**Transferencia de oxígeno.** El aire se suministra a través de corrientes naturales de aire que resultan de las diferencias de temperatura entre el ambiente y el aire del interior. Los filtros profundos con medio plástico requieren del uso de aire comprimido que suministra una corriente de aire forzado. La tasa de transferencia máxima de oxígeno en los filtros con corriente natural de aire es de cerca de 28 g/m<sup>2</sup>día, lo que corresponde a la tasa de absorción por concentraciones de DBO<sub>U</sub> aplicadas de cerca de 400 mg/L. Muchos desechos industriales tiene concentraciones mayores a 400 mg/L DBO<sub>U</sub>, y pueden ocurrir condiciones anóxicas dentro de los filtros percoladores, originando olores desagradables. Los problemas de olores han llevado a que se cubran los filtros y el olor se conduzcan hacia instalaciones para el control de olores.

**Recirculación.** La recirculación del efluente en sistemas de carga alta puede ser desde un punto anterior o posterior al tanque de sedimentación. La recirculación antes de la sedimentación ofrece la ventaja de que las células desprendidas se mezclan con el agua residual que entra, mejorando la velocidad de reacción, pero también tiene la desventaja de aumentar la carga del tanque de sedimentación y tiende a diluir el agua residual sin añadir un reactivo, pero no tiene el potencial de taponamiento de la recirculación antes de la sedimentación.

**Velocidad de dosificación.** Se puede ajustar para obtener un crecimiento continuo y uniforme de la biomasa y un desprendimiento del exceso de la misma función de la carga orgánica. Es posible aproximar la velocidad de paso multiplicando la tasa de carga orgánica expresada como DBO/10<sup>3</sup> ft<sup>3</sup> por un factor de 0.1 a 0.12.

**Temperatura.** La temperatura del agua residual es más importante que la temperatura del aire. El efecto de la temperatura en el desempeño de los filtros se explica ajustando el coeficiente de la tasa de remoción con la ecuación  $r_T = r_{20\theta^{(T-20)}}$  donde:

$r_T$  = tasa de reacción a T°C

$r_{20}$  = tasa de reacción a 20°C

$\theta$  = el coeficiente de actividad de la temperatura ( $\theta$  tiene un valor de 1.035)

T = temperatura (°C)

**Problemas operacionales.** Los problemas operacionales incluyen el crecimiento excesivo de algas, llevando así a la obstrucción de los filtros, el desarrollo de malos olores debido a la falta de transferencia de oxígeno, la reproducción de moscas y la infestación de caracoles e insectos coleópteros. Los olores se pueden controlar si no se sobrecargan los filtros; el crecimiento de caracoles se puede restringir elevando el pH del agua a 9 o un poco más, inundando el filtro, con el secado periódico seguido, la limpieza con agua y agregando biocidas selectivos.

**Problemas en la sedimentación secundaria.** Todo el lodo proveniente de los sedimentos secundarios de filtros percoladores se lleva hacia las instalaciones de procesamiento de lodos. El diseño de estos tanques es similar al de los tanques de sedimentación primaria, excepto por la tasa de carga superficial que se basa en el flujo de la planta más el flujo de recirculación menos el flujo de la planta más el flujo de recirculación menos el flujo inferior. Las cargas superficiales sugeridas y las tasas de carga de sólidos para los tanques de sedimentación que siguen a los filtros percoladores, oscilan entre 400 y 600 gal/ft<sup>2</sup>·día y 0.6 a 1.0 lb/ft<sup>2</sup>·h.

**Filtro percolador convencional.** Un filtro percolador convencional consta de un lecho de partículas cuyo tamaño oscila entre 5 y 10 cm. El lecho tiene de 2 a 3 m de profundidad aunque puede ser mayor. Se clasifican como de carga baja, carga estándar y carga alta, dependiendo de la tasa de carga hidráulica y orgánica y de la velocidad de recirculación. Aunque no se usa recirculación en el filtro percolador de carga baja, éste rara vez se utiliza. La  $DBO_5$  del efluente y las concentraciones de SST provenientes de los filtros percoladores bien operados y que mantienen una velocidad estándar, se encuentran en el rango de 2 mg/L. Los filtros percoladores convencionales ligeramente cargados han demostrado ser muy efectivos en la nitrificación.

