



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

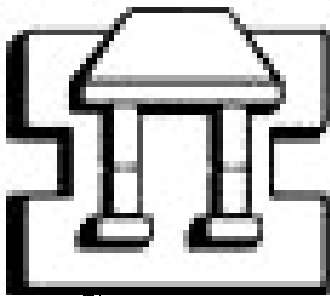
## CAMPUS IZTACALA

Determinación de bacterias patógenas (*Salmonella* spp y *Shigella* spp) y de los indicadores bacteriológicos de contaminación (Coliformes totales y fecales), en el agua residual tratada.

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A  
ALARID VILLA BRENDA GEORGINA

DIRECTOR DE TESIS: Q. F. B. Esperanza Robles Valderrama



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, MÉXICO,

2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## Dedicatoria

Doy gracias A DIOS por darme la oportunidad de vivir, por ayudarme a realizar mis metas, por todo cuanto me ha dado pero sobre todo por enseñarme a descubrir su presencia y por estar conmigo en cada instante.

Muy especialmente a mi bebe

Por que eres el regalo más divino que Dios me dio

Sergio Raúl Bravo

Por enseñarme a ser yo misma, por creer en mí, por que has compartido mis momentos buenos y malos y sobretodo porque llegaste en el momento que menos lo esperaba y que más falta me hacías eh hiciste este sueño realidad; Mil Gracias.

Patricia Villa y Jaime Alarid cuya enseñanza y apoyo agradezco, por que han sido determinantes en mi formación "*gracias por ser mis padres*".

Gracias Mamá por que tú sola presencia y tu amor me ha dado la fortaleza de continuar adelante, gracias por todos tus sacrificios y por las innumerables cosas que has hecho por mi...

Alejandra y Luis que Dios los colme de Bendiciones por todo sus apoyo

A mis abuelitos gracias por todo su amor y sus consejos

A aquellas personas que a pesar de no estar físicamente conmigo, continúan vivas en mi corazón y su recuerdo me motiva a seguir adelante, esperando hayan encontrado la paz que tanto se merecían. ¡Que falta me hacen!

Son innumerables las personas a las que debo agradecer su apoyo, ofrezco disculpas si por la falta de memoria omito algún nombre.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme brindado la oportunidad de pertenecer a ella.

A la QFB Esperanza Robles Valderrama por todo su conocimiento y paciencia brindados para la realización de este trabajo. Muchas gracias por su amistad.

A cada uno de mis sinodales: QFB Esperanza Robles Valderrama, Dra. Patricia Bonilla Lemus, M en C Elizabeth Ramírez Flores, Biol. Blanca Nieves Martínez Rodríguez y M en C María Elena Martínez Pérez por todas sus sugerencias para el mejoramiento del presente trabajo.

A la Biol. Ma. Guadalupe Sainz por sus conocimientos que desinteresadamente me brindo.

A la Familia Bravo Caballero por todo el apoyo que siempre me han brindado.

A mis amiga Blanca y Victoria por ofrecerme su amistad y motivarme a terminar.

A todas aquellas personas que de manera directa o indirecta contribuyeron para la realización de este trabajo.

***"Prefiero morir de pie que vivir siempre arrodillado"***

***Emiliano Zapata***

## ABREVIATURAS

( ):	Reacción ocasional
P.a:	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Ac:	Ácido
AGAR XLD:	Xilosa- Lisina Desoxicolato
AGAR O MEDIO SS:	Agar <i>Salmonella</i> y <i>shigella</i>
AGAR SB:	Agar Sulfito Bismuto
AGAR TSI:	Agar de Hierro y Triple azúcar
AH:	<i>Aeromona hydrophila</i>
C:	<i>Citrobacter freundii</i>
CF:	Coliformes Fecales
CT:	Coliformes Totales
CTT:	Coliformes termotolerantes
DBO <sub>5</sub> :	Demanda Bioquímica de Oxígeno en un intervalo de 5 días
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
E:	<i>Enterobacter cloacae</i>
EB:	Enterobacterias
EC:	Enterococos
Ec:	<i>Escherichia coli</i>
ECAgg:	<i>E.coli</i> enteroagregativo; ( <i>E.coli</i> diarreagénico)
ECEH:	<i>E. coli</i> enterohemorrágico
ECEH:	<i>Escherichia coli</i> enterohemorrágica
ECEI:	<i>E.coli</i> enteroinvasivo
ECEP:	<i>E. coli</i> enteropatógeno
ECET:	<i>E. coli</i> enterotoxigénico
ECSLT:	<i>E. coli</i> productor de Shiga-Like-Toxins
ECVT:	<i>E. coli</i> verotoxigénico
EF:	<i>Streptococos fecales</i>
Het:	Heterótrofos
Ipa:	Antígenos del plásmido invasor
K:	Alcalino

Kp: ..... *Klebsiella pneumoniae*  
LPS: ..... Lipopolisacárida  
M: ..... *Morgan morganii*  
Mdal: ..... Micro daltons  
NMP: ..... Número más probable  
OD: ..... Oxígeno Disuelto  
OMS: ..... Organización Mundial de la Salud  
pH: ..... Concentración de protones (iones hidrogeno H+)  
PTARCU:..... Planta de tratamiento de aguas residuales de CU  
S: ..... *Salmonella*  
SST: ..... Sólidos Suspendidos Totales  
SS: ..... Sólidos Sedimentables  
SHU: ..... Síndrome hemolítico urémico  
SLT: ..... Shiga Like Toxins, también conocidas como verotoxinas  
UFC: ..... Unidades Formadoras de Colonia  
UFP: ..... Unidades Formadoras de Placa

# ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	21
1. Antecedentes.....	21
2. Microorganismos presentes en las aguas residuales.....	26
3. Género <i>Shigella</i> .....	30
Reservorio.....	31
Descripción de la enfermedad.....	31
Modo de transmisión.....	32
Patogénesis.....	33
Distribución.....	33
4. Género <i>Salmonella</i> .....	34
Reservorio.....	35
Descripción de la enfermedad y patogénesis.....	35
Modo de transmisión.....	36
Distribución.....	36
5. Género <i>Escherichia coli</i> .....	37
Reservorio.....	39
Descripción de la enfermedad.....	39
Modo de transmisión.....	39
Patogénesis.....	40
Distribución.....	40
6. Otros géneros.....	41
6.1 <i>Klebsiella pneumoniae</i> .....	41
6.2 <i>Citrobacter freundii</i> .....	41
6.3 <i>Morganella morganii</i> .....	41
6.4 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	42
6.5 <i>Enterobacter cloacae</i> .....	42
6.6 <i>Aeromonas hydrophila</i> .....	42
6.7 <i>Aeromonas spp.</i> .....	42
7. Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal.....	43



Coliformes Totales.....	44
Coliformes Fecales.....	45
Estreptococos fecales.....	45
8. Parámetros fisicoquímicos.....	46
8.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	46
8.2 Demanda Química de Oxígeno.....	46
8.3 Conductividad Eléctrica.....	46
8.4 Materiales Sólidos.....	47
8.5 pH.....	47
8.6 Temperatura.....	47
8.7 Oxígeno Disuelto.....	47
III. JUSTIFICACIÓN.....	49
IV. OBJETIVOS.....	51
Objetivo General.....	51
Objetivos particulares.....	51
V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	52
VI. METODOLOGÍA.....	54
Fase de campo.....	54
Fase de Laboratorio.....	54
Parámetros fisicoquímicos.....	54
Parámetros bacteriológicos.....	55
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
1. Bacterias Indicadoras: Coliformes Totales y Coliformes Fecales	58
2. <i>Salmonella</i> spp. y <i>Shigella</i> spp.....	66
3. Parámetros fisicoquímicos.....	68
3.1 Parámetros de campo.....	68
pH.....	68
Oxígeno Disuelto.....	72
Temperatura.....	72
3.2 Remoción de materia orgánica.....	73
3.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	74
3.2.2 Demanda Química de Oxígeno.....	77

3.3	Sólidos Suspendidos Totales .....	82
3.4	Sólidos Sedimentables.....	85
4.	Comparación de los resultados con la NOM 03.....	89
VIII.	CONCLUSIONES.....	91
IX.	REFERENCIAS.....	93
X.	ANEXO.....	105
	Agar TSI.....	105
	Agar <i>Salmonella</i> – <i>Shigella</i> .....	106
	Agar Sulfito Bismuto.....	106
	Agar XLD.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Lodos activados de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria.....	16
Figura 2.	Flóculo del sistema de Lodos Activados.....	17
Figura 3.	Filtro Percolador de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria....	18
Figura 4.	Biodiscos de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria.....	19
Figura 5.	Mapa del área de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria.....	53
Figura 6.	Comparación de los porcentajes de remoción de CT en los tres sistemas	64
Figura 7.	Comparación de los porcentajes de remoción de CF en los tres sistemas	65
Figura 8.	Comparación de las medias de porcentajes de remoción de CT en los tres sistemas.....	65
Figura 9.	Comparación de las medias de porcentajes de remoción de CF en los tres sistemas.....	66
Figura 10.	Variación de pH de los efluentes y del influente.....	69
Figura 11.	Variación de Oxígeno Disuelto de los efluentes así como del influente....	72
Figura 12.	Variación de la temperatura de los efluentes así como del influente.....	73
Figura 13.	Porcentaje de remoción de la DBO <sub>5</sub> en Lodos Activados.....	74
Figura 14.	Porcentaje de remoción de la DBO <sub>5</sub> en Biodiscos.....	75
Figura 15.	Porcentaje de remoción de la DBO <sub>5</sub> en Filtro Percolador.....	76
Figura 16.	Variaciones de los porcentajes de remoción de la DBO <sub>5</sub> en los efluentes e influente.....	76
Figura 17.	Promedio de remoción de la DQO en los efluentes.....	77
Figura 18.	Porcentaje de remoción de la DQO en Lodos Activados.....	78
Figura 19.	Porcentaje de remoción de la DQO en Biodiscos.....	79
Figura 20.	Porcentaje de la remoción de la DQO en Filtro Percolador.....	80
Figura 21.	Variación de los porcentajes de remoción de la DQO en efluentes e influente.....	80
Figura 22.	Promedio de remoción de la DQO en los efluentes.....	81
Figura 23.	Porcentaje de remoción de SST en Lodos Activados.....	82
Figura 24.	Porcentaje de remoción de la SST en Biodiscos.....	83
Figura 25.	Porcentaje de remoción de la SST en Filtro Percolador.....	84
Figura 26.	Variaciones de los porcentajes de remoción de SST en los efluentes e influente.....	84

Figura 27.	Promedio de remoción de SST en los efluentes .....	85
Figura 28.	Porcentaje de remoción de SS en Lodos Activados.....	86
Figura 29.	Porcentaje de remoción de SS en Biodiscos.....	86
Figura 30.	Porcentaje de remoción de SS en Filtro Percolador.....	87
Figura 31.	Variaciones de los porcentajes de remoción de SS en los efluentes e influyente.....	87
Figura 32.	Promedio de remoción de SS en los efluentes.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Eliminación prevista de microorganismos contenidos en heces fecales en varios sistemas de tratamiento de aguas residuales..	19
Tabla 2.	Agentes biológicos transportados por las aguas residuales.....	27
Tabla 3.	Enfermedades hidrottransmisibles por microorganismos patógenos (reporte de algunos patógenos que han aparecido en los últimos 30 años).....	28
Tabla 4.	Dosis infectiva de los microorganismos patógenos más comunes transmitidos por el agua.....	29
Tabla 5.	Propiedades de las cepas de <i>E. coli</i> que causan infecciones entéricas.....	38
Tabla 6.	Técnicas empleadas <i>in situ</i> .....	54
Tabla 7.	Técnicas empleadas en el laboratorio.....	55
Tabla 8.	Resultados de los análisis de Coliformes totales y Coliformes fecales.....	62
Tabla 9.	Porcentajes de remoción bacteriana de los tres sistemas.....	63
Tabla 10.	Bacterias aisladas de los efluentes de tratamiento.....	67
Tabla 11.	Resultados de los análisis fisicoquímicos (Febrero – Noviembre del 2005).....	70
Tabla 12.	Parámetros estadísticos.....	71
Tabla 13.	Porcentajes de remoción de DBO <sub>5</sub> y DQO .....	81
Tabla 14.	Porcentaje de remoción de Sólidos	88
Tabla 15.	Limites permisibles para la DBO <sub>5</sub> (NOM 003-SEMARNAT-1997).	90
Tabla 16.	Lectura de TSI.....	105
Tabla 17.	Morfología en agar <i>Salmonella - Shigella</i> .....	106
Tabla 18.	Morfología en agar sulfito bismuto.....	107
Tabla 19.	Morfología en agar XLD.....	108

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Determinación de <i>Salmonella</i> y <i>Shigella</i> .....	55
PARTE I. Aislamiento de las bacterias.....	55
PARTE II. Pruebas Bioquímicas.....	56
PARTE III. Sistema de microtubos de Api 20 e.....	56
Diagrama 2. Determinación de Coliformes totales y Coliformes fecales.	57

## RESUMEN

La escasez de agua que enfrenta la humanidad en la actualidad ha provocado que se busquen caminos para solucionar el desabasto del vital líquido. El uso del agua residual tratada es una alternativa para solucionar este problema, pero puede constituir un problema sanitario debido a los patógenos que pueden estar en ellas, si no se paso por el proceso de desinfección. En este trabajo se determinaron los microorganismos patógenos *Salmonella* y *Shigella* spp, indicadores bacteriológicos y materia orgánica presentes en el agua residual tratada por tres sistemas (Lodos activados, Filtros percoladores y Biodiscos) en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, a fin de evaluar su funcionamiento.

La mejor remoción de materia orgánica representada por la DBO<sub>5</sub> y DQO la presento el sistema de Biodiscos con el 88 y 86% respectivamente, seguida de Lodos Activados con el 80% en ambas. Las remociones de SST se encontraron por arriba del 70% en los tres sistemas y SS casi del 100 % para los tres sistemas. Las remociones de coliformes totales y fecales en los tres sistemas de tratamiento fueron muy malas por debajo del 30%. Se aisló *Salmonella* spp de los tres sistemas de tratamiento lo cual es acorde para las bajas remociones de coliformes encontradas mientras que *Shigella* spp. no se aisló.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental para todas las formas de vida, lo que la convierte en uno de los recursos esenciales de la naturaleza. El volumen de agua en el mundo se expresa mediante una cifra de gran importancia 1.360 millones de kilómetros, es decir 1.360 trillones de litros. Bajo esta perspectiva, el agua aparece como un recurso prácticamente ilimitado. Sin embargo de esa enorme masa líquida, solo el 3 % es agua dulce y la mitad de ella es potable. Además gran parte de las aguas dulces están bajo formas de hielos, son subterráneas y de difícil acceso, solo el 0.008 % se encuentra en lagos o ríos y circulan por las napas de fácil acceso (Frers, 2005).

Los problemas del agua se centran tanto en la cantidad como en la calidad, ya que la contaminación del agua es conocida desde la antigüedad. En consecuencia, alrededor de 2000 millones de personas viven con escasez de agua. Están constantemente al borde de la sequía, pero aun aquellos países favorecidos con recursos hídricos enfrentan el problema de la escasez potencial (Frers, 2005).

En la actualidad el problema de la contaminación del agua y de los volúmenes tan grandes que se generan es alarmante, siendo uno de los problemas que más preocupa a la humanidad por la gran cantidad de desechos que se vierten en ella.

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario por las enfermedades que propagan como diarreas (bacterianas y víricas) tifoidea, paratifoidea, cólera, hepatitis, amibiasis, etc. Dentro de los patógenos más comunes encontrados en aguas residuales están coliformes fecales, *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y *Vibrio cholerae* entre otros.

El tratamiento de aguas residuales es de gran importancia ya que ofrece una alternativa de solución a dichos problemas, para que esto se logre se recurre a



muchos métodos de los cuales los más utilizados son aquellos que involucran microorganismos (tratamientos biológicos) debido a que son económicos (en comparación con métodos no biológicos específicos como adsorción con carbono activado, osmosis inversa, etc.) eficientes y no generan subproductos contaminantes (López, 1981).

En el tratamiento biológico, los organismos que contribuyen a la remoción del sustrato tienden a ser de autoselección, y pueden dividirse en aquellos que requieren oxígeno para metabolizar la materia orgánica (aerobios) y los que no lo requieren (anaerobios), aunque hay organismos capaces de cambiar su metabolismo y estar en presencia o ausencia de oxígeno (facultativos) (Zamudio, 1993).

Dentro de los sistemas de tratamiento biológico más utilizados se encuentran los tres siguientes:

**Lodos activados** (figura 1): Se basan en la aireación de las aguas que se tratan de depurar, de tal forma que se consigan oxidaciones rápidas de la materia orgánica, semejándose al proceso que se verifica en la naturaleza, durante las diferentes fases de auto- depuración natural del agua (Seoanez, 1999). Dicho proceso puede representarse mediante la siguiente reacción:

Materia Orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O<sub>2</sub> = Nuevos organismos + Energía – Productos finales (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O).



Figura 1.  
Lodos  
activados  
de la  
planta de

tratamiento de Ciudad Universitaria

Los organismos crecen formando flóculos o lodo activado (figura 2), el cual puede ser fácilmente separado del efluente en un tanque de sedimentación y ser re-circulado o regresado al tanque de aireación. De tal modo, que las poblaciones microbianas que se desarrollen serían consecuencia en primera instancia de las características fisicoquímicas del agua residual, y en segundo lugar del tipo de tratamiento y sus condiciones de operación (Chilpa, 1998). El efluente puede perder un 90 % o un poco más de la  $DBO_5$ ; el tiempo de retención del afluente en el estanque de aireación afecta directamente a su depuración que puede variar de 3 a 12 horas. Este proceso es sensible a sobrecargas.

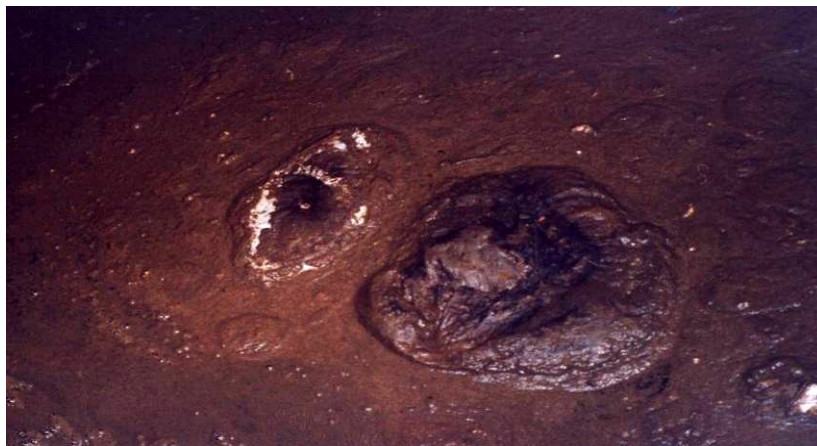


Figura 2. Flóculo del sistema de Lodos Activados.

**Filtros percoladores** (figura 3): También conocido como filtro rociador, biorreactor, y biofiltro; se clasifica dentro de los procesos de biomasa fija y consiste en un lecho de material consistente, en la mayoría de los casos de piedras o materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho fijo se encuentra adherida la población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que estas percolan hacia el fondo del tanque (Jiménez, 2002). La circulación del aire se hace en forma natural o forzada a contracorriente o en el mismo sentido del agua, el fundamento del proceso se basa en las reacciones producidas en la película biológica. La disminución de la  $DBO_5$  es de aproximadamente del 60% (Ojeda, 2001).

Algunas de las desventajas que presenta este sistema es que las algas pueden crecer en la parte superior del filtro donde pueda llegar la luz solar, causando así un posible taponamiento de la superficie del filtro y en segundo lugar la mayoría de los microorganismos activos se adhieren al medio filtrante y no salen del reactor como sucede en el proceso de Lodos activados (Metcalf y Hedí, 1985)



Figura 3. Filtro Percolador de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria

**Biodiscos** (figura 4): también conocido como disco biológico rotatorio se trata de un proceso de capa fija que se basa en la rotación de un disco sumergido en el agua a tratar. Este movimiento provoca la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y la flora microbiana aerobia adherida al sustrato de los discos. Ésta a través de procesos bioquímicos, degrada y elimina la materia orgánica, consiguiendo la depuración del agua; este sistema se caracteriza por su alta efectividad en el tratamiento de aguas residuales, en el tratamiento de agua residual doméstica se alcanzan eficiencias de 90 a 95 % en la remoción de la  $DBO_5$  (Jiménez, 2002) de fácil operación, poco mantenimiento, supervisión mínima y bajo consumo de energía (Ojeda, 2001).



Figura 4. Biodiscos de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria

Las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales en general son eficientes en la remoción de patógenos, sin embargo Saézn en 1993 realizó una investigación donde muestra que estas no son suficientemente eficientes para remover bacterias, helmintos, quistes y virus, como se puede ver en la tabla 1, pero constituyen una herramienta muy valiosa en agricultura y acuicultura en países en vías de desarrollo para disminuir la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso.

**Tabla 1.** Eliminación prevista de microorganismos contenidos en heces fecales en varios sistemas de tratamiento de aguas residuales

Proceso de Tratamiento	Eliminación (unidades logarítmicas <sub>10</sub> ) de			
	Bacterias	Helmintos	Virus	Quistes
Sedimentación primaria Sencilla	0-1	0-2	0-1	0-1
Con ayuda química <sup>a</sup>	1-2	1-3 <sup>g</sup>	0-1	0-1
Lodo activado <sup>b</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltración <sup>c</sup>	0-2	0-2	0-1	0-1
Laguna ventilada <sup>c</sup>	1-2	1- <sup>g</sup>	1-2	0-1
Zanja de oxidación <sup>b</sup>	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección <sup>d</sup>	2-6 <sup>g</sup>	0-1	0-4	0-3
Estanques de estabilización de desechos <sup>e</sup>	1-6 <sup>g</sup>	1-3 <sup>g</sup>	1-4	1-4
Depósitos de fluentes <sup>f</sup>	1-6 <sup>g</sup>	1-3 <sup>g</sup>	1-4	1-4

Rohlich, 1977 citado por Saézn, 1993.

<sup>a</sup> Se necesitan investigaciones más detalladas para confirmar los resultados.

- <sup>b</sup> Incluida la sedimentación secundaria
- <sup>c</sup> Incluidos los estanques de sedimentación
- <sup>d</sup> Cloración u ozonación
- <sup>e</sup> Los resultados dependen del número de estanques en serie y de otros factores ambientales
- <sup>f</sup> Los resultados dependen del tiempo de retención, que varía con la demanda
- <sup>g</sup> Con un buen diseño y con manejo apropiado es posible cumplir con las directrices recomendadas.

El agua residual tratada también constituye un recurso de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados ya que se puede utilizar en el riego.

Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. Aunque el abuso de esta práctica puede llevar a la salinización del suelo; es importante de igual manera conocer la calidad del agua servida, en relación con los cultivos previstos y el tipo o los tipos de suelo. Así mismo se sugiere hacer monitoreos sobre la calidad toxicológica y microbiológica de los productos procedentes de estas áreas de riego (Saénz, 1993).

## II. MARCO TEÓRICO

### 1.- Antecedentes

Aragón en 2000 estudió diversos métodos para el diseño de biodiscos y sedimentadores en la UNAM y menciona que el diseño de biodiscos para el modelo de Stover - Kincannon es un buen método basado en la cinética de eliminación, y que el incremento de la carga de microorganismos da como resultado una mayor eliminación de materia orgánica hasta llegar a un límite similar al de la cinética enzimática. Por otra parte menciona que los biodiscos son un proceso biológico de película fija y permite ser utilizado para el tratamiento de aguas residuales con contenido de materia orgánica soluble. El diseño de sedimentadores en este trabajo se considero como complemento al proceso de biodiscos el cual se aplicó antes y después del tratamiento biológico, denominándolos como sedimentación primaria (antes del tratamiento biológico) y sedimentación secundaria (después del tratamiento biológico) evaluando dichos diseños por medio de la experiencia de diseñadores.

Ávila en 1987 evaluó y optimizó el sistema de filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, y concluyó que para alcanzar concentraciones menores de 30mg/ L de  $\text{DBO}_5$  en el efluente, el equipo no funciona adecuadamente, pero para concentraciones arriba de 50 mg/L el equipo muestra el perfil definido y amortigua las fluctuaciones de hasta 350 mg/L de  $\text{DBO}_5$ . Por otra parte menciona que a concentraciones altas de substrato; se observa una remoción pronunciada en la parte media superior del equipo; mientras que a concentraciones bajas de substrato la remoción es menor.

Bohdziewicz y Sroka (2003) realizaron un trabajo que tuvo como objetivo la determinación de la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales que venían de la industria de la carne en un sistema híbrido que combinaba los métodos biológicos de lodo activado (en un Sequencing Batch Reactors) y de

osmosis inversa. Las pruebas realizadas en las aguas residuales tratadas demostraron que el tratamiento biológico removió suficientes contaminantes de las aguas residuales. Para permitir que las aguas residuales tratadas sean reutilizadas en el ciclo de la producción éstas fueron tratadas además con osmosis inversa.

Botero *et al.*, (2002), determinaron en las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia (Venezuela), además de los indicadores tradicionales, los siguientes microorganismos: enterobacterias (EB), estreptococos fecales (EF), enterococos (EC), heterótrofos (Het), colifagos de *E.coli* y hongos, siguiendo las técnicas descritas en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, (1995), con el fin de evaluar el funcionamiento del sistema para su uso con fines agrícolas. En el efluente final las medias geométricas determinadas fueron: coliformes totales (CT)  $1,2 \times 10^4$  NMP/100 ml, coliformes termotolerantes (CTT)  $8,0 \times 10^3$  NMP/100 ml, estreptococos fecales (EF)  $8,1 \times 10^1$  NMP/100 ml, enterococos (EC)  $5,3 \times 10^1$  NMP/100 ml, heterótrofos (Het)  $1,1 \times 10^4$  UFC/ml (unidades formadoras de colonia), *E. coli* C  $5,7 \times 10^2$  UFP/ ml (unidades formadoras de placa) y Hongos  $6,2 \times 10^2$  UFC/ml. A pesar de presentar niveles de remoción de los indicadores bacterianos superiores al 99% durante el periodo de toma de muestras en las lagunas de estabilización, el 90% de las mismas no cumplieron con la normativa establecida por la OMS/OPS.

En Biorreactores Integrados S.A. de C.V. (BRAIN), (2001), realizaron un trabajo con el propósito de optimizar el uso de los sistemas de lechos de raíces utilizándolos como tratamiento terciario de un BRAIN para disminuir los requerimientos de área y de desinfección terminal necesarios para cumplir con la NOM-001-ECOL-96 en cuanto a parásitos y patógenos se refiere. Presentaron los resultados de un año de operación de un sistema de tratamiento no convencional diseñado a base de un biorreactor anaerobio integrado (BRAIN) cuyo efluente es pulido por un lecho de raíces. El sistema fue construido por la comunidad de San Dionisio Ocotepc con recursos propios del Municipio y del Gobierno del Estado (Oaxaca). La evaluación se llevo acabo con el apoyo del

IPN y del sistema de investigación Benito Juárez del CONACYT. El sistema propuesto demostró remover coliformes fecales entre 1 y 2 escalas logarítmicos. La capacidad para remover huevos de helminto fue de 100%. Las eficiencias de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos permiten asegurar un efluente secundario que puede ser pulido por lechos de raíces disminuyendo el área requerida.

Castorena *et al.* (1995), evaluó la eficiencia en dos sistemas de lodos activados (en etapas y continuo), determinando la calidad del influente y efluente en cada uno. En el proceso continuo se obtuvo una remoción de materia orgánica oxidable de 79.7 % mientras que en el proceso de etapas fue de 92.97 %.

Delgado *et al.* (2005), justificó la reutilización de las aguas residuales tratadas, como agua de riego agrícola, y destacó el papel que pueden jugar las universidades y centros de investigación en el apoyo científico a la gestión sostenible del agua, así como su posible contribución en el desarrollo e innovación tecnológica en materia de procesos de tratamiento de aguas. En este trabajo también se expuso la experiencia que han tenido por más de una década de colaboración, el departamento de Ingeniería Química de la Universidad la Laguna y el organismo Balsas de Tenerife (BALTEN).

El-Gohary *et al.* (1998), analizó la eficiencia del funcionamiento de un sistema de lodos activados cuyo efluente es utilizado para la irrigación en Egipto. La eficiencia estuvo dirigida a la determinación de las características de las aguas residuales crudas, a la calidad del efluente tratado y de la eficiencia de varias unidades de tratamiento. Además se supervisó la calidad del agua a lo largo del canal del efluente de la irrigación, basándose en las pautas establecidas por la OMS y el decreto egipcio 9/89 para el uso de las aguas residuales en la agricultura. La eficiencia final del tratamiento fue buena. La DQO, DBO y los SST presentaron concentraciones de 25, 8 y 21 mg/L respectivamente. La cuenta viable total (37°C), los coliformes fecales y estreptococos fecales fueron reducidos el 99.9 % mientras que las salmonelas 99.5%. Los resultados de los



análisis de muestras recogidos al principio del canal de irrigación indicaron cambios insignificantes de las características del efluente final. Las muestras tomadas a una distancia de 2 Km a lo largo del canal mostraron reducciones en la DQO, DBO de 28.6 y 47 %, respectivamente, que se podrían atribuir a la sedimentación y/o a un efecto de la misma purificación. Un aumento en el nitrógeno, el fósforo total y la cuenta viable total también fue registrado, que podría ser debido a la filtración de la región agrícola. De los datos disponibles es evidente que las aguas residuales tratadas se podrían utilizar para la irrigación.

Hielen, (2003), realizó una evaluación ambiental en un sistema de tratamiento de aguas servidas basado en la tecnología del lombrifiltro, que por sus características ecológicas tuvo una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y organismos patógenos. Para determinar la eficiencia del sistema en la remoción de *Salmonella* spp, se tomaron 10 muestras de aguas residuales en los meses de julio a octubre y se sometieron a pruebas microbiológicas de enriquecimiento, aislamientos, bioquímicas y serológicas, establecidas según los métodos estandarizados para el análisis de agua y aguas residuales. Los resultados arrojaron un 80% de eficiencia en la remoción de *Salmonella* spp y una remoción de coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas de (107 a 100). En las pruebas de calidad de agua, el sistema resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO<sub>5</sub>, un 80% en sólidos suspendidos totales (SST), y un 70% en nitrógeno y fósforo, lo que cumple con la Norma Chilena CHN 1.333, para el uso de aguas residuales tratadas en riego de cultivos agrícolas.

El Organismo MCWRP (Proyectos de reciclamiento del agua de la Ciudad de Monterrey), (1999), diseñó un estudio para probar la eficiencia de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales recicladas, (terminada en 1987), la cual utiliza sus aguas tratadas para riego agrícola de cultivos alimenticios. En este estudio se quiso comprobar la ausencia de microorganismos patógenos (preocupación de la seguridad en los alimentos), tales como *E. coli* 0157:H7, *Cyclospora* sp., virus entéricos y *Salmonella* spp en el tratamiento terciario de la

planta piloto. Se tomaron muestras del influente, del efluente del tratamiento secundario y del efluente del tratamiento terciario de aguas recicladas durante 3 meses. El estudio confirmó la eficiencia de remoción de los microorganismos estudiados en el efluente del tratamiento terciario, representando con ello la seguridad del reuso de esta agua en el riego agrícola de alimentos.

Peinador y Murillo (2000), realizaron durante el año 1999 un monitoreo de los cinco sistemas lagunares de tratamiento de aguas residuales domésticas y de una planta de lodos activados que posee el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en Costa Rica. Este monitoreo consistió en toma y análisis de muestras bimensuales en el agua del afluente y efluente de dichos sistemas. El objetivo de este trabajo fue estudiar la eficiencia en la remoción de huevecillos de helmintos y quistes de protozoarios patógenos que tienen los diferentes sistemas de tratamiento y comparar los resultados con la epidemiología de las zonas correspondientes, al respecto. Las muestras se analizaron por el método de Ritchie modificado. Se encontró una baja eficiencia en la remoción de estos organismos por parte de la planta de lodos activados, en lo que respecta a *Entamoeba histolytica*, *E. coli*, *Blastocystis hominis* y *Lambliia intestinalis*, y una eficiencia del 100% en todos los sistemas lagunares. Estos resultados concuerdan con los datos sobre parasitosis por enteropatógenos, obtenidos de los diferentes hospitales y clínicas de las zonas en estudio.

Sandoval y Collí, (s/a), en México realizaron un estudio que se basó en establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales que permita regular la cantidad de nutrimentos y que proporcione un agua sin riesgo bacteriológico cuando se reuse en la agricultura, e identificar la contaminación microbiológica residual y productividad en hortalizas regadas con diferentes calidades de agua residual bajo condiciones de invernadero. Para esto, se contó con una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, con modificación del sistema de aireación de continua a intermitente, con la finalidad de controlar la concentración de salida de los nutrientes, que son

importantes en los cultivos. Para la parte bacteriológica se contó con una laguna de maduración con mamparas. Se logró en el efluente menos de 240 coliformes fecales NMP/100 ml, lo cual cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1996. Para el cultivo de hortalizas (lechuga, rábano, cebolla y cilantro), se estudiaron las siguientes calidades de agua: de pozo con y sin fertilizante, efluente de tratamiento secundario con y sin desinfección química, efluente de tratamiento terciario con desinfección biológica y residual cruda. Los resultados mostraron presencia de *E. coli* en el agua de enjuague de las hortaliza cuando fueron regadas con agua cruda y del sedimentador secundario sin desinfección. Los frutos de lechuga, rábano y cebolla son seguros bacteriológicamente (no existe presencia de *E. coli*). La productividad es afectada por la concentración y estado del nitrógeno, el cual debe estar disponible en forma de nitratos. Sin embargo, la productividad es equivalente entre el agua de pozo y las de un tratamiento secundario con o sin desinfección.

Zamudio en 1993 realizó la evaluación del agua residual tratada en un sistema de biodiscos en una industria azucarera-alcoholera, ya que esta industria consume más de 1 millón de m<sup>3</sup>/día para lavar la caña, clarificación del jugo, enjuague de evaporadores, calentadores y purgas de calderas, sistema de enfriamiento, condensadores, fermentadores y sanitarios. Concluye que este sistema de tratamiento resulta ser muy adecuado y eficaz para remover la mayor cantidad de contaminantes y disminuir las posibles consecuencias negativas que originarían una descarga continua de este tipo de contaminantes en los cuerpos de agua, también menciona que estos equipos son capaces de tratar anaerobiamente hasta 273 metros cúbicos de agua por día.

## **2. Microorganismos presentes en las aguas residuales**

En la tabla 2 se presentan los microorganismos encontrados más comúnmente en las aguas residuales.

Los organismos patógenos presentes en el agua residual pueden “proceder de desechos humanos y/o animales de sangre caliente que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad determinada” (Metcalf y Hedí, 1985).

Cuando se presentan las enfermedades gastrointestinales bacterianas (fiebre, tifoidea, disentería, gastroenteritis, cólera) los agentes etiológicos son expulsados en grandes cantidades en la heces, las cuales usualmente se mezclan con las aguas residuales domésticas, que puedan ser descargadas en cuerpos de agua (lagos, ríos, presas) que posteriormente pueden ser utilizados como fuente de abastecimiento (ASTM, 1992), causando enfermedades hídricas comunes (tabla 3), (Fair *et al.*, 1997).