**Procesos de biopelícula adherida no sumergida.** En los filtros biológicos o percoladores se usaron materiales cada vez más grandes hasta que se alcanzó un tamaño de roca de 5 a 10 cm, debido a que el crecimiento sobre los filtros los obstruía rápidamente. Para promover mayor porosidad y el peso reducido del medio se desarrollaron nuevos lechos de plástico, su uso es muy común en los filtros en forma de torre.

**Filtro percolador en torre y carga muy alta.** El filtro percolador en torre es una modificación del filtro percolador convencional, en el cual se utilizan como medio fijo unos módulos de plástico poroso. El área superficial específica de este medio plástico por unidad de volumen oscila entre 80 y 200  $m^2/m^3$ . Tales filtros se construyen con un altura de 4.5 a 12 m. Con frecuencia se utilizan junto con equipos convencionales de lodos activados con el fin de reducir las cargas estacionales. La  $DBO_5$  del efluente y las concentraciones de SST de un filtro percolador de carga alta bien operado y bien mantenido es en general de 30 mg/L o más. Los filtros percoladores de torre ligeramente cargados también han demostrado ser efectivos para la nitrificación.

**Filtros de desbaste (cargas hidráulicas altas)** Los filtros de desbaste son filtros percoladores que operan con cargas hidráulicas altas, por lo que requieren uso de tasas de recirculación altas. Dado que las cargas hidráulicas altas ocasionan el desprendimiento casi continuo de la biopelícula, los sólidos biológicos en la corriente de recirculación contribuyen a la remoción orgánica dentro del filtro, como si se tratara de un proceso de crecimiento en suspensión.

**Sistemas biológicos rotatorios de contacto (biodiscos)** En los procesos biológicos rotatorios de contacto (RBC) se montan varios discos circulares de plástico sobre un eje central. Estos discos se sumergen (de 40 a 80%) y se hacen girar en un tanque que contiene el agua residual que va a ser tratada. Los microorganismos responsables del tratamiento se adhieren a los discos y giran entrando y saliendo del agua residual. El oxígeno que se necesita para la conversión de la materia orgánica se obtiene por adsorción desde el aire en el momento en que la capa bacteriana se encuentra fuera del líquido cuando éste gira. En algunos diseños se añade aire en la parte inferior del tanque para proveer oxígeno y hacer girar los discos, cuando éstos se encuentran equipados con dispositivos para capturar el aire. Conceptualmente y operativamente, el proceso de biodisco es similar al proceso de filtro percolador con una tasa de circulación alta.

**Biofiltro activado.** El biofiltro activado (BA) es similar a un filtro percolador de carga alta, exceptuando la recirculación de los lodos secundarios al filtro percolador. Comúnmente no se utiliza un proceso separado de crecimiento en suspensión, aunque una modificación incorpora la aireación a corto plazo antes de la sedimentación secundaria. El lodo de retorno se controla con el fin de mantener una concentración alta de sólidos suspendidos dentro del filtro. El biofiltro utiliza un medio de madera de pino en lugar de otro tipo de lecho. Se pueden lograr niveles significativamente altos de remoción de DBO produciendo una combinación de este crecimiento en suspensión y película bacteriana adherida. Se pueden aplicar cargas de DBO que superan entre 4 y 5 veces las usadas en filtros convencionales.

**Proceso de filtro percolador y contactor de sólidos.** El proceso de filtro percolador y contacto de sólidos (FPCS) consta de un filtro percolador, un tanque de contacto aeróbico y un clarificador final. Los filtros percoladores se dimensionan para remover la mayor parte de la DBO, del 60 al 85%. Los sólidos biológicos que se forman en el filtro percolador son arrastrados y se concentran en el lodo que está recirculando en el tanque de contacto. En dicho tanque se airea la materia en suspensión por menos de una hora, lo cual causa la floculación de los sólidos suspendidos y la posterior remoción de la DBO soluble. Cuando se utilizan tiempos de contacto de sólidos cortos es común que se necesite un tanque de reaeración de lodos. Se ha encontrado que la floculación es más efectiva para capturar el gran contenido de sólidos dispersos en el efluente del tanque de contacto.