**Tabla 2.** Agentes biológicos transportados por las aguas residuales.

<p><b>BACTERIAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Klebsiellae pneumoniae</i></li> <li>• <i>Escherichia coli</i></li> <li>• <i>Salmonella spp</i></li> <li>• <i>Shigella spp</i></li> <li>• <i>Vibrio cholerae</i></li> <li>• <i>Mycobacterium tuberculosis</i></li> <li>• <i>Bacillus anthracis</i></li> <li>• <i>Francisella</i></li> <li>• <i>Myxococcus</i></li> <li>• <i>Proteus</i></li> <li>• <i>Thibacillus</i></li> <li>• <i>Leptothrix</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Legionella spp</i></li> <li>• <i>Yersinia enterocolitica</i></li> <li>• <i>Pseudomonas aeruginosa</i></li> <li>• <i>Clostridium tetani</i></li> <li>• <i>Clostridium perfringens</i></li> <li>• <i>Clostridium botulinum</i></li> <li>• <i>Actinomyces</i></li> <li>• <i>Leptospira interrogans</i></li> <li>• <i>Staphylococcus</i></li> <li>• <i>Aerobacter</i></li> <li>• <i>Zooglea</i></li>   <li>• <i>Sphearoothilus</i></li> </ul>
<p><b>VIRUS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Influenzavirus</li> <li>• Enterovirus: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Coxsackie A y B</i></li> <li>○ <i>Echovirus</i></li> <li>○ <i>Poliovirus</i></li> </ul> </li> <li>• Virus de la hepatitis A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Rotavirus</i></li> <li>• <i>Adenovirus</i></li> <li>• <i>Reovirus</i></li> <li>• <i>Parvovirus</i></li>   <li>• <i>Coranovirus</i></li> </ul>
<p><b>HONGOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Candida albicans</i></li> <li>• <i>Cryptococcus neoformans</i></li> <li>• <i>Aspergillus spp</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Trichophyton spp</i></li>   <li>• <i>Epidermophyton spp</i></li> </ul>

<p><b>PARÁSITOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protozoos <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Entamoeba histolytica</i></li> <li>○ <i>Giardia lamblia</i></li> <li>○ <i>Balantidium coli</i></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Helmintos <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Ascaris lumbricoide</i></li> <li>○ <i>Ankylostoma duodenale</i></li> <li>○ <i>Anguillula intestinalis</i></li> <li>○ <i>Toxocara canis</i></li> <li>○ <i>Toxocara cati</i></li> <li>○ <i>Trichiuris tricgiura</i></li> <li>○ <i>Fasciola hepatica</i></li> <li>○ <i>Taenia saginata</i></li> <li>○ <i>Taenia solium</i></li> <li>○ <i>Hymenolepis nana</i></li> <li>○ <i>Toxoplasma gondii</i></li> <li>○ <i>Echinococcus spp</i></li> </ul> </li> </ul>
--	---

Fuente: Grant 1984

**Tabla 3.** Enfermedades hidrotansmisibles por microorganismos patógenos (reporte de algunos patógenos que han aparecido en los últimos 30 años).

<b>Agente bacteriano</b>	<b>Enfermedad</b>
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella paratyphi</i>	Fiebre paratifoidea
<i>Shigella</i>	Disenteria bacilar
<i>Legionella</i>	Enfermedad del legionario
<i>Escherichia coli</i>	Fiebre entero hemorrágica, trastorno renal
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis / Diarrea
<i>Helicobacter pilori</i>	Úlceras estomacales
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiosis/ Diarrea
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis/ síndrome glandular parecido a la fiebre; puede causar daño al feto, ocasionando el aborto
<i>Vibrio cholerae</i>	Diarrea, Colera
<i>Campilobacter jejuni</i>	Diarrea
<i>Rotavirus</i>	Diarrea
<i>Virus hepatitis E</i>	Hepatitis
<i>Calicivirus</i>	Diarrea
<i>Cyclospora</i>	Ciclosporiasis / diarrea

Fuente: Bitton, 1994 y Reynolds, 2001.

Es evidente que las aguas residuales constituyen un peligro para la salud por contener bacterias patógenas, protozoarios, helmintos, virus (Reynolds, 2001) y

otros organismos productores de enfermedades, así mismo también contienen sustancias que pueden contaminar las fuentes de alimento y agua; afectando la calidad de estas (Babbit y Baumann, 1997).

El riesgo de contraer una infección transmitida por el agua aumenta con su nivel de contaminación; sin embargo, la relación no es necesariamente simple y depende muchísimo de factores tales como la dosis infectiva y la susceptibilidad del huésped (tabla 4).

**Tabla 4.** Dosis infectiva de los microorganismos patógenos más comunes transmitidos por el agua.

<b>Categoría</b>	<b>Patógeno</b>	<b>Dosis</b>
Bacteria	<i>Vibrio cholerae</i>	10 <sup>8</sup>
	<i>Salmonella spp.</i>	10 <sup>6-7</sup>
	<i>Shigella spp.</i>	10 <sup>2</sup>
	<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>2-9</sup>
	<i>Campylobacter spp.</i>	10 <sup>6</sup>
	<i>Leptospira spp.</i>	3
	<i>Francisella tularensis</i>	10
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	10 <sup>9</sup>
	<i>Aeromonas spp.</i>	10 <sup>8</sup>
	<i>Helicobacter pilori</i>	?
	<i>Legionella pneumophila</i>	>10
	<i>Mycobacterium avium</i>	?
Protozoos	<i>Giardia lamblia</i>	1-10
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	1-30
	<i>Naegleria fowleri</i>	?
	<i>Acanthamoeba spp.</i>	?
	<i>Entamoeba histolytica</i>	10-1000
	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	?
	<i>Isospora belli</i>	?
	<i>Microsporidium</i>	?
	<i>Balantidium coli</i>	25-100
	<i>Toxoplasma gondii</i>	?
Virus	<i>Poliovirus</i>	1-10
	<i>Coxsackievirus</i>	1-10
	<i>Echovirus</i>	1-10
	<i>Reovirus</i>	1-10
	<i>Adenovirus</i>	1-10
	<i>Rotavirus</i>	1-10
	<i>Coronavirus</i>	1-10
	<i>Astrovirus</i>	1-10

Fuente: Reynolds, 2001.

Dentro de los microorganismos se encuentran las bacterias que juegan un papel importante en el medio acuático ya que algunas de ellas forman parte de la flora autóctona y otras pueden encontrarse como contaminantes (Coler, 1977 citado por Romero y Rodríguez; 1982; Volk, 1996).

La población bacteriana autóctona incluye una amplia variedad de familias grupos y géneros. En muchas ocasiones esta flora nativa se ve aumentada con la adición de nuevos grupos que provienen del suelo, aire y de las excretas humanas y animales; en estas excretas la variedad de bacterias es también muy amplia, y puede dividirse en dos grandes grupos: las no patógenas (flora intestinal normal) y las patógenas (flora intestinal que produce estados patológicos). Dentro de la flora intestinal normal la familia Enterobacteriaceae es la más numerosa, ya que incluye 15 géneros, cuatro de ellos patógenos, le siguen los grupos bacteroides y bifidobacterium (que le imparten a las heces su típico olor); las formas esféricas representadas por el grupo de los enterococos; los lactobacilos, y algunas especies de *Clostridium*. Entre la flora patógena se incluyen los cuatro géneros de la familia Enterobacteriaceae: *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Klebsiella spp*, (algunas especies) *Yersenia*, *Vibrio cholerae* y en muy raras ocasiones algunas micobacterias y corinobacterias (Manual de Microbiología, 1985).

Entre las bacterias que se transmiten por las aguas residuales se encuentran *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Vibrio cholerae*, *Campilobacter sp.*, *Escherichia coli*, *Leptospira sp* y *Yersinia sp* (Divo, 1990), siendo quizás las más comunes las tres primeras (Volk, 1996).

### 3. **Género *Shigella***

El género *Shigella* fue descubierto por Chantemesse y Nidal en 1888 en heces de soldados con disentería.

Este género, junto con el género *Escherichia*, pertenece a la tribu *Escherichiae* de la familia *Enterobacteriaceae*. *Shigella* spp., son microorganismos gram-negativos, no encapsulados, anaerobios facultativos, inmóviles, oxidasa negativos, fermentadores de la glucosa.

Con base a pruebas bioquímicas y serológicas se reconocen 4 especies: *Shigella dysenteriae* (Shiga, 1898) que corresponde al serogrupo A, *Shigella flexneri* (Flexner, 1900) del serogrupo B, *Shigella boydii* (Boyd, 1938) del serogrupo C y *Shigella sonnei* (Sonne, 1915) del serogrupo D. Se dividen en 12, 15, 18 y 1 serovares, respectivamente, según la estructura química de los lipopolisacáridos de la membrana celular externa. Todos poseen capacidad patógena, causando enteritis invasora. *Shigella* spp, ejemplo de bacteria invasora, alcanza la submucosa del colon y es capaz de ulcerar esos tejidos, pero solo produce bacteriemia en casos excepcionales. El inóculo para los humanos es mínimo, en estudios realizados en voluntarios se necesitan de 10 a 100 bacterias para causar la enfermedad.

Filogenéticamente, el género está estrechamente relacionado con *Escherichia coli*, sin embargo bioquímicamente es mucho menos activo (Benenson, 1997; González – Bonilla, 1993; Sansonetti, 1992).

### **Reservorio**

*Shigella* spp. Tiene como único reservorio importante el humano. Sin embargo, se han registrado brotes duraderos en colonias de primates, los cuales actúan como hospederos ocasionales (Benenson, 1997; González y Bonilla, 1993).

### **Descripción de la enfermedad**

La shigelosis, también conocida como disentería bacilar, es causada por la bacteria del género *Shigella*. Es una infección bacteriana aguda que afecta el intestino grueso y la porción final del intestino delgado, se caracteriza por



diarrea acompañada de fiebre. En los casos típicos, las heces contienen sangre y moco (disentería), que es el resultado de la confluencia de micro abscesos causados por los microorganismos invasores; sin embargo en muchos casos se presenta la diarrea acuosa como cuadro inicial.

Las convulsiones pueden ser una complicación importante en los niños de corta edad. La bacteriemia es rara, y se dan casos leves y asintomáticos; la enfermedad suele ser de curso limitado y tener una duración de cuatro a siete días en promedio.

La gravedad de la infección y la tasa de letalidad depende del huésped (edad y estado de nutrición previo) y del serovar, *Shigella dysenteriae* 1 (bacilo de Shiga) suele ocasionar cuadros y complicaciones graves, que incluyen megacolon tóxico y síndrome urémico-hemolítico; las tasas de letalidad han llegado a 20% entre los casos hospitalizados. Por el contrario, muchas infecciones *Shigella sonnei* tienen una evolución clínica breve y una tasa de letalidad casi insignificante, excepto en los huéspedes inmunodeficientes. Algunas cepas de *Shigella flexneri* causan una artropatía reactiva (síndrome de Reiter) en personas predispuestas genéticamente.

El período de incubación es de doce a noventa y seis horas (comúnmente de uno a tres días) e incluso de una semana en el caso de *Shigella dysenteriae* (Benenson, 1997; Bopp, 1999; González y Bonilla, 1993; Grande, 1998).

### **Modo de transmisión**

La transmisión es principalmente por ruta fecal-oral directa o indirecta de un paciente o de un portador. La infección puede surgir después de ingerir muy pocos microorganismos (de 10 a 100). El no lavarse las manos después de defecar, puede diseminar la infección a otras personas por contacto físico directo, o de manera indirecta al contaminar los alimentos. Como resultado de la contaminación fecal directa puede ocurrir la transmisión por el agua y la

leche; las moscas transportan los microorganismos de letrinas a alimentos no refrigerados, donde los microorganismos sobreviven y se multiplican (Benenson, 1997).

## **Patogénesis**

Como algunas variedades de *Escherichia coli*, *Campylobacter* y *Yersinia*; *Shigella* spp lleva a cabo su patogenicidad por la invasión de la mucosa intestinal. Una vez que el individuo ingiere el microorganismo, este debe fijarse al intestino delgado (íleon o yeyuno) y multiplicarse; en esta etapa no se observa ningún fenómeno clínico y los síntomas solamente aparecen después de que la bacteria se traslada a través del epitelio, se multiplica formando cúmulos vacilares en el interior de la pared se presenta inflamación, la lesión progresa y desciende al colon dando lugar a fenómenos hemorrágicos, necrosis y a la formación de úlceras. La expresión del fenotipo virulento de *Shigella* spp está regulada por mecanismos complejos que involucran tanto a los genes cromosomales de la bacteria como a los genes extracromosomales, es decir, del plásmido invasor (Sansoneetti, 1992; Achí, 1994; Lindberg, 1991; Lindberg, 1993).

## **Distribución**

*Shigella* spp tiene una distribución mundial, se calcula que a este nivel, la shigelosis causa unas 60 000 defunciones al año, de las cuales las dos terceras partes de los casos se presentan en niños menores de diez años de edad. Pocas veces la enfermedad afecta a los niños menores de seis meses de edad.

Son comunes los brotes en hombres homosexuales, en condiciones de hacinamiento y en casos de higiene personal deficiente, como en cárceles, orfanatos, guarderías hospitales psiquiátricos y campamentos con gran hacinamiento. La shigelosis es endémica de los climas tropicales y templados;

los casos notificados representan sólo una pequeña proporción del total, incluso en las zonas desarrolladas.

Por lo general, en una comunidad está presente más de un serovar. Generalmente, gran parte de los microorganismos aislados en los países en desarrollo incluyen a: *Shigella flexneri*, *Shigella boydii* y *Shigella dysenteriae*. En cambio en los países desarrollados, *Shigella sonnei* es más común y *Shigella dysenteriae* menos común. En México la más frecuente es *Shigella flexneri*, seguida de *Shigella boydii*, *Shigella sonnei* y *Shigella dysenteriae*.

En todas las zonas del mundo han surgido cepas de *Shigella* spp. (Incluida *Shigella dysenteriae* 1) resistentes a múltiples antibióticos. La cepa encontrada en la epidemia de Centroamérica y México (1969 y 1970) tuvo peculiaridades de virulencia con cuadros agudos y graves y al mismo tiempo con resistencia a sulfonamidas, estreptomicina, tetraciclinas y cloranfenicol. En algunos casos también hubo resistencia a la ampicilina. La enfermedad se confundió fácilmente con disentería amibiana y fue indispensable el apoyo de laboratorio para su diferenciación (Benenson, 1997; González y Bonilla, 1993).

#### **4. Género *Salmonella***

El género *Salmonella* pertenece a la tribu Salmonelleae, de la familia Enterobacteriaceae. Los miembros del género *Salmonella* son bacilos gram-negativos, de 0.7 – 1.5 x 2.0 - 5µm, generalmente móviles por flagelos peritricos (excepto *S. gallinarum*), anaerobios facultativos, no esporulados.

Estudios de ADN mediante técnicas de hibridación mostraron que el género *Salmonella* está constituido por dos especies: *Salmonella enterica* y *Salmonella bongori*. *Salmonella entérica* está compuesta por 6 subespecies: *Salmonella entérica* subespecie *entérica*, *Salmonella entérica* subespecie *salamae*, *Salmonella entérica* subespecie *arizonae*, *Salmonella entérica* subespecie

*diarizonae*, *Salmonella entérica* subespecie *houtenae*, *Salmonella entérica* subespecie *indica* (Malbran, 2003).

A su vez las subespecies de *Salmonella entérica* y la especie *Salmonella bongori* se dividen en más de 2400 serovariedades, que están definidas en función de diferentes asociaciones de factores antigénicos somáticos O y flagelares H.

Los miembros del género se pueden clasificar en tres grupos:

- a) Los que no tienen preferencia por algún huésped en especial, por lo que infectan tanto al hombre como a los animales. En este grupo se encuentran la mayoría de las serovariedades responsables de la salmonelosis.
- b) Los que infectan solo al hombre: *S. typhi*, *S. paratyphi A* y *S. paratyphi C* y que se transmiten en forma directa ó indirecta de una persona a otra.
- c) Los que están adaptados a un huésped en especies animales: *S. abortusovis*, a los ovinos, *S. abortusequi*, a los equinos y *S. gallinarum*, a las aves (Malbran, 2003).

## **Reservorio**

Los miembros de género *Salmonella* están ampliamente distribuidos en la naturaleza, se les encuentra como comensales y como patógenos en el tracto gastrointestinal de mamíferos domésticos y salvajes, reptiles, aves e insectos, causando un amplio espectro de enfermedades en el hombre y en los animales (Malbran, 2003).

## **Descripción de la enfermedad y patogénesis**

Las fiebres entéricas las producen *S. typhi* y, en ocasiones *S. paratyphi*. Se conocen como fiebres tifoideas y paratifoideas, respectivamente. Las salmonelas, tras ser ingeridas, llegan al intestino delgado, atraviesan los linfáticos y alcanzan el torrente circulatorio. Desde ahí pasan a otros órganos.

Los microorganismos se multiplican en el tejido linfoide y se eliminan en heces. El periodo de incubación de la fiebre tifoidea es de 10-14 días, dependiendo del número de microorganismos ingeridos. Los síntomas son fiebre, bradicardia (es una anomalía en los latidos del corazón. En los adultos se define por un ritmo cardiaco de menos de 60 latidos por minuto), dolor de cabeza y malestar general.

La bacteriemia, sin síntomas intestinales se asocia a *S. cholerae-suis* y otras especies de salmonelas tras ser ingeridos los bacilos invaden el torrente sanguíneo, pudiendo colonizar otros órganos. El síndrome de bacteriemia por *Salmonella* es común en pacientes con sida. Los microorganismos son difíciles de erradicar de los tejidos y son frecuentes las recaídas.

La enterocolitis es la manifestación más común de una intoxicación por *Salmonella*. Entre las especies más frecuentemente aisladas esta *S. typhi murium*. A las 8-48 horas de haber ingerido un alimento contaminado, aparecen náuseas, vómitos y diarrea. El síndrome desaparece en 2-3 días sin necesidad de tratamiento. No hay bacterias en sangre; sin embargo, son abundantes en heces (Delgado *et al.*, 1994).

### **Modo de transmisión**

La salmonelosis es una enfermedad fundamentalmente de origen alimentario, la fuente más frecuente de infección son los alimentos contaminados. También puede ocurrir la transmisión de persona a persona o a través de agua contaminada (Malbran, 2003).

### **Distribución**

La Salmonelosis es una zoonosis de distribución mundial. La tasa de incidencia de la infección es mayor en los lactantes y en niños de corta edad. Epidemiológicamente las infecciones por *Salmonella* pueden causar pequeños

brotos en la población en general, sin embargo el 60 – 80 % de los casos son esporádicos; a veces se producen grandes brotes en los hospitales, jardines maternos, geriátricos, restaurantes.

A pesar de todos los controles que se han puesto en práctica, las infecciones por *Salmonella* debidas al consumo de alimentos contaminados continúa siendo un problema serio con millones de casos, que ocurren anualmente en todo el mundo, provocando grandes pérdidas económicas. En 1989, se estimó que solo en los Estados Unidos, el costo de la salmonelosis producidas por alimentos llegaba a la cifra de 3 990 000 000 dólares (Malbran, 2003).

*Salmonella enteritis causa* en la mayoría de los casos una enfermedad auto limitada pero en personas muy jóvenes, mayores o inmunodeprimidas puede alcanzar la gravedad suficiente como para precisar la hospitalización del paciente, volverse invasiva y causar la muerte. (Gein, 1997). Por otra parte su presentación en forma de brotes comunitarios en restauración colectiva a gran escala puede suponer un problema relevante tanto por la carga de enfermedad como por la trascendencia socioeconómica para el sistema sanitario y los afectados (Hernández, 2003).