**Proceso de filtro devastador y lodos activados.** La configuración del proceso de filtro percolador y lodos activados (FD/LA) es similar al sistema FP/CS; pero el sistema FP/CS opera con cargas orgánicas totales altas. El filtro percolador retira una parte de la DBO y brinda estabilidad al proceso, particularmente cuando ocurren cargas pico. Requiere tanques de aireación para tratar la carga orgánica no removida por los filtros percoladores.

**Procesos de biopelícula adherida sumergida.** Los reactores de biopelícula sumergida se desarrollaron para oxidar y nitrificar la materia orgánica carbonácea, y para la oxidación, nitrificación y desnitrificación.

**Procesos de biopelícula adherida sumergida con flujo ascendente.** Los reactores con biopelícula adherida sumergida y flujo ascendente se han desarrollado con el fin de lograr: la oxidación carbonácea y la nitrificación; además de la oxidación carbonácea, la nitrificación y la desnitrificación. En otro tipo de proceso de biopelícula adherida con flujo ascendente, la primera parte del reactor es anóxica para facilitar la desnitrificación del efluente nitrificado. Una ventaja de este tipo de reactores radica en el hecho de poder tratar efectivamente cargas orgánicas altas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Quintero A.R. , " Ingeniería Bioquímica Teoría y Aplicaciones", ALAMBRA MEXICANA S.A. DE C.V. México, 1990.
2. Crites R./Tchobanoglus G., " Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones", Mc Graw Hill, Colombia, 2000.
3. Winter M.A., "Tratamiento Biológico en Aguas de Desecho ", Limusa, México, 1986.
4. Sette R.R., "Tratamiento de Aguas Residuales", Reverte, España-México, 1991.
5. Dávila A.C., " Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales ", Tesis.
6. Vargas J.L.M." Diseño Funcional de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Municipales", Tesis.
7. Cohen Y. "Biofiltration: The Treatment of Fluids by Microorganisms Immobilized into the Filter Bedding Material: a Review", ELSEVIER, Sweden, 2000.
8. Claude B.J./ Lavergne E. , " Las Bacterias", Fondo de Cultura Económica, México, 1980.
9. Alexander M., "Introducción a la Microbiología del Suelo", AGT Editorial S.A., México, 1980.
10. Michael j. Pelczar, Jr. E.C.S. Chan, "Elementos de Microbiología", Mc Graw Hill, México, 1991.
11. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, "Manual de Tratamiento de Aguas", Edit. Noriega y Limusa, México, 1991.
12. Gerard Kiely, "Ingeniería Ambiental, Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, Mc Graw-Hill, 1999.
13. Centro de estudios del sector privado para el desarrollo sustentable, "Eficiencia y uso sustentable del Agua en México: Participación Del Sector Privado.
14. Mariano Seoáñez Calvo, "Aguas Residuales Urbanas, Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento, Edit. Mundi-Prensa, España, Madrid, 1995.
15. Mark J. Hammer, Mark J. Hammer Jr., "Water and Wastewater Technology", Edit. Prentice Hall, Upper Saddle Rive, New Jersey, 2001.
16. Juárez Badillo, Rico Rodríguez, "Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Edit. Limusa, México, 1999.

## OTRAS FUENTES DE CONSULTA

1. Sergio Sarmiento: *Jaque Mate*, "Aguas tratadas"
2. Montserrat Cota / Grupo Reforma, "Enfrenta México severa crisis de agua", Ciudad de México (5 de diciembre 2002)
3. Antonio Sánchez / Grupo Reforma, "Urge invertir en Agua", Ciudad de México (22 de Agosto 2002)
4. <http://www.erres.org.uy/agua.htm>

## ANEXO 1

### MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN

#### Cultivo y aislamiento de cultivos puros

Los microorganismos se cultivan en el laboratorio sobre materiales nutritivos denominados medios. Se dispone de una gran cantidad de medios y la clase que se debe utilizar depende de muchos factores, uno de los cuales es la clase de microorganismos que se va a cultivar.

#### Técnica en placa por estría

Se procede a una separación por agotamiento del germen: una gota del cultivo polimicrobiano es depositada en la superficie de una caja petri que contenga un medio nutritivo sólido. El inóculo se siembra sobre la superficie de un medio del tipo Luria Broth-Agar (LB-Agar), en una placa de petri, haciendo estrías con una aguja enmangada, de la manera que se indica en el esquema. En aquellos lugares en donde las líneas estriadas (Figura 8) queden suficientemente separadas crecerán colonias aisladas, como se muestra en la placa B.



Figura 8. Cultivo en una caja de petri con placa de agar.

Generalmente, después de varias horas o días, el examen del cultivo revela la presencia de múltiples especies microbianas. Entonces se procede a la separación de bacterias. Una vez realizadas estas dos etapas preliminares indispensables (puestas en cultivo y separación), es posible iniciar la identificación de la bacteria.

### **Técnicas de Tinción**

Se usan muchos compuestos orgánicos coloreados para teñir microorganismos para su observación microscópica. Se han desarrollado procedimientos de tinción para:

1. Observar mejor el aspecto morfológico de los microorganismos.
2. Identificar partes estructurales de las células de microorganismos.
3. Ayuda a identificar y/o diferenciar organismos similares.

Los principales pasos para preparar una muestra teñida para su examen microscópico son:

1. Colocación de una colonia o una fina película de la muestra sobre un portaobjetos de vidrio.
2. Fijación de la colonia sobre el portaobjetos limpio calentándolo, lo cual hace que los microorganismos se peguen al portaobjetos.
3. Aplicación de un solo colorante (tinción simple) o de una serie de colorantes o reactivos (tinción diferencial)

**Tinción Simple.** La coloración de las bacterias o de otros microorganismos por aplicación de una sola solución de un colorante a una película fijada, o colonia, se denomina tinción simple.

**Tinción Diferencial.** los procedimientos de tinción que ponen de manifiesto diferencias entre células microbianas o entre partes de una célula microbiana se denominan técnicas de tinción diferencial. Las técnicas de tinción diferencial implican usualmente la exposición de las células a más de una solución de colorante o reactivo. Una tinción diferencial es la tinción de Gram.

### **Tinción de Gram y Posibles Resultados**

El método de Gram consiste en hacer actuar sobre las bacterias, previamente fijadas en una lámina, una solución de violeta de genciana cuya acción es reforzada por un líquido yodo-iodurado, el lugol. Así tratadas todas las bacterias se colorean violeta. En una segunda etapa, se hace actuar alcohol etílico de 95° durante varios segundos. Algunas bacterias retienen la coloración violeta (gram-positivas) otras se decoloran. Para observarlas, se les somete a la acción de otro colorante, zafranina, con lo que se tiñen de color rojo (gram-negativas) Descubierta empíricamente, esta reacción se basa en la estructura química del cascaron (el de las bacterias gram-negativas contiene lípidos, el de las bacterias gram-positivas no), y es fundamental en bacteriología.