## **5. Género *Escherichia coli***

*Escherichia coli* es el bacilo Gram negativo más abundante en las heces, siendo la causa más común de infecciones del tracto urinario y una de las más frecuentes de infecciones, tanto intestinales como extraintestinales. Algunas cepas se distinguen por su capacidad para causar diarrea grave, diferenciándose hasta ahora un total de cinco grupos (patotipos) que originan enfermedad gastrointestinal, desde un tipo de diarrea benigna, a un tipo de diarrea semejante al cólera: *E. coli* enterotoxigénico (ECET) produce enterotoxinas tipo colérico que son la causa de una diarrea profusa, acuosa; *E. coli* enteropatógeno (ECEP) es la causa principal de diarrea infantil; *E. coli* enteroinvasivo (ECEI), invade el epitelio intestinal y produce un tipo de

disentería similar a la que causa *Shigella* spp; *E. coli* enterohemorrágico (ECEH) constituye una subpoblación definida de *E. coli* productor de toxinas semejantes a la que produce *Shigella dysenteriae* tipo 1 (Shiga Like Toxins, SLT), también conocidas como verotoxinas, en razón de su afinidad citotóxica por las células Vero. Finalmente, *E. coli* enteroagregativo (ECEAgg), que constituye el grupo de *E. coli* diarreagénico más recientemente descrito. En la tabla 5, se resumen las propiedades de estas cepas de *E. coli* a las que todavía, habría que añadir un posible nuevo grupo, aún pendiente de ratificación (Rodríguez-Ferri, 2000).

Esta denominación es equivalente a las de *E. coli* verotoxigénico (ECVT) o a la de *E. coli* productor de Shiga-Like-Toxins (ECSLT), con las que se refiere descriptivamente la capacidad de producir toxinas para células Vero o semejantes a las de *Shigella dysenteriae*.

El grupo ECEH, se ha revelado en los últimos años como una causa frecuente de colitis hemorrágica en humanos, con calambres abdominales, y capacidad para evolucionar a formas todavía más graves, de pronóstico complicado, como el síndrome urémico hemolítico y la púrpura trombocitopénica. Aunque las toxinas responsables de este tipo de sucesos son producidas por más de 100 serotipos de *E. coli* (e incluso por cepas de géneros más distantemente relacionados, como *Citrobacter freundii*), muchos de los cuales no se han implicado en enfermedad, el serotipo O157:H7 es, con mucho, el patógeno predominante del grupo y el que se asocia con más frecuencia con infecciones humanas en todo el mundo (Rodríguez-Ferri, 2000).

**Tabla 5.** Propiedades de las cepas de *E. coli* que causan infecciones entéricas

CEPA	MECANISMO PATOGENICO	INFECCIONES ENTÉRICAS	PRESENTACIONES CLÍNICAS COMUNES	GRUPO COMÚN DE EDAD	FACTORES DE RIESGO
ECET	Enteritis por liberación de enterotoxinas. Termoestable (ST) y termolábil (LT).	Diarrea, diarrea de los viajeros	Diarrea acuosa profusa; calambres, nauseas, deshidratación	Adultos, niños	Viajes al extranjero
ECEP	Factor de adherencia; ataque y lesión en el epitelio intestinal	Diarrea aguda	Diarrea acuosa, fiebre, vómitos, mucus en las heces	Niños de menos de dos años; adultos	Edad inferior a dos años
ECEI	Invasión y destrucción del	Disentería similar a la disentería	Disentería, constipación, sangre, mucus y leucocitos en heces; fiebre, calambres	Adultos	Viajes al extranjero

	epitelio de la mucosa intestinal	por Shigella			
ECEH	toxinas tipo Shiga	Diarrea; colitis hemorrágica	Diarrea (no leucocitos); calambres abdominales; sangre en heces, fiebre, síndrome urémico hemolítico y púrpura.	Niños	Consumo de carne poco cocida.
ECEAgg	Ignorado	Diarreas crónicas y agudas	Diarrea acuosa, vómitos	Todas las edades	Desconocido

Rodríguez-Ferri, 2000.

## Reservorio

El ganado vacuno constituye el reservorio de ECEH. Los humanos pueden también servir como reservorio para la transmisión persona a persona, sobre todo en establecimientos con alto grado de hacinamiento (Villegas, 2005).

## Descripción de la enfermedad

El síndrome hemolítico urémico (SHU) es un trastorno multisistémico caracterizado por anemia hemolítica, insuficiencia renal aguda y trombocitopenia. En su forma clásica suele aparecer tras una enteritis aguda, a menudo por cepas de *Escherichia coli* productoras de toxina Shiga. En Estados Unidos, la causa más frecuente de SHU es la infección entérica por *E. coli*, serotipo O157:H7. Esta complicación grave, que ocurre sobre todo en niños, tiene una mortalidad del 3 al 5% y es la causa más frecuente de insuficiencia renal aguda en los niños de ese país. Entre sus posibles factores de riesgo, el más controvertido es el tratamiento de la enteritis aguda por *E. coli* O157:H7 con antibióticos, pues los estudios acerca de esta cuestión han incluido pequeñas muestras de pacientes, han utilizado diferentes regímenes de antibioticoterapia y han proporcionado resultados contradictorios. Este meta análisis trata de determinar si la antibioticoterapia aumenta el riesgo de SHU en pacientes con enteritis por *E. coli* O157:H7 (Rev Panam Salud Pública, 2002).

## Modo de transmisión

Por ingestión de alimentos contaminados, principalmente por carne de res no bien cocinada y por leche cruda. La carne molida es un buen vehículo cuando



no tiene manipulación adecuada y se ingiere sin tener buen grado de cocción. La transmisión por contacto directo se ha observado en lugares de hacinamiento. Un brote fue relacionado con la ingestión de agua e inmersión en un lago contaminado donde concurrían muchas personas. En otro caso, el brote estuvo asociado a aguas de un servicio municipal sin desinfección (Villegas, 2005).

### **Patogénesis**

Los *E.coli* ECEP/ECEH colonizan la mucosa del intestino delgado y grueso, y producen la lesión A/E característica. Experimentalmente ha podido comprobarse que *E. coli* 0157:H7 coloniza el íleon terminal y el ciego y el colon, produciéndose lesiones A/E, que son determinantes de la diarrea. En la patogénesis de la lesión principal, que termina con la necrosis del epitelio, rotura de los vasos sanguíneos y salida de sangre a la luz intestinal, participan directamente toxinas SLT (Rodríguez-Ferri, 2000).

### **Distribución**

Se han descrito brotes en Asia, Sudáfrica, Australia, Europa, y en Las Américas (Estados Unidos, Canadá, Países del Cono Sur de Sudamérica, así como casos aislados en otros países latinoamericanos). En Costa Rica, en febrero-marzo 1996, el Hospital Nacional de Niños informó de cuatro casos de síndrome hemolítico urémico, en menores de dos años de edad, con antecedentes de ingestión de carne de pollo, hamburguesas y tortas de carne. Se aisló ***E. coli* O157:H7**. Los pacientes no tenían vinculación entre si y residían en comunidades alejadas unas de otras. No se ha registrado otros casos. El CDC estima que en EUA se presentan cada año de 10.000 a 20.000 casos de diarreas por este agente. En Japón, desde finales de mayo, en Hiroshima y Oakayama, y más recientemente en Sakay cerca de Osaka, se han presentado más de 5.000 casos con 6 defunciones por ***E.coli* O157:H7** (Villegas, 2005).

## **6. Otros géneros**

### **6.1 *Klebsiella pneumoniae***

Es potencialmente patógena se encuentra en las vías respiratorias y el excremento de 5 % de individuos normales, *Klebsiella pneumoniae* puede producir consolidación necrosante hemorrágica extensa del pulmón. Es posible encontrarlas en las aguas de desecho, en plantas de tratamiento de agua residual suele ser un problema por su transportación a través de los aerosoles (Jawetz *et al.*, 1992).

### **6.2 *Citrobacter freundii***

Es una especie bacteriana patógena oportunista que puede producir infección de vías urinarias y sepsis (Mitchell, 1992).

### **6.3 *Morganella morganii***

El género *Morganella*, pertenece a la familia Enterobacteriaceae y hasta el momento, presenta una sola especie: *morganii*. Inicialmente, *Morganella morganii* recibió el nombre de *Proteus morganii*, pero por estudios genéticos, se le excluyó del género *Proteus* y se creó el género *Morganella* (Farmer, 1995).

*M. morganii*, es causa conocida de infecciones del tracto urinario y fuera del tracto urinario, puede producir diversos tipos de infecciones (Carmona, *et al.*, 1992; Euzéby, 2006; Farmer, 1995; Gilchrist, 1995; Karger y Basel, 1995; Koneman, *et al.*, 1988; Mahon y Manuselis G, 2000; *Morganella morganii*, 2006; Murray, *et al.*, 1997; Salen y Eppes, 1997; Moya, *et al.*, 2001). Por otra parte, se le ha relacionado como un patógeno entérico, sin embargo aquí, su papel etiológico es dudoso (Euzéby, 2006; Farmer, 1995; Moya, *et al.*, 2001).

Este agente, rara vez es causa de infecciones invasivas en personas inmunocompetentes, pero sí puede ser una causa probable de infecciones nosocomiales en personas inmunocomprometidas (Gilchrist, 1995)

#### **6.4 *Pseudomonas aeruginosa***

El género *Pseudomonas* pertenece a la familia de los Pseudomonadaceae que incluyen 29 especies. Son microorganismos adaptables con una amplia distribución en el ambiente (agua, suelo, plantas, insectos y aguas residuales) y en hospitales (Soto *et al.*, 2006).

#### **6.5 *Enterobacter cloacae***

No produce infecciones de carácter primario, pero sí es la responsable de infecciones intrahospitalarias. Causa infecciones urinarias en pacientes con sonda permanente y es altamente contagiosa en las diferentes manipulaciones que realiza el personal sanitario.

#### **6.6 *Aeromonas hydrophila***

*Aeromona hydrophila* es ubicuo, Gram negativo aerobio y anaerobio facultativo, forma parte de la familia Vibrionaceae (Murray *et al.*, 1999). Es considerado como un microorganismo de ambiente acuático (Rippey y Cabelli, 1979). Es un patógeno oportunista que se asocia a infecciones en heridas, gastroenteritis, infecciones en el tracto urinario, septicemias, diarrea del viajero, endocarditis, neumonía, peritonitis y conjuntivitis. El agua de consumo representa una fuente importante para la transmisión de este microorganismo (Handfield *et al.*, 1996). La infección desarrollada en humanos debe ser una ingesta suficiente de microorganismos presentes en agua o alimentos. Estudios realizados muestran que en individuos sanos se requieren dosis de  $10^{10}$  y  $10^{11}$  UFC para desarrollar una infección diarreica. Rusin *et al.*, (1997) y Burke *et al.*, (1984) sugieren que existe una relación entre los casos de diarrea asociados al género *Aeromonas* y la cantidad de este microorganismo en el agua de consumo, pudiendo ser una fuente de contaminación.

#### **6.7 *Aeromonas spp.***

Puede sobrevivir a los estándares de cloración y además posee la capacidad de recolonizar la red del sistema de distribución de agua después del proceso de

cloración. En evaluaciones de rutina de la calidad microbiológica del agua, se obtuvieron muestras positivas de *Aeromonas hydrophila* en un 25% (Clark *et al.*, 1982).

## **7. Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal**

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son pocos y difíciles de aislar, se han buscado bacterias o grupos de bacterias que puedan utilizarse como indicadores de la presencia de las bacterias patógenas, esto es, indicadores de contaminación fecal (Gloyna, 1973; SARH, 1984; ASTM, 1992; Robles, 1994).

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos cuya presencia indica que ha ocurrido contaminación reciente del agua por organismos procedentes de los desechos de animales de sangre caliente, incluyendo al hombre (SARH, 1984; Robles, 1994).

Para que una bacteria o grupo de bacterias pueda considerarse como indicador, debe reunir las características siguientes:

1. Debe estar presente siempre que estén los patógenos
2. Su densidad debe estar asociada con la contaminación fecal
3. Debe sobrevivir en el agua más tiempo que los patógenos, pero su desaparición debe ser inmediatamente posterior a la de aquellos
4. No debe multiplicarse en el agua
5. Debe estar ausente en aguas bacteriológicamente potables
6. No debe ser patógena para el hombre ni animales domésticos
7. Las técnicas para su análisis deben ser sencillas, rápidas, aplicables en cualquier tipo de agua, y no deben presentarse interferencias con otras bacterias.

El grupo coliforme es uno de los grupos que más se acerca a un indicador ideal debido a que es habitante común en el tracto intestinal tanto de los humanos como de los animales de sangre caliente ya que existen ahí en gran número (Brock, 1978). Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (SARH, 1984).

Las heces de una persona "normal" contiene bacterias entéricas en una concentración aproximada de  $10^{11}$  bacterias por gramo, los que puede constituir hasta la tercera parte de su masa; de ellas aproximadamente  $10^8$  están representadas por *Escherichia coli* (Rosas *et al.*, 1994). La presencia de estos organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua se haya exenta de organismos productores de enfermedades (SARH, 1984).

Los grupos indicadores de la calidad bacteriológica del agua que se usan en pruebas de rutina son:

- Coliformes totales (CT)
- Coliformes fecales (CF)
- Estreptococos fecales (EF) (ASTM, 1992).

### **Coliformes totales (CT)**

Este grupo comprende tanto los coliformes fecales como los no fecales, son bacilos cortos, aerobios y anaerobios facultativos, gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas, en 24-48 horas a 35°C. Los géneros comprendidos son: *Escherichia*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (ASTM, 1992; Gloyna, 1973; Brock, 1978).

## **Coliformes Fecales (CF)**

Son bacilos cortos, gram-negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas en 24-48 horas a 35 y a 44.5°C (ASTM, 1992). La contaminación fecal se establece por medio del hallazgo de un microorganismo que se encuentra solo en el excremento, nunca en forma libre en la naturaleza, este organismo es *Escherichia coli* (Volk, 1996).

Puesto que *E. coli* está presente en grandes cantidades en las heces fecales del hombre y de algunos animales de sangre caliente, es considerado un indicador fiable de contaminación fecal reciente en el agua (P.I.S.Ch., 2002).

## **Estreptococos fecales (EF)**

Formado por un solo género: *Streptococcus*, con cinco especies: *S. feacalis*, *S. faecium*, *S. bovis*, *S. equinus*, *S. avium*. Que son habitantes exclusivos del tracto intestinal. Son cocos gram-positivos que se agrupan en cadenas cortas o pares, que crecen en presencia de 7.5 % de NaCl, 0.05% de NaN<sub>3</sub> y 40% de sales biliares, a 35°C (ASTM, 1992).

La aplicación de los índices bacteriológicos de contaminación pueden ser para:

- a) Determinar la calidad bacteriológica del agua dependiendo su uso
- b) Evaluar la eficiencia en los procesos en plantas de tratamiento de aguas de desecho (O. M. S., 1998).
- c) Determinar fuentes de contaminación

El estudio de estas bacterias es de gran utilidad por que su densidad generalmente es proporcional a la cantidad de contaminación fecal presente (Romero y Rodríguez, 1982).

## **8. Parámetros fisicoquímicos**

### **8.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica en un intervalo de 5 días (SARH, 1978; Dixon, 1980 y Jiménez, 2002 Robles *et al.*, 2004).

Un alto valor de la DBO puede indicar un incremento en la microflora presente e interferir en el incremento de la vida acuática y producir una cantidad excesiva de algas, además de olores y sabores desagradables; incluso tapan los filtros de arena utilizados en las plantas de tratamiento (SARH, 1978; Robles *et al.*, 2004).

### **8.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Determina la cantidad de oxígeno necesario para oxidar a la materia orgánica de un desecho por medio de un agente oxidante bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en bióxido de carbono y agua (Robles *et al.*, 2004).

### **8.3 Conductividad Eléctrica**

La conductividad eléctrica del agua se refiere a la mayor o menor resistencia del agua a permitir el paso de la electricidad. El agua en estado puro no presenta carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica que presenta. Por tanto, para que su conductividad aumente será preciso que haya compuestos disueltos en el agua y disociados en sus iones. Una medida de conductividad de agua nos dará por tanto una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes (Seoanez y Gutierrez, 1999; Cortes, 2004).

## **8.4 Materiales sólidos**

En múltiples ocasiones el agua actúa como transporte de los materiales con que se encuentra a su paso. Este transporte puede llevarse a cabo de distintas formas, en función de la naturaleza de las sustancias transportadas. En primer lugar están las materias ionizables, que en contacto con el agua se disuelven, y en esa forma son transportadas. Otro tipo de materiales son aquellos que si no pasan a fase disuelta, se presentan finalmente divididas, y son transportados en suspensiones en el seno de la corriente de agua. Por último, están los materiales insolubles que presentan un tamaño excesivamente grande para poder ser suspendidos en el agua, y que son depositadas en el fondo convirtiéndose en sólidos sedimentables (Seoanez y Gutierrez, 1999; Cortes, 2004).

## **8.5 pH**

El pH es un parámetro que nos indica la concentración de protones (iones hidrogeno  $H^+$ ) presentes en una disolución acuosa. La escala de pH puede tomar valores de 0 a 14, siendo el punto  $pH=7$  el correspondiente a una disolución neutra, esto es, sin carácter ácido ni alcalino (Seoanez y Gutierrez, 1999).

## **8.6 Temperatura**

La temperatura a que se encuentre un agua es un factor clave ya que puede afectar el crecimiento de organismos entre otros factores (Seoanez y Gutierrez, 1999).

## **8.7 Oxígeno Disuelto**

Es el gas más importante, que va siendo consumido por la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto depende de muchos factores como la



temperatura, altitud, movimientos del cuerpo receptor, actividad biológica, actividad química, etc. (Seoanez y Gutierrez, 1999).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

La escasez de agua que enfrenta la humanidad en la actualidad, ha provocado que se busquen diferentes alternativas para solucionar el desabasto del vital líquido. Una de las soluciones a este problema es el reuso del agua residual mediante su tratamiento previo (Jiménez, 2002).

Entre los sistemas que tradicionalmente se han utilizado para tratar el agua residual, están los lodos activados, los filtros percoladores y los biodiscos; algunos de ellos se han utilizado con más énfasis, pero los tres coinciden en que son sistemas biológicos, es decir, que basan su funcionamiento en la acción de los microorganismos para desdoblar la materia orgánica que está contaminando el agua (Ramírez, 1998; Jiménez, 2002).

Cuando las aguas residuales de tipo doméstico son lanzadas a los ríos o cuerpos de agua sin ningún tratamiento o desinfección suelen contaminarlos con altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos, creando un grave problema de salud pública.