**Tabla 5. Tinción de Gram.**

TINCION DE GRAM		
1. Cristal violeta (CV)	Las células se tiñen de violeta	Las células se tiñen de violeta
2. Solución de yodo (I)	Se forman un complejo CV-I dentro de las células. Las células continúan violetas	Se forman un complejo CV-I dentro de las células. Las células continúan violetas
3. Alcohol	Las paredes Celulares se deshidratan, los poros merman; la permeabilidad de la pared celular y la membrana disminuye; el complejo CV-I no puede salir de las células; las células permanecen color violeta	Se extraen lípidos de las paredes celulares, los poros se agrandan y el complejo CV-I es eliminado de la célula; las células quedan incoloras
4. Safranina	Las células no se afectan; permanecen de color violeta	Las células toman este colorante y se ponen de color rojo

**La tinción de Gram de las bacterias más comunes en el suelo es:**

Cocos y bacilos aerobios Gram-negativos. Este grupo contiene un gran número de bacterias que son semejantes en su morfología y reacción a las de Gram y que son aeróbicas y muy diversas en cuanto a sus características metabólicas. En términos morfológicos pueden considerarse como representativas de una célula bacteriana típica, es decir que las células parecen aisladas y tiene unas dimensiones aproximadas de 0.5-1.0 a 1.5-4.0  $\mu\text{m}$ . Debido a que muchas especies de este grupo son tan morfológicamente iguales, es necesario utilizar características bioquímicas para su diferenciación.

**Características seleccionadas**

- **Morfología celular:** bacilar, ovalada, esférica; dimensiones típicas de las bacterias, es decir 0.5-1.0 a 1.5-3.0  $\mu\text{m}$ .
- **Móviles** mediante flagelos, o no móviles.
- **Aerobias.**
- **Gram- negativas.**
- **Características metabólicas** distintas de varias especies: pueden fijar nitrógeno atmosférico; otras pueden oxidar compuestos de un carbono, tales como metano o metanol, y algunas pueden degradar una gran variedad de compuestos.
- **Hábitat:** suelo y ambientes acuático; salmueras.
- **Patogenicidad.** Algunas especies son patógenas para el hombre y otros animales.

## **Cocos y cocobacilos Gram-negativos**

Este es un grupo relativamente pequeño de bacterias con dos especies patógenas comunes como son *Neisseria gonorrhoeae*, el agente causante de la gonorrea y *Neisseria meningitidis*, que causan la meningitis. La reacción de Gram y la morfología celular son importantes características para la identificación de estas bacterias. Algunas especies son saprofitas y otras son parásitas.

### **Características seleccionadas**

- **Morfología celular:** cocos, en pareja (diplococos) y en masas, algunos cocobacilos (bacilos muy cortos) aparecen en parejas.
- No son móviles.
- Gram-negativas
- Aerobias
- **Características bioquímicas:** capacidad limitada de degradar varios compuestos (carbohidratos, proteínas, etc.)
- **Hábitat:** sobre membranas mucosas de las personas y otros animales.
- **Patogenicidad:** algunas especies son patógenas para las personas y otros animales. Especialmente *Neisseria gonorrhoeae* y *Neisseria meningitidis*.

## **Cocos Gram-positivos**

Muchas especies patógenas importantes para el hombre y otros animales están incluidas en este grupo. Son todos cocos Gram-positivos, pero en presencia diferente en cuanto a ordenamiento de sus células. El examen microscópico de una preparación teñida por el método de Gram, hecha con una muestra clínica, puede resultar útil para la identificación de la bacteria responsable de una infección y los principales patógenos de este grupo son estafilococos y estreptococos. Muchas especies son saprofitas. Algunas especies son importantes en industria alimentaria y lecheras.

### **Características seleccionadas**

- **Morfología celular:** cocos aislados o en parejas, cadenas paquetes o racimos.
- No son móviles.
- Gram-positivas.
- Anaerobias, facultativas o microaerófilas.
- **Heterótrofas:** amplia gama de requerimientos nutricionales.
- **Hábitat:** suelo, agua dulce y membranas mucosas de animales de sangre caliente incluyendo al hombre.
- **Patogenicidad:** varias especies son importantes patógenos de animales (incluyendo el hombre); muchas son saprofitas.

### **Medio de Cultivo**

Se procedió al aislamiento por medio de inoculación de dilución en cajas de plástico estériles que contienen medio Luria Broth Agar, que permite el crecimiento de microorganismos y se incubaron a 37°C durante 16 horas.

Al siguiente día se realizaron las tinciones de Gram a las colonias presentes en las cajas.