La mayoría de las industrias producen descargas de desechos líquidos que tienen demandas bioquímicas de oxígeno ( $DBO_5$ ) muy altas pero concentraciones de coliformes fecales menores que las de las aguas residuales domésticas, pudiéndose decir que los desechos industriales constituyen un gran problema ecológico y los desechos domésticos un gran problema de salud pública aunque ambos coadyuven en el deterioro general de la calidad del agua (Saenz, 1993).

El reuso del agua como una solución es muy valiosa pero se tiene que tener cuidado de que el agua tratada no contenga bacterias patógenas que puedan

poner en peligro la salud humana, especialmente cuando es reutilizada en el riego de hortalizas de consumo crudo (Jiménez, 2002).

Por otro lado, el uso de las aguas residuales para riego de plantas debe permitir además el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en las mismas para disminuir los gastos en el consumo de fertilizantes químicos (Sandoval y Collí, s/a.). Por las razones expuestas anteriormente es importante conocer la remoción de bacterias patógenas como *Salmonella* spp. y *Shigella* spp. en el tratamiento de aguas residuales.

## IV. OBJETIVOS

### Objetivo general

- Comparar bacteriológicamente tres sistemas de tratamiento biológico (Lodos activados, Filtros percoladores y Biodiscos) ubicados en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria.

### Objetivos particulares

- Determinar la presencia de *Salmonella* spp y *Shigella* spp.
- Determinar los indicadores bacteriológicos: Coliformes fecales y Coliformes totales.
- Determinar “*in situ*” el pH, Temperatura y oxígeno disuelto.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos: DBO<sub>5</sub>, DQO, conductividad y sólidos sedimentables y suspendidos.
- Comparar los parámetros microbiológicos de los tres sistemas de tratamiento estudiados.
- Relacionar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para cada sistema.
- Comparar la eficiencia de cada sistema, para eliminar las bacterias patógenas y a los indicadores de contaminación.

## V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en la Ciudad de México, ocupa una superficie de 400 hectáreas en donde existe una reserva ecológica de 115 hectáreas que protege el ecosistema del sur del valle de México. La UNAM cuenta con aproximadamente 220,000 estudiantes, en donde alrededor del 80% asisten a las instalaciones de la Ciudad Universitaria (CU). Tal magnitud de población flotante demanda 160 L/s de agua potable provenientes de tres pozos localizados en la misma CU y genera aproximadamente 110 L/s de aguas residuales.

De este caudal, 70 L/s son captados por la red de drenaje original, la cual abastece la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de CU (PTARCU), que cuenta con una capacidad para tratar 40 L/s; el resto del caudal captado es descargado en la red de drenaje municipal de la ciudad. Como parte de la tercera etapa del Plan Básico de Saneamiento para la Ciudad Universitaria de la UNAM, cuyo objetivo es eliminar las descargas directas de aguas residuales al subsuelo, se construyó la infraestructura para la recolección, almacenamiento y conducción de las aguas residuales generadas en la zona científica, conocida como "GEOS", hasta la PTARCU y el control de los olores producidos durante su almacenamiento diurno.

El sistema, en operación desde 2004, recolecta y almacena el agua residual generada durante el día en la zona de los GEOS, para después bombearla durante la noche a la PTARCU, tiempo en que esta planta recibe muy poco caudal, debido a que no hay actividades nocturnas en CU. Con ello se aprovecha plenamente su capacidad instalada, se mejora la estabilidad del proceso de tratamiento y se evita la construcción de una nueva planta de tratamiento para esta zona (Noyola, 2004) (Figura 5).



Área donde se localiza la PTARCU

Fuente: Noyola, 2004.

Figura 5. Mapa del área de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria

## VI. METODOLOGÍA.

La metodología en el presente trabajo constó de dos fases:

### **Fase de campo:**

En esta fase se realizó mensualmente un monitoreo durante 9 meses (febrero a noviembre del 2005), en el efluente (salida) de los tres sistemas de tratamiento biológico: lodos activados, filtros percoladores y biodiscos, así como el influente que suministra a los tres sistemas de tratamiento y que es el mismo para los tres, en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria. Se colectaron un total de 20 muestras de agua de desecho de los efluentes de los 3 sistemas y 9 muestras del influente. Además se realizaron mediciones de algunos parámetros físicos y químicos *in situ como* temperatura, pH y oxígeno disuelto (ver técnicas usadas, tabla 6).

**Tabla 6.** Técnicas empleadas *in situ* (APHA, 1995)

<b>Parámetro</b>	<b>Técnicas</b>
Temperatura	Instrumento (equipo YSI modelo SIB SN 94E18570)
pH	Potenciométrica (potenciómetro modelo pH 10)
Oxígeno disuelto	Medidor de oxígeno (equipo YSI modelo SIB SN 94E18570)

Se tomaron las muestras para las determinaciones bacteriológicas en frascos estériles y se transportaron en hielo al laboratorio para su inmediato análisis; para la materia orgánica se tomaron muestras en botellas de plástico de un litro y se transportaron en hielo al laboratorio inmediatamente.

### **Fase de laboratorio.**

**Parámetros fisicoquímicos:** para los fisicoquímicos se efectuaron 250 análisis (Ver técnicas utilizadas tabla 7). Todos los análisis se hicieron de

acuerdo a las normas Mexicanas y a los métodos estandarizados de la APHA, 1995.

**Tabla 7.** Técnicas empleadas en el laboratorio (APHA, 1995)

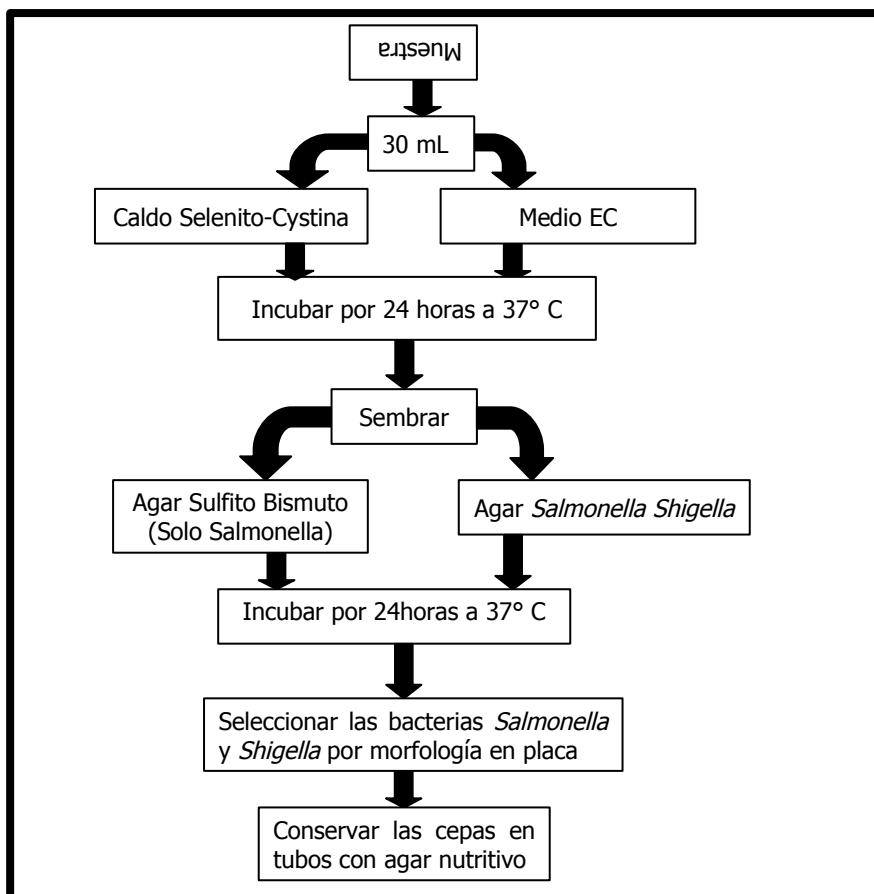
Pruebas Químicas	Técnicas
DBO <sub>5</sub>	Dilución
DQO	Reflujo
Conductividad	Conductímetro
Sólidos sedimentables	Cono Imhof
Sólidos suspendidos	Gravimétrico

### Parámetros bacteriológicos

Se realizaron 50 análisis para detectar las bacterias *Salmonella* y *Shigella* (Ver Diagramas 1 y ANEXO) y 50 análisis para Coliformes totales y Coliformes fecales de acuerdo a la técnica de NMP APHA, 1995 (ver Diagrama 2).

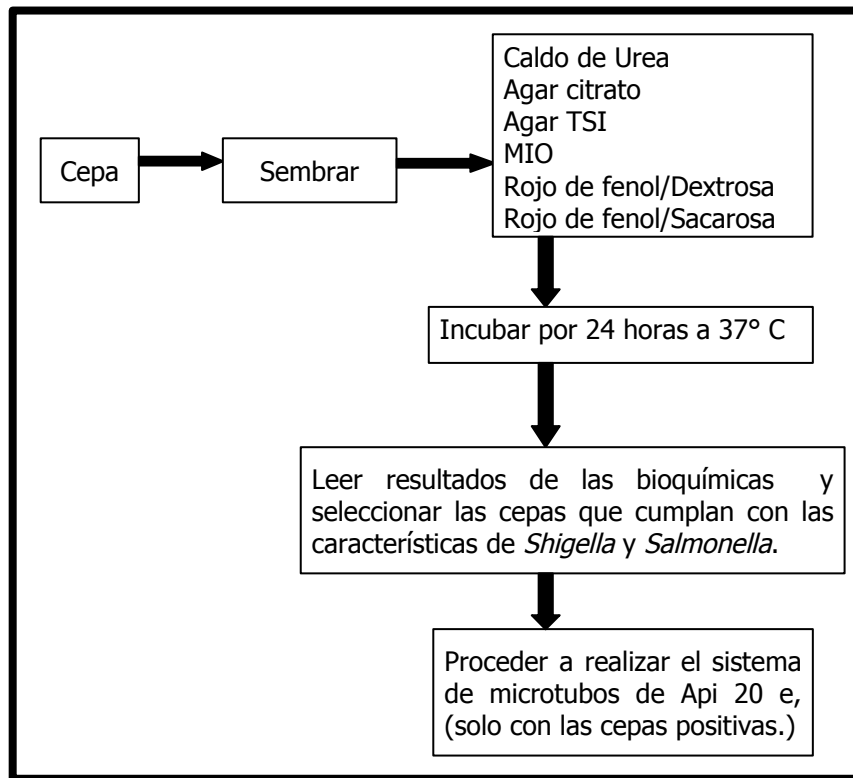
### Diagrama 1. Determinación de *Salmonella* y *Shigella*

#### PARTE I. Aislamiento de las bacterias:

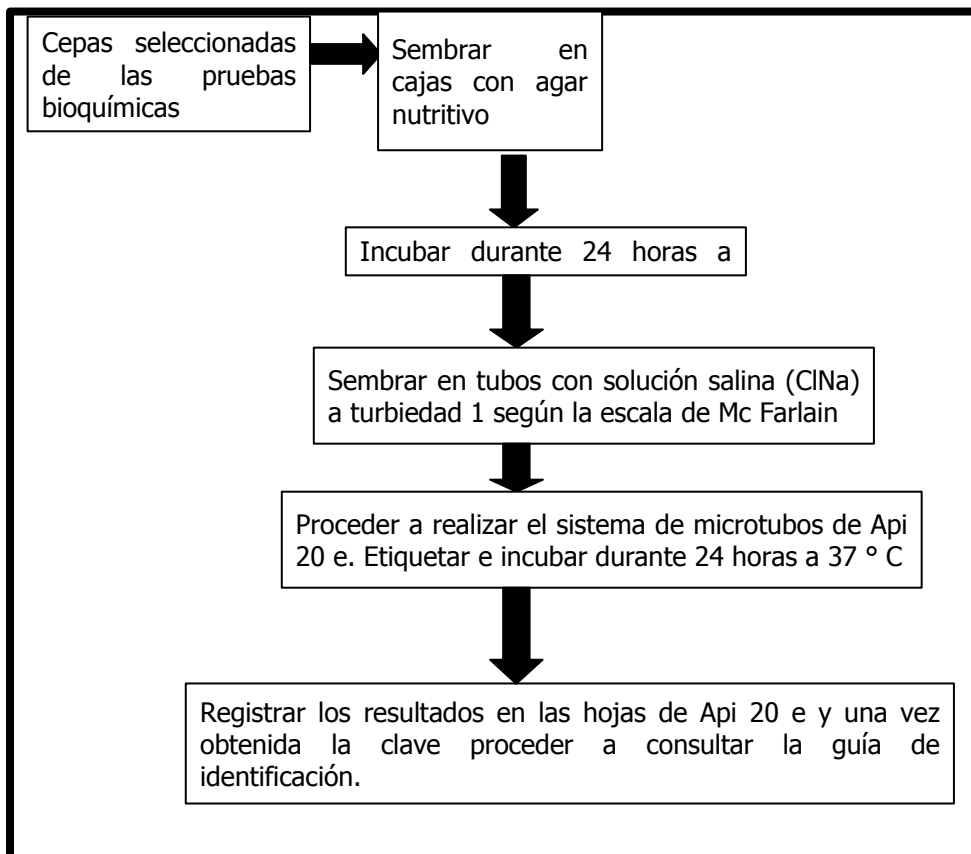




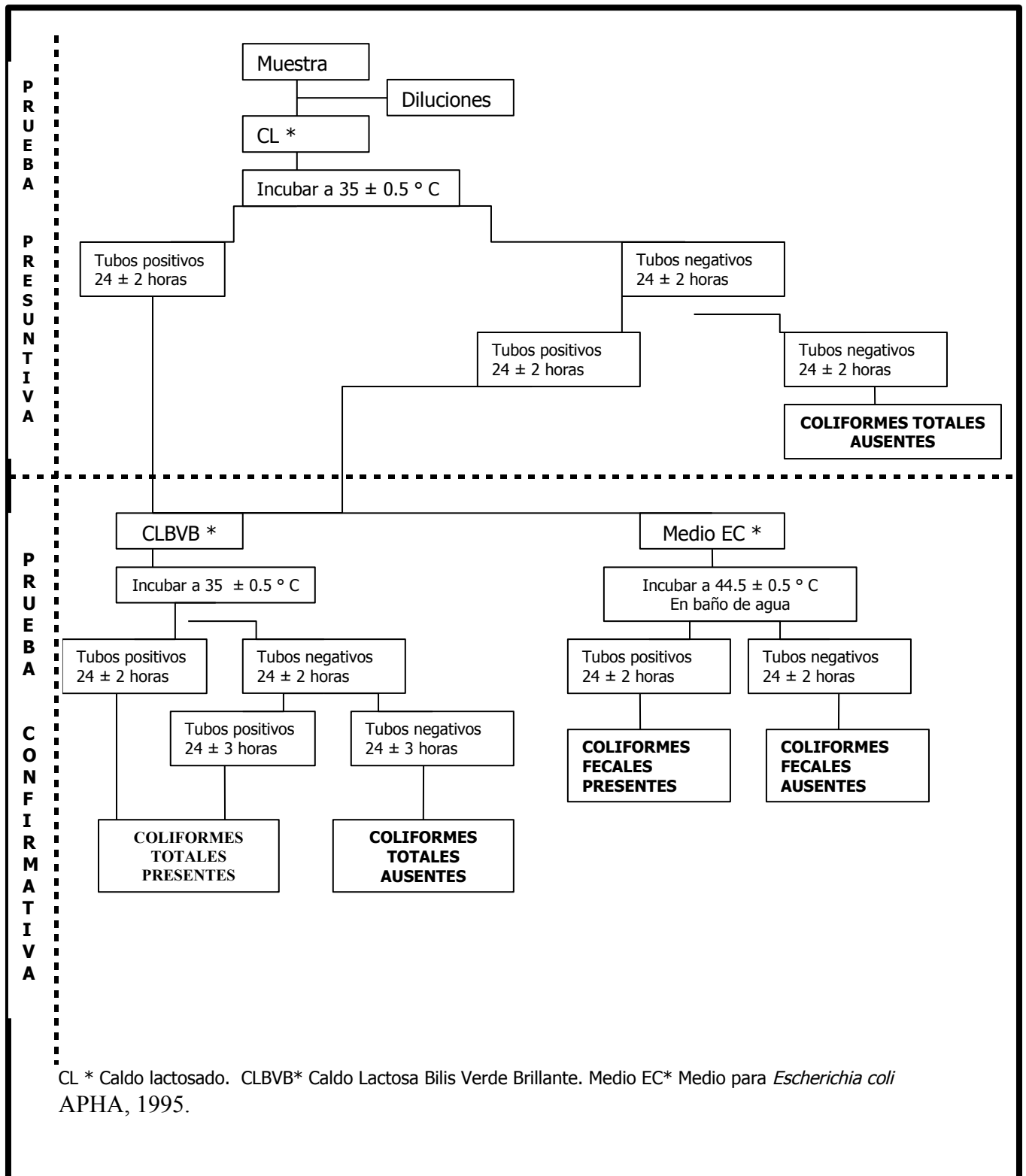
PARTE II. **Pruebas Bioquímicas:**



PARTE III. **Sistema de microtubos de Api 20 e:**



**Diagrama 2. Determinación de Coliformes totales y Coliformes fecales**



## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 9 muestreos realizados hubo problemas con los efluentes de los sistemas de biodiscos y filtros percoladores ya que por mantenimiento o causas ajenas a nosotros estuvieron parados en varias ocasiones, así tuvimos que el efluente del sistema de biodiscos solo se pudo muestrear en 4 fechas de las 9 programadas y filtros percoladores en 7 de 9, solamente el sistema de lodos activados siempre estuvo funcionando.

### 1. **Bacterias Indicadoras: Coliformes totales (CT) y Coliformes fecales (CF)**

#### **Entrada (influyente):**

Los valores obtenidos en la entrada (influyente) que suministra cada uno de dichos sistemas y que es el mismo para los tres se presentan en la tabla 8.

La entrada presentó un valor máximo de  $2.4 \times 10^{24}$  NMP/100mL tanto para CT como para CF en el mes de febrero, y un valor mínimo de  $1.7 \times 10^7$  NMP/100mL en el mes de junio para CT y de  $1.2 \times 10^4$  NMP/100mL para CF en el mes de agosto.

En general la entrada presentó solo en el mes de febrero una concentración muy alta, debida quizás a un incremento en el flujo durante ese mes, sin embargo en todos los demás meses los valores se encontraron en la escala  $10^7$  y  $10^8$  NMP/100mL para CT y de  $10^4$  y  $10^7$  NMP/100mL para CF.