#### Tinción de Gram

En un portaobjetos de 25 X 75 mm se coloca una gota de agua estéril, y con una haza de cultivo se procedió a colocar una colonia aislada obtenida del cultivo, se mezcla la muestra con la gota en el portaobjetos y se espera hasta que se seca.

Se agregan unas gotas de Cristal violeta dejando 1 minuto en reposo, se lava. Después se agregan unas gotas de lugol, dejándola 1 minuto en reposo, se lava. Se le agregan unas gotas de alcohol-cetona y se deja solo durante 4 segundos y se lava. Posteriormente se agregan unas gotas de safranina, se deja en reposo de 20 a 40 segundos y se lava.

Los resultados obtenidos en el microscopio óptico Leica DME a 100x determinando la forma del microorganismo, si son *Grampositivos* (el tinte observado en los microorganismos es de color azul-violeta) o *Gramnegativos* ( el tinte observado en los microorganismos es de color rojo).

#### Identificación BBL CRISTAL ID Kit

Los paneles del sistema BBL CRISTAL ID contienen 30 sustratos bioquímicos y enzimáticos deshidratados. Para rehidratar sustratos, se utiliza una suspensión de las bacterias. Las pruebas usadas en el sistema de identificación BBL CRISTAL se basa en la utilización y degradación microbiana de sustratos específicos detectados por varios sistemas de indicadores. Las reacciones de fermentación detectan la capacidad de un aislado de metabolizar carbohidratos en ausencia de oxígeno atmosférico. Las reacciones se detectan en general con un indicador de pH en el sustrato de la prueba. Los sustratos cromógenos producen, como resultado de hidrólisis, cambios de color que pueden observarse a simple vista. Además hay otras pruebas que detectan la capacidad del microorganismo de hidrolizar, degradar, reducir o de alguna manera utilizar un sustrato.

#### Identificación de las colonias de bacterias

Este es solo una forma con las cuales se puede identificar bacterias en un medio Agar, solo se identificaron pocas colonias aisladas, por que es muy costoso y laborioso. Esto significa que no solo existían los microorganismos identificados, hay una gran variedad de microorganismos en los reactores.

#### Lecho de Anillos Rashing

Forma: *Cocobacilo Gram-negativo*

Tipo AR1

#### Biomasa Suspendida

Forma: *Cocobacilo Gram-negativo*

Tipo BS

#### Lecho de Fibra Sintética (Esponja)

Forma: *Cocobacilo Gram-negativo*

Tipo E1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

**Lecho de Piedra Pómez**

*Forma: N/A*

*Tipo No No se encontró crecimiento en el medio agar en el que fue cultivado*

**Lecho de Tezontle**

*Forma: Cocobacilo Gram-negativo*

*Tipo T1 y T2*

**Lecho de Fibra Natural (Zacate)**

*Forma: Cocobacilo Gram-negativo*

*Tipo No se encontró crecimiento en el medio agar en el que fue cultivado*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



CUERSUM I 2002, 30 de Octubre 2002.



**A QUEL CORRESPONDA  
 PRESENTE**

Por este estudio se dirige a usted para determinar que se realicen las identificaciones de los microorganismos de las siguientes muestras:

MUESTRA	DESCRIPCION	MICROORGANISMO
1	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
2	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
3	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
4	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
5	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
6	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
7	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
8	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
9	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
10	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
11	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
12	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
13	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
14	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
15	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
16	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
17	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
18	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
19	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
20	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
21	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
22	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
23	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
24	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
25	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
26	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
27	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
28	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
29	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.
30	Colección de agua de lluvia	Streptococcus sp.

La identificación se realizó por el Sistema DEL Crystal, para bacterias aerobias gram negativas, el cual utiliza 30 substratos bioquímicos y ornamentales característicos. Los datos son depurados y validados por los microorganismos.

Al mismo tiempo nos surge a sus órdenes para cualquier aclaración.

Agradecemos su atención.

BDG Ma. Del Consuelo García Sánchez  
 Microbióloga J.

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**