Con los resultados de los CT y CF se calcularon sus medias geométricas obteniendo un valor de  $3.2 \times 10^9$  y  $6.9 \times 10^7$  NMP/100mL respectivamente.

## **Análisis de los CT Y CF del efluente del sistema Lodos Activados contra el influente:**

Los valores del sistema de lodos activados se presentan en la tabla 8.

En el efluente del sistema de lodos activados los Coliformes totales presentaron una media geométrica de  $5.17 \times 10^7$  NMP/100mL y los Coliformes fecales de  $1.63 \times 10^6$  NMP/100mL. Así mismo el valor más alto a excepción del mes de febrero, fue de  $1 \times 10^7$  para CT en el mes de marzo y de  $1 \times 10^6$  para CF en los meses de marzo y abril. Los valores mas bajos fueron de  $1.3 \times 10^5$  para CT en el mes de junio y de  $9 \times 10^2$  para CF en agosto (Tabla 8).

Para calcular los porcentajes de remoción, los valores obtenidos de CT y CF se transformaron a logaritmos (base 10) y con estos se calcularon los porcentajes de remoción mensual y después la media anual (tabla 9). En general, los porcentajes de remoción fueron bajos (menos del 50%). Así tenemos que en este sistema de lodos activados el valor máximo de remoción fue de 36.9 % para CT en el mes de junio y de 40.9 % para CF en el mes de mayo y su menor remoción en el mes de agosto con el 11.36 % para CT y de 8.6 % para CF en el mes de julio (figuras. 6 y7).

El promedio de remoción de CT fue de 19.34 % y de CF 21.47 % (Tabla 9, figs. 8 y 9). Los valores obtenidos no coinciden con lo reportado por Mujeriego, 1990; Sierra, J. y Peñaleur, 1989; que reportan que el sistema de Lodos activados presenta remociones de coliformes de un 90 a un 98 %.

Sin embargo en escalas logarítmicas el sistema de lodos removió de 1 a 4 escalas tanto para CT como CF, coincidiendo un poco con lo reportado por BRAIN (Biorreactores Integrados S.A. de C.V.) 2001 quienes reportan remociones de 1 a 2 escalas logarítmicas de Coliformes fecales para este sistema.

### **Análisis de los CT y CF del efluente del sistema de Biodiscos contra el influente:**

Los valores del sistema de Biodiscos se presentan en la tabla 8.

En el sistema de Biodiscos los valores mas altos fueron de  $1.3 \times 10^6$  para CT en junio y de  $8 \times 10^4$  para CF también en junio. Los valores mas bajos fueron de  $4.6 \times 10^3$  para CT en noviembre y de  $1.4 \times 10^3$  para CF en noviembre. La media geométrica fue de  $2.56 \times 10^5$  NMP/100mL para CT y  $1.16 \times 10^4$  NMP/100mL para CF.

El sistema de Biodiscos presento un valor máximo de remoción para CT en el mes de noviembre de 52.43 %, mientras que para CF fue de 27.96 % en el mes de octubre. La menor remoción para CT fue en el mes de octubre con el 17.65 % y para CF fue en julio con el 13.19 % (figs. 6 y 7).

El promedio de remoción anual de CT fue de 29.09 % y de CF 21.85 % (tabla 9, figuras 8 y 9). Estos valores no coinciden con lo reportado por Mujeriego, 1990; Sierra y Peñaleur, 1989; quienes reportan que el sistema de Biodiscos presenta una remoción de coliformes de 85 %. En escalas logarítmicas el sistema de biodiscos removió de 2 a 4 escalas para CT y de 1 a 2 para CF.

### **Análisis de los CT y CF del efluente del sistema Filtro Percolador contra el influente:**

Los valores del sistema de Filtro percolador se presentan en la tabla 8.

En el sistema de Filtros percoladores con excepción del primer mes que presentó una concentración de  $10^{20}$ , el valor mas alto fue de  $4.2 \times 10^7$  para los CT en el mes de mayo y de  $1 \times 10^6$  para CF en los meses de abril y marzo. El valor mas bajo fue de  $3.5 \times 10^5$  para CT en octubre y de  $1.7 \times 10^3$  para CF en noviembre. La media geométrica fue de  $2.59 \times 10^9$  para CT y  $6.13 \times 10^6$  para CF.

El valor máximo de remoción para CT fue en noviembre (26.4 %) y para CF fue en julio (37.7 %). El valor mínimo para CT fue en mayo con el 0% y para CF en marzo con 14.29 % (figuras 6 y 7).

El sistema de Filtros Percoladores presento un promedio de remoción de CT del 15.74 % y de CF de 23.13 % (tabla 9, figuras 8 y 9). Estos valores no concuerdan con lo reportado por Mujeriego, 1990; Sierra, J. y Peñaleur, 1989; quienes reportan que el Filtro Percolador presenta una remoción de coliformes de 95 %. En escalas logarítmicas los CT presentaron una remoción de 0 a 4 y para CF de de 1 a 4 escalas.

**Tabla 8.** Resultados de los análisis de Coliformes totales y Coliformes fecales

Mes	Sistema	CT NMP/100 mL	CF NMP/100 mL
Febrero	Entrada	2.40E+24	2.40E+24
	LA	2.40E+20	2.40E+20
	B	x	X
	FP	2.40E+20	2.40E+20
Marzo	Entrada	1.00E+08	1.00E+07
	LA	1.00E+07	1.00E+06
	B	X	x
	FP	1.00E+07	1.00E+06
Abril	Entrada	3.30E+07	1.30E+07
	LA	2.00E+06	1.00E+06
	B	x	X
	FP	2.00E+06	1.00E+06
Mayo	Entrada	1.70E+07	6.00E+06
	LA	7.00E+05	1.00E+04
	B	X	x
	FP	4.20E+07	1.00E+05
Junio	Entrada	1.30E+08	1.50E+06
	LA	1.30E+05	3.00E+04
	B	1.30E+06	8.00E+04
	FP	x	X
Julio	Entrada	3.40E+07	2.00E+05
	LA	9.00E+05	7.00E+04
	B	8.00E+05	4.00E+04
	FP	2.40E+06	2.00E+03
Agosto	Entrada	7.00E+07	1.20E+04
	LA	9.00E+06	9.00E+02
	B	x	x
	FP	x	x
Septiembre	Entrada	x	x
	LA	x	x
	B	x	x
	FP	x	x
Octubre	Entrada	1.70E+07	1.00E+05
	LA	1.60E+06	6.00E+03
	B	9.00E+05	4.00E+03
	FP	3.50E+05	4.00E+03
Noviembre	Entrada	5.00E+07	1.70E+04
	LA	4.70E+05	3.00E+03
	B	4.60E+03	1.40E+03
	FP	4.60E+05	1.70E+03
X No hubo muestra del efluente			

**Tabla 9.** Porcentajes de remoción bacteriana de los tres sistemas

	<b>Lodos Activados</b>		<b>Biodiscos</b>		<b>Filtros percoladores</b>	
<b>Mes</b>	<b>CT NMP/100 ml</b>	<b>CF NMP/100 ml</b>	<b>CT NMP/100 ml</b>	<b>CF NMP/100 ml</b>	<b>CT NMP/100 ml</b>	<b>CF NMP/100 ml</b>
Febrero	16.41	16.41	X	X	16.41	16.41
Marzo	12.5	14.29	X	X	12.5	14.29
Abril	16.19	15.66	X	X	16.19	15.66
Mayo	19.16	40.99	X	X	0	26.23
Junio	36.97	27.51	24.65	20.61	X	X
Julio	20.94	8.6	21.62	13.19	15.29	37.73
Agosto	11.36	27.58	X	X	X	X
septiembre	X	X	X	X	X	X
Octubre	14.19	24.44	17.65	27.96	23.32	27.96
Noviembre	26.32	17.81	52.43	25.63	26.45	23.64
Promedio	19.34	21.47	29.09	21.85	15.74	23.13
Desv. estándar	8.05	9.71	15.82	6.54	8.48	8.42
Coeficiente de var.	0.416	0.4519	0.544	0.299	0.538	0.3641
Mínimo	11.36	8.6	17.65	13.19	0	14.29
Máxima	36.97	40.99	52.43	27.96	26.45	37.73
Contar	9	9	4	4	7	7
X No hubo muestra del efluente						



## Comparación de los CT y CF entre los efluentes de los tres sistemas de tratamiento:

Para conocer el comportamiento estacional de las remociones en los tres sistemas estudiados tanto para CT como CF se graficaron las remociones mensuales de cada uno (figs. 6 y 7).

Como se puede apreciar en las figuras 6 y 7, el mes de noviembre es cuando se presentaron las remociones más altas de CT para los sistemas de biodiscos (52.43) y de filtros percoladores (26.45) mientras que para el sistema de lodos la mejor remoción fue en el mes de junio (36.97). En mayo el sistema de lodos presento la remoción más alta para CF (40.99), filtros en julio (37.73) y biodiscos en noviembre (25.63). Las remociones mas bajas de CT se registraron en agosto para lodos, en mayo filtros y en octubre biodiscos; las de CF en julio lodos y biodiscos y en marzo filtros.

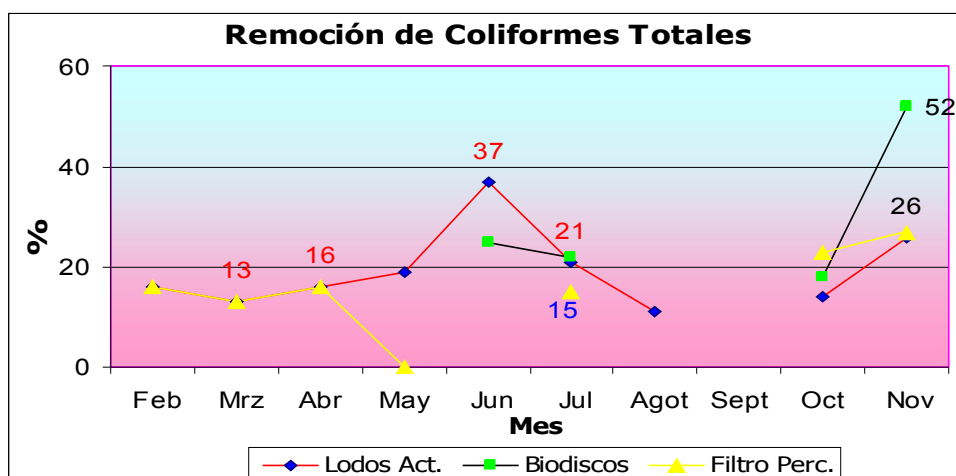


Figura 6. Comparación de los porcentajes de remoción de CT en los tres sistemas

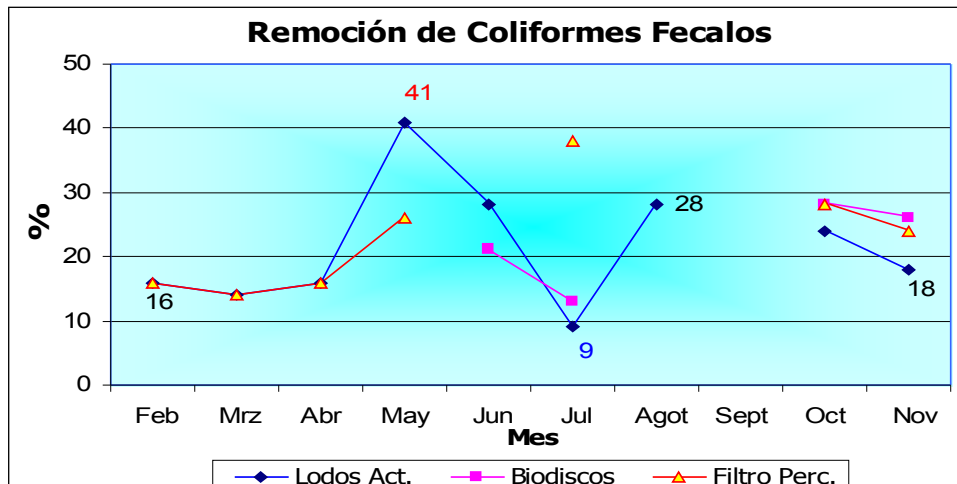


Figura 7. Comparación de los porcentajes de remoción de CF en los tres sistemas

Graficando las medias de remoción (figuras 14 y 15) tenemos que la remoción mas alta la presentó el sistema de Biodiscos con el 29% para CT y 21.8 % de CF seguida de Lodos activados con el 19.3% de CT y 21.4 % de CF teniendo en último lugar el sistema de filtro percolador con una remoción del 15.7% para CT y 23.1 % de CF.

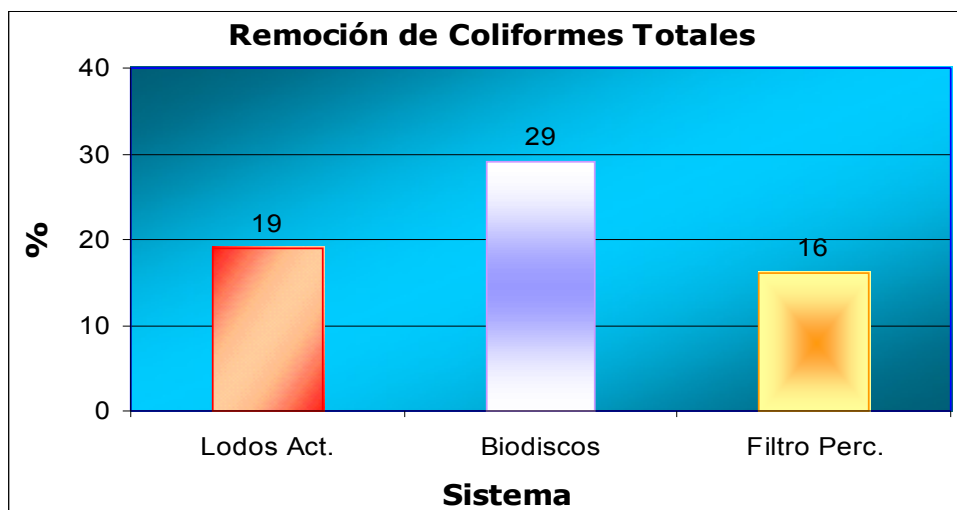


Figura 8. Comparación de las medias de porcentajes de remoción de CT en los tres sistemas

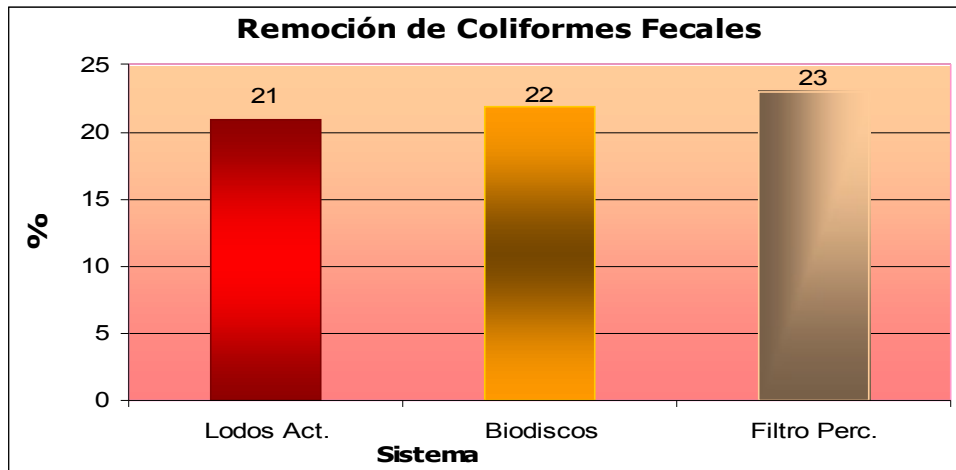


Figura 9. Comparación de las medias de porcentajes de remoción de CF en los tres sistemas

Como los resultados de la remoción fueron muy bajos hay que tener especial cuidado ya que Efstratiou *et al.*, en 1998 menciona que todos los indicadores tienen asociación positiva fuerte con las *Salmonellas*; en su análisis de regresión, reveló que los coliformes totales son predictores de la presencia de *Salmonellas*, cuando se encuentran en concentraciones altas sobre 100 mL.

También otros autores como Grunnet (1978) señalan que en concentraciones mayores de 1000 coliformes fecales/100 mL hay un 50% de probabilidad de encontrar *Salmonella* spp. Actualmente se sabe que cuando la densidad de coliformes fecales es mayor de 200/100ml se incrementa la frecuencia de encontrar *Salmonella* (Kleimbaum *et al.*, 1982 citado por Rodríguez y Urzua, 1998).

## 2. *Salmonella* spp y *Shigella* spp

Los resultados de los aislamientos obtenidos se presentan en la tabla 10 en donde podemos observar que en el influente que suministra a los sistemas de tratamiento solo en los meses de octubre y febrero se encontró la presencia de *Salmonella* spp.; mientras que en los efluentes de los tratamientos biológicos encontramos que en el sistema de biodiscos se aisló en dos ocasiones *Salmonella* spp., en los meses de junio y julio. La presencia de esta bacteria o

de otras enterobacterias son importantes por su patogenicidad como es el caso reportado por El-zanfaly y El-abagy en 1987 quienes aislaron en el efluente de un sistema de biodiscos 5 diferentes tipos de *E. coli* enteropatógena.

Para el sistema de Lodos activados se encontró de igual manera en dos ocasiones en los meses de agosto, octubre y en el sistema de filtros percoladores se detecto la presencia de *Salmonella* spp. solo en el mes de febrero, cuando las concentraciones de coliformes fueron más altas.

En dicho cuadro podemos apreciar la presencia de otras bacterias de importancia que también se encontraron en los sistemas de tratamiento, además de la bacteria *Salmonella* spp. buscada. Rodríguez y Urzua reportaron en 1998 la presencia de bacterias de importancia como *Salmonellas* spp., *Klebsiellas* spp., *Morganellas* spp. etc. en un sistema de filtro rociador en la delegación Xochimilco.

La bacteria *Shigella* spp no se encontró en ningún sistema. Esto concuerda con lo reportado por Barrantes *et al.*, en 2001 quienes reportan que en San José, Costa Rica no fue posible aislar *Shigella* spp. de las muestras de agua contaminadas, aunque los resultados sugieren que este medio de transmisión estuvo relacionado con el brote de diarrea en dicho lugar con esta bacteria, ya que si se pudo aislar de los pacientes pero no del cuerpo de agua.

**Tabla 10.** Bacterias aisladas de los efluentes de tratamiento

MES	ENTRADA	BIODISCOS	LODOS	FILTROS
Febrero	S	-	-	S
Marzo	-	X	M	P.a.
Abril	-	X	-	-
Mayo	C, E	X	-	M
Junio	K	S	-	X
Julio	C	S	E	-
Agosto	C	X	S	X
Septiembre	X	X	X	X
Octubre	S, C	C	S, C	E
Noviembre	AH	E, C, AH	P. a.	

- P.a. *Pseudomonas aeruginosa*
  - AH. *Aeromona hydrophila*
  - C. *Citrobacter freundii*
  - E. *Enterobacter cloacae*
  - K. *Klebsiella pneumoniae*
  - M. *Morgan morganii*
  - S. *Salmonella spp.*
- X= No hubo muestras de los efluentes.  
- No se encontraron bacterias buscadas

Es muy importante la desinfección por cloración después del tratamiento biológico, como lo hacen en la Planta de tratamiento de C. U. ya que si dichos sistemas no contaran con un sistema de desinfección y el agua tratada entrara en contacto directo o indirecto con el usuario podría existir un riesgo de salud. Con la desinfección la presencia de microorganismos disminuye enormemente (Asano, 1994) (Cabe aclarar que estas mediciones se hicieron en los efluentes de los sistemas de tratamiento antes del paso de la desinfección por cloración que se lleva a cabo en la planta de tratamiento de C. U. con el objeto de evaluar si dichos procesos remueven estas bacterias por si solos).

### **3. Parámetros fisicoquímicos**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de los efluentes de los sistemas así como el influente (entrada) que suministra cada uno de los sistemas se presentan en la tabla 11. Las medias, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo se presentan en la tabla 12. El efluente del sistema de Biodiscos solamente se pudo monitorear en 4 ocasiones, el del sistema de filtro percolador se monitoreo en 7 veces y el de lodos activados 8 veces (por mantenimiento).

#### **3.1 Parámetros de campo**

##### **pH**

La entrada registró un valor máximo de pH de 10.06 en el mes de noviembre y el mínimo fue de 6.48 en el mes de junio presentando un promedio anual de

8.17. Los sistemas de tratamiento (lodos activados filtros percoladores y biodiscos) al igual que la entrada no mostraron diferencias significativas con relación a esta ultima mostrando en general que los sistemas presentaron una unidad menor de variación o menos. Como se puede apreciar en la figura 10 tanto la entrada como los tres sistemas tendieron hacia la acidez en el mes de junio, y hacia la alcalinidad en el mes de noviembre. Se considera óptimo para el crecimiento de los organismos aerobios y el desarrollo de la película bacteriana el rango entre 5 y 9, obteniéndose como consecuencia un buen funcionamiento del sistema de biodiscos (Guinea *et al.*, 2000 citado por Behling *et al.*, 2003).

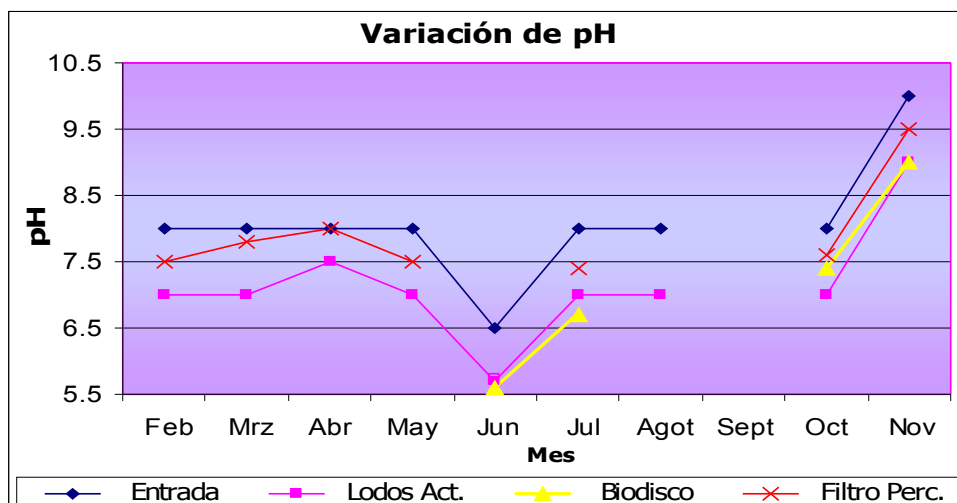


Figura 10. Variación de pH de los efluentes y del influente.

**Tabla 11.** Resultados de los análisis fisicoquímicos  
(Febrero – Noviembre del 2005)

Mes	Sistema	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	pH	T °C	OD mg/L	CONDUCTIVIDAD Msiems/cm	SST mg/L	SS ml/L
<b>Febrero</b>	Entrada	236.79	636.44	8.12	20	1.6	1318	184	2
	LA	72.94	204.57	7.1	19	0.4	1162	96	0
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	156.7	218.2	7.47	19	0.2	1150	61.5	0
<b>Marzo</b>	Entrada	248.17	523	8.25	17	1.8	1303	166	1
	LA	56	76.9	7.3	17	1	1428	42	0.1
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	79.01	230	7.75	17	0.8	1370	58	0
<b>Abril</b>	Entrada	239	584.6	8.17	19	1	949	230	2
	LA	45.6	92.3	7.5	20	0.4	855	42	0
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	57.33	138.45	7.95	19	0.4	795	44	0
<b>Mayo</b>	Entrada	243.46	607.85	8.34	20	1.2	1111	198	0.9
	LA	12.6	41.18	7.3	20	0.6	902	16	0
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	57.3	146.52	7.5	20	0.4	825	36	0
<b>Junio</b>	Entrada	296.17	576	6.48	20	1.8	1040	124	0.3
	LA	44.8	97.2	5.72	21	1	1158	24	0
	B	46.7	92.3	5.61	20	0.8	930	18	0
	FP	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Julio</b>	Entrada	213	437.4	8.03	19	1.6	866	116	0.4
	LA	11.51	66.09	6.89	19	2.4	470	16	0
	B	32	31.1	6.69	19	2	468	24	0
	FP	20.22	46.6	7.35	19	2.2	535	20	0
<b>Agosto</b>	Entrada	81.7	360	8.09	19.6	2.89	1032	92	0.4
	LA	33.67	60	7.03	19.7	0.23	823	16	0
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Septiembre</b>	Entrada	x	x	x	x	x	x	x	x
	LA	x	x	x	x	x	x	x	x
	B	x	x	x	x	x	x	x	x
	FP	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Octubre</b>	Entrada	239	470.5	8.03	19	1.2	1209	192	1.5
	LA	54.2	191.15	7.03	19	0.6	1153	64	0
	B	25.3	88.22	7.41	19	1.8	1127	24	0
	FP	57.5	176.4	7.58	19	0.4	1202	60	0
<b>Noviembre</b>	Entrada	244	545.5	10.06	18	1.8	1055	145	0.8
	LA	34.25	127.28	8.97	18	0.6	980	32.5	0
	B	14.48	90.92	9.05	18	1.2	697	5	0.1
	FP	24.54	72.73	9.46	18	0.6	733	10	0
X no hubo muestra del efluente									

**Tabla 12. Parámetros estadísticos**

	Temperatura				pH				O D			
	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P
<b>Prom.</b>	19.066	19.188	19	18.71	8.174	7.204	7.19	7.865	1.654	0.803	1.45	0.714
<b>Desv. est.</b>	1.019	1.181	0.816	0.951	0.902	0.836	1.443	0.73	0.551	0.652	0.55	0.681
<b>Coef. de var.</b>	0.053	0.061	0.042	0.05	0.11	0.116	0.200	0.092	0.333	0.812	0.379	0.954
<b>Minimo</b>	17	17	18	17	6.48	5.72	5.61	7.35	1	0.23	0.8	0.2
<b>Maximo</b>	20	21	20	20	10.06	8.97	9.05	9.46	2.89	2.4	2	2.2
<b>Número de muestreos</b>	9	9	4	7	9	9	4	7	9	9	4	7

	Solidos Suspendidos Totales				Solidos Sedimentables			
	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P
<b>Prom.</b>	154.87	31.94	15.09	35.26	0.84	0.0111	0.025	0.00
<b>Desv. est.</b>	44.80	26.80	8.96	20.43	0.66	0.03	0.05	0
<b>Coef. de var.</b>	0.29	0.84	0.59	0.58	0.79	3.00	2.00	0.00
<b>Minimo</b>	92	16	5	10	0.3	0	0	0
<b>Maximo</b>	230	96	24	61.5	2	0.1	0.1	0
<b>Número de muestreos</b>	9	9	4	7	9	9	4	7

	Conductividad				DBO <sub>5</sub>				DQO			
	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P
<b>Prom.</b>	1098.11 1	992.33	805.5	944.285	226.81	40.62	29.62	64.66	526.8	106.3	75.64	146.99
<b>Desv. est.</b>	153.504	273.982	285.50	299.621	58.61	20.09	13.48	45.5	89.2	57.49	29.74	68.91
<b>Coef. de var.</b>	0.139	0.276	0.354	0.317	0.26	0.49	0.46	0.7	0.2	0.54	0.39	0.47
<b>Minimo</b>	866	470	468	535	81.7	11.51	14.48	20.22	360	41.18	31.1	46.6
<b>Maximo</b>	1318	1428	1127	1370	296.17	72.94	46.7	156.7	636.4	204.57	92.3	230
<b>Número de muestreos</b>	9	9	4	7	9	9	4	7	9	9	4	7

	CT				CF			
	Entrada	L A	B	F P	Entrada	L A	B	F P
<b>Media geométrica</b>	3.2X10 <sup>9</sup>	5.2X10 <sup>7</sup>	2.6X10 <sup>5</sup>	2.6X10 <sup>8</sup>	6.09X10 <sup>7</sup>	1.63X10 <sup>6</sup>	1.16X10 <sup>4</sup>	6.13X10 <sup>6</sup>
<b>Desv. est.</b>	8.0X10 <sup>23</sup>	8.0X10 <sup>19</sup>	5.4X10 <sup>5</sup>	9.1X10 <sup>19</sup>	8.0X10 <sup>23</sup>	8.0X10 <sup>19</sup>	3.7X10 <sup>4</sup>	9.1X10 <sup>19</sup>
<b>Coef. de var.</b>	2.5X10 <sup>14</sup>	1.5X10 <sup>12</sup>	2.1	3.5X10 <sup>11</sup>	3.0	3.0	1.2	2.6
<b>Minimo</b>	1.7X10 <sup>7</sup>	1.3X10 <sup>5</sup>	4.6X10 <sup>3</sup>	3.5X10 <sup>5</sup>	1.2X10 <sup>4</sup>	9.0X10 <sup>2</sup>	1.4X10 <sup>3</sup>	1.7X10 <sup>3</sup>
<b>Maximo</b>	2.4X10 <sup>24</sup>	2.4X10 <sup>20</sup>	1.3E+0 <sup>6</sup>	2.4X10 <sup>20</sup>	2.4X10 <sup>24</sup>	2.4X10 <sup>20</sup>	8.0X10 <sup>4</sup>	2.4X10 <sup>20</sup>
<b>Número de muestreos</b>	9	9	4	7	9	9	4	7



## Oxígeno Disuelto (OD)

Con relación al OD, la tabla 11 nos muestra los datos obtenidos durante el periodo de estudio de los sistemas La entrada registró un intervalo de OD de 1.6 mg/L de febrero a 1.8 mg/L en noviembre, el valor máximo registrado fue de 2.89 mg/L en el mes de agosto y el mínimo fue de 1 mg/L en el mes de abril presentando un promedio anual de 1.65 mg/L.

Los sistemas de tratamiento (lodos activados filtros percoladores y biodiscos) muestran un comportamiento semejante por debajo de la entrada teniendo un incremento en conjunto en el mes de julio, lo cual nos podría indicar en base a los valores del oxígeno que es donde funcionaron mejor los tres sistemas ya que estos estuvieron por arriba del valor de entrada mientras que en casi en el resto de los demás muestreos la entrada estuvo por arriba de los sistemas de tratamiento. El sistema de lodos activados siendo la única muestra del mes de agosto presenta un decremento significativo con un valor 0.23 mg/L, después de lo registrado en el mes de julio (figura 11).

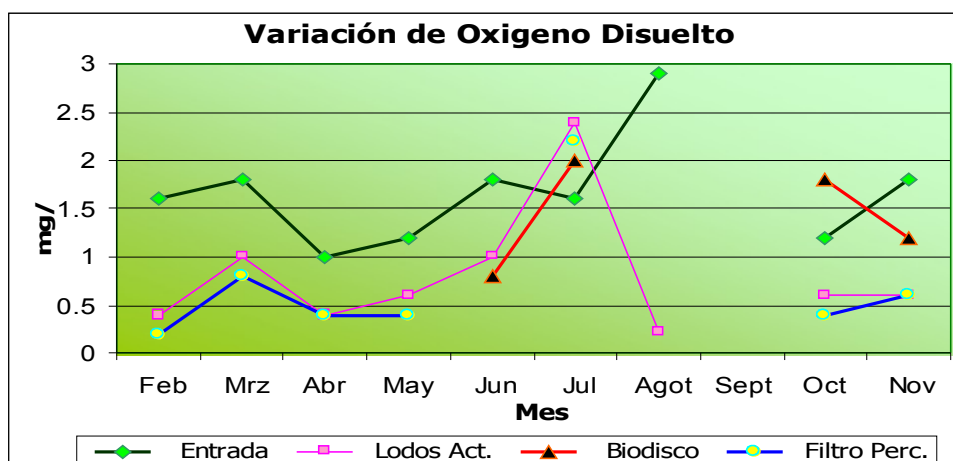


Figura 11. Variación de Oxígeno Disuelto de los efluentes así como del influente.

## Temperatura

Los valores obtenidos de los efluentes de los sistemas así como la entrada que suministra cada uno de los sistemas se presentan en la tabla 11. La entrada

registró un intervalo de temperatura de 20° C de febrero a 18° C en noviembre, el valor máximo registrado fue de 20° C en el mes de febrero, mayo y el mínimo fue de 17° C en el mes de marzo presentando un promedio anual de 19° C. Los sistemas de tratamiento (lodos activados filtros percoladores y biodiscos) al igual que la entrada no mostraron diferencias significativas con relación a esta última mostrando en general que los sistemas presentaron un comportamiento similar en cuanto este parámetro teniendo los tres un promedio anual de 19° C con una máxima de 20° C  $\pm$  1 y una mínima de 17° C  $\pm$  1 en general en el mes de marzo (figura 12).

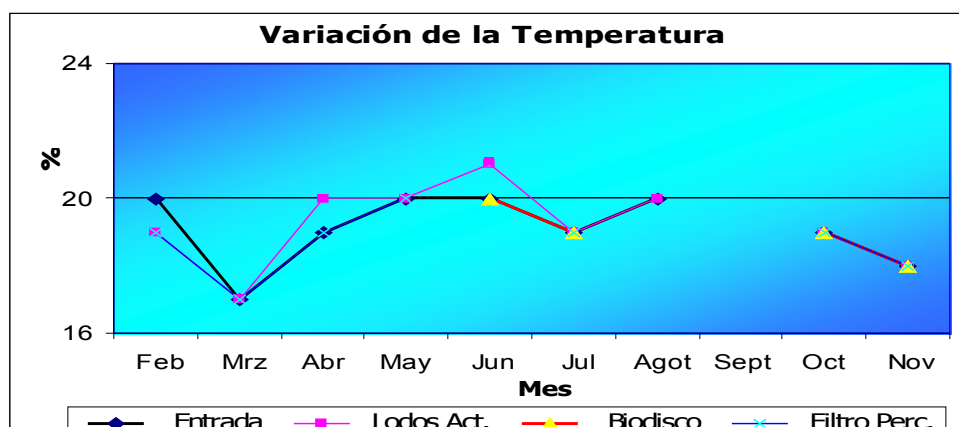


Figura 12. Variación de la temperatura de los efluentes así como del influente.

En general los valores medidos de temperatura, pH y oxígeno disuelto en los sistemas no fueron una limitante para el crecimiento de los microorganismos bacterianos ya que como lo reporta Mujeriego en 1990, los tratamientos secundarios biológicos dependen por tanto, de todos aquellos factores capaces de influir en el crecimiento de los microorganismos.

### 3.2 Remoción de materia orgánica:

Para evaluar la eficiencia de remoción de Materia Orgánica fue necesario realizar dos mediciones: DBO<sub>5</sub>, DQO (Robles *et al.*, 1993).

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

#### Entrada (influyente):

Los valores obtenidos del influente que suministra a los 3 sistemas se presentan en la tabla 11. La entrada registró un valor de DBO<sub>5</sub> de 236.79 mg/L en Febrero y de 244 mg/L en noviembre, presentando un valor máximo de 296.17 mg/L en el mes de junio y un valor mínimo de 81.7 mg/L en el mes de agosto (tabla 11).

#### Análisis de la DBO<sub>5</sub> del efluente del sistema Lodos Activados contra el influente:

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> para este sistema se muestran en la tabla 11.

El sistema de Lodos activados presentó un promedio de remoción de la DBO<sub>5</sub> del 80.44 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de mayo con un valor de 94.82% y en julio en 94.6%; su menor remoción se presentó en el mes de agosto con el 58.79%; (figura 13 y tabla 13). La alta remoción obtenida tanto de la materia orgánica coincide como una de las ventajas de este tipo de sistema, reportadas por diversos autores (Jiménez 2002, Metcalf 1996, Winkler 1993).

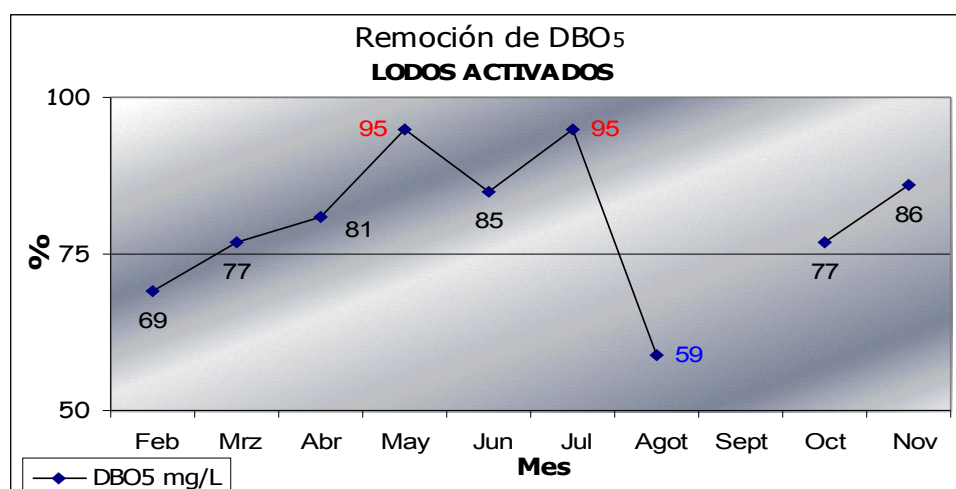


Figura 13. Porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> en Lodos Activados

### **Análisis de la DBO<sub>5</sub> del efluente del sistema de Biodiscos contra el influente:**

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> del efluente de este sistema se muestran en la tabla 11.

El sistema de Biodiscos presentó un promedio anual de remoción de la DBO<sub>5</sub> del 88.32 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de noviembre con un valor de 94.65%; su menor remoción se presentó en el mes de junio con el 84.23%; (figura 14 y tabla 13). La alta remoción de materia orgánica representada por la DBO<sub>5</sub> coincide con lo reportado por Mujeriego, 1990; Sierra, J. y Peñaleur, 1989; que reportan que el sistema de Biodiscos presenta una remoción de la DBO<sub>5</sub> del 70 al 97 %.

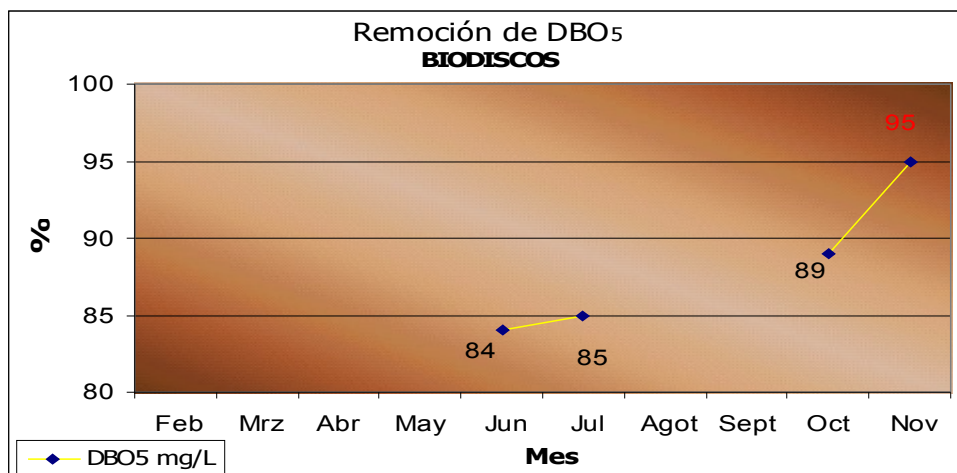


Figura 14. Porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> en Biodiscos

### **Análisis de la DBO<sub>5</sub> del efluente del sistema Filtro Percolador contra el influente:**

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> para este sistema se muestran en la tabla 11.

El sistema de Filtro Percolador presentó un promedio anual de remoción de la DBO<sub>5</sub> del 72.98 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de julio

con un valor de 90.51%; su menor remoción se presentó en el mes de febrero con el 33.82%;(figura 15 y tabla 13). No coinciden estos valores con lo reportado por Mujeriego, 1990; Sierra, J. y Peñaleur, 1989; que reportan que el Filtro Percolador presenta una remoción de la DBO<sub>5</sub> del 80 al 99 %. Sin embargo coinciden con lo reportado por Ramírez *et al.*, en el 2006 en Chilpancingo que reportan remociones del 72% de la DBO<sub>5</sub>.

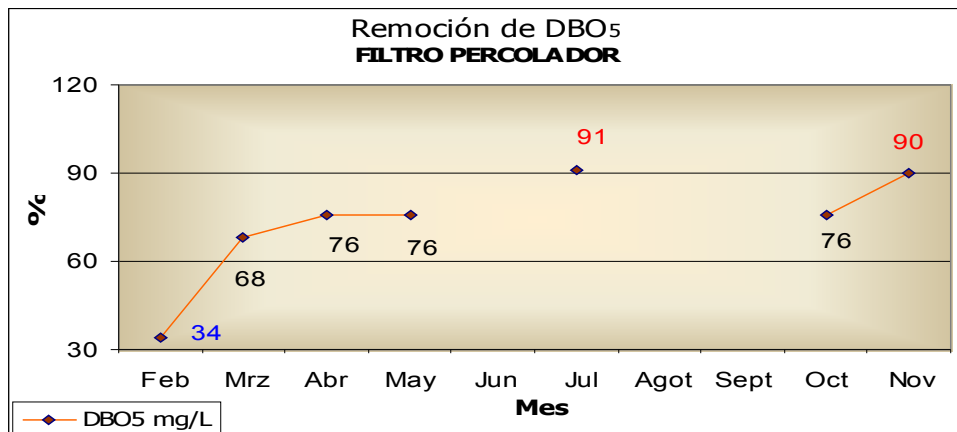


Figura 15. Porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> en Filtro Percolador

### Comparación de la DBO<sub>5</sub> entre los efluentes de los tres sistemas de tratamiento:

Como se puede apreciar en la figura 16, el mes de julio y noviembre es cuando se presentaron las remociones más altas en los 3 sistemas y los meses de agosto y febrero presentaron las remociones mas baja.

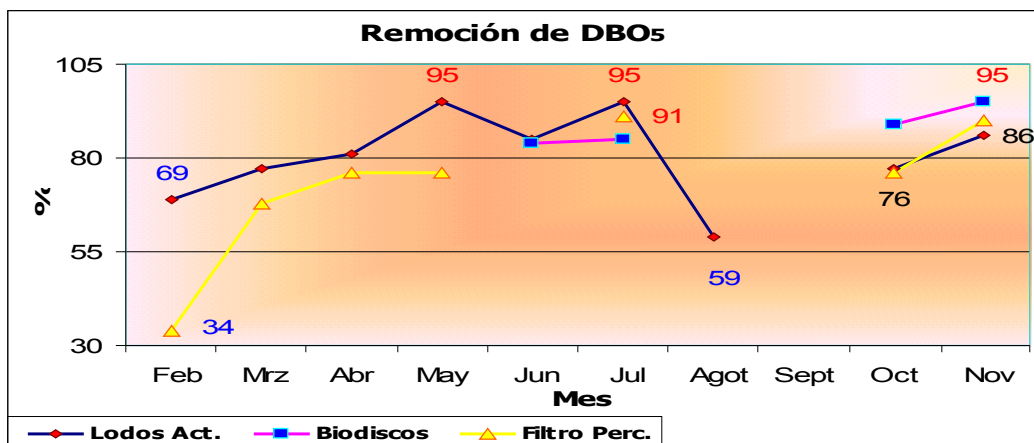


Figura 16. Variaciones de los porcentajes de remoción de la DBO<sub>5</sub> en los efluentes e influente

En la figura 17, se puede ver que la mejor remoción de materia orgánica representada por la  $DBO_5$  la presentó el sistema de Biodiscos con el 88% seguida de Lodos activados con el 80% teniendo en último lugar el sistema de filtro percolador con una remoción del 73%.

Si tomamos en cuenta que el objetivo fundamental de un sistema de tratamiento secundario es la eliminación de la materia orgánica biodegradable (Mujeriego, 1990), podemos decir que de los tres sistemas estudiados únicamente lodos activados y biodiscos, se pueden considerar que se encuentran funcionando adecuadamente para la remoción de este parámetro tomando en cuenta que presentaron remociones superiores al 80%.

Fernández, *et al.*, 2003; reporta que para la remoción de la materia orgánica tres de los sistemas utilizados son Lodos activados, Filtro percolador y Biodiscos. Mientras que para la remoción de patógenos es más eficiente la utilización de cloración en primer lugar, Hipo cloración y ozonización.

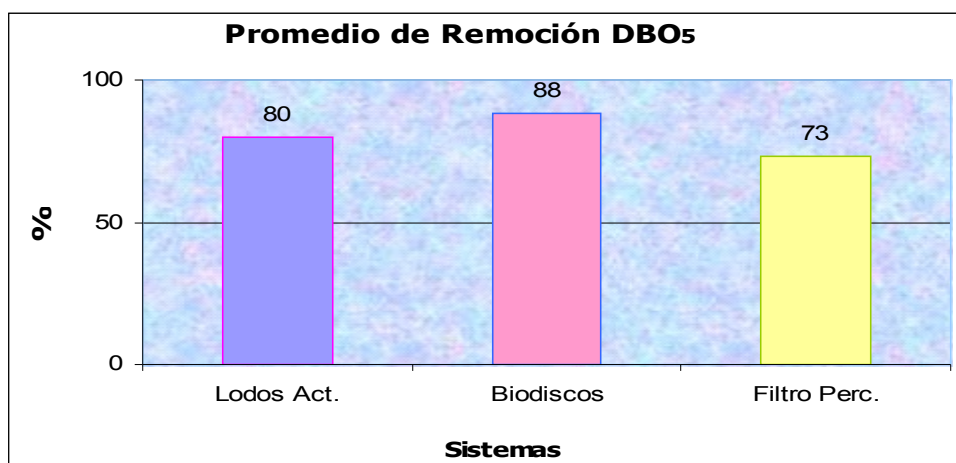


Figura 17. Promedio de remoción de la DQO en los efluentes

### 3.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los valores obtenidos de la entrada que suministra cada uno de los sistemas se presentan en la tabla 11.

La entrada registró un valor de DQO de 636.44 mg/L en febrero y de 545.5 mg/L en noviembre, presentando un valor máximo de 636.44 mg/L en el mes de febrero y un valor mínimo de 360 mg/L en el mes de agosto.

**Análisis de la DQO del efluente del sistema Lodos Activados contra el influente:**

Los resultados de la DQO del efluente de Lodos activados se presentan en la tabla 11.

El sistema de Lodos activados presentó un promedio de remoción de la DQO del 79.77 %, con un valor máximo de remoción en el mes de mayo de 93.23%; su menor remoción fue en el mes de octubre con el 59.37%; (figura 18 y tabla 13). El promedio anual de remoción no coincide con lo reportado por Mondragón en el 2001 quien menciona remociones por encima del 90% (tabla 13).

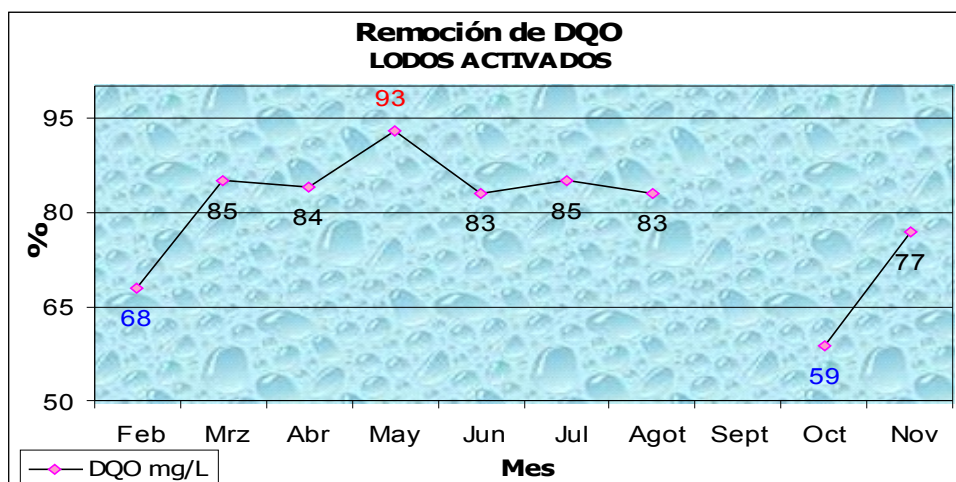


Figura 18. Porcentaje de remoción de la DQO en Lodos Activados

**Análisis de la DQO del efluente del sistema de Biodiscos contra el influente:**

Los resultados de la DQO para este sistema se presentan en la tabla 11.

El sistema de Biodiscos presentó un promedio de remoción de la DQO del 86.06 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de julio con un valor de 95.78%; la menor remoción se presentó en el mes de octubre con el 81.25%; (figura 19 y tabla 13). Estos valores coinciden con lo reportado por Behling, *et al.*, en el 2003 quienes reportan porcentajes de remoción de DQO promedios de 92 y 77%, para diferentes cargas orgánicas.

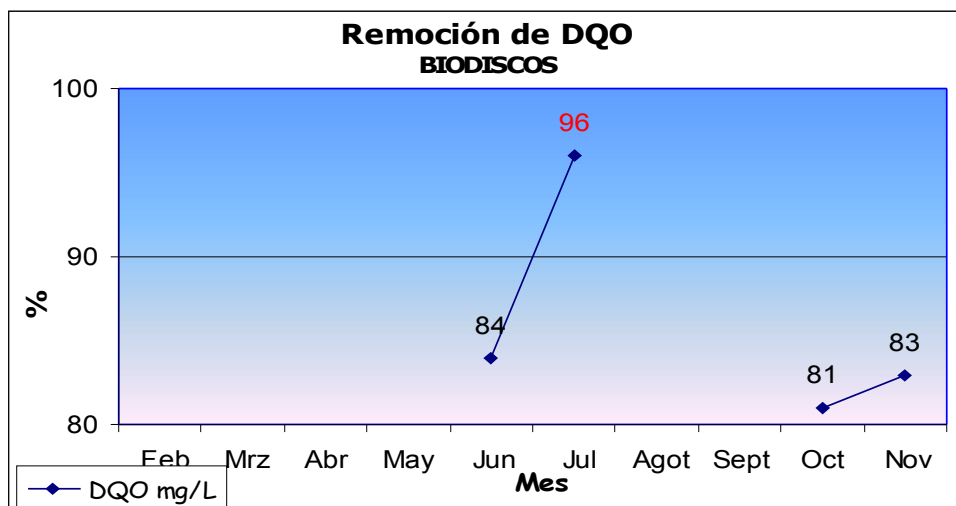


Figura 19. Porcentaje de remoción de la DQO en Biodiscos

### **Análisis de la DQO del efluente del sistema Filtro Percolador contra el influente:**

Los resultados de la DQO se presentan en la tabla 11.

El sistema de Filtro Percolador presentó un promedio de remoción de la DQO del 73.21 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de julio con un valor de 89.35%; su menor remoción se presentó en el mes de marzo con el 56.02%; (figura 20 y tabla 13). Estos valores coinciden con lo reportado por Mansur *et al.*, en el 2000 quien reporta remociones de la DQO del 71.6%.



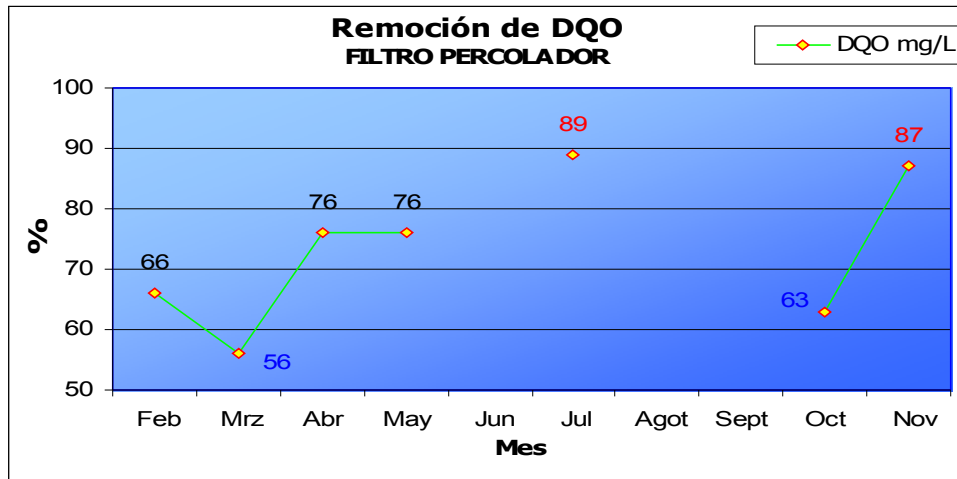


Figura 20. Porcentaje de la remoción de la DQO en Filtro Percolador

### Comparación de la DQO de los efluentes de los tres sistemas de tratamiento:

Como se puede apreciar en la figura 21, el mes de julio y noviembre es cuando se presentaron las remociones más altas para los 3 sistemas y mayo también fue un mes con una alta remoción para el sistema de Lodos activados; los meses de febrero y octubre presentaron las remociones más bajas, aunque en marzo se presentó una remoción muy baja por el sistema de Filtro percolador.

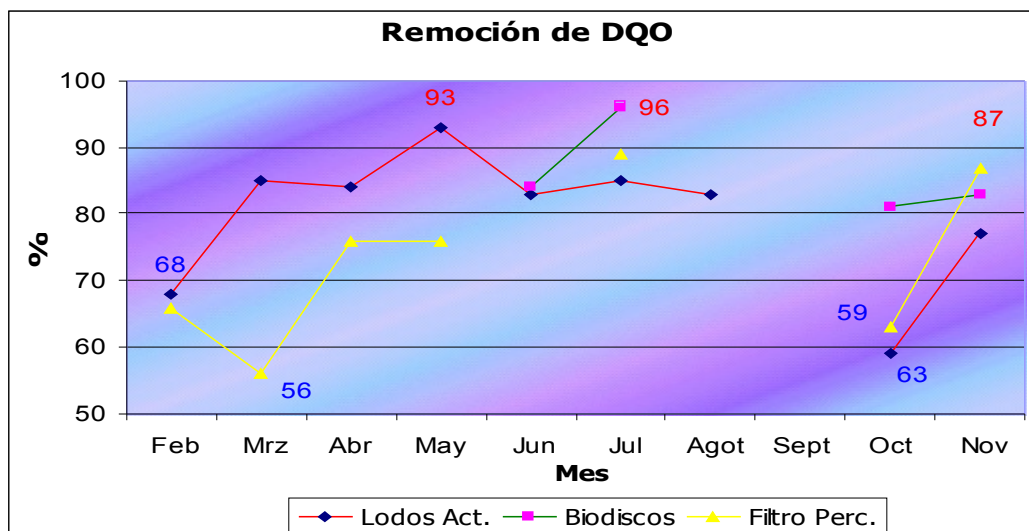


Figura 21. Variación de los porcentajes de remoción de la DQO en efluentes e influente

En la figura 22 se puede ver que la mejor remoción de materia orgánica e inorgánica, representada por la DQO, la presentó el sistema de Biodiscos con el 86% seguida de Lodos activados con el 80% teniendo en último lugar el sistema de filtro percolador con una remoción del 73%.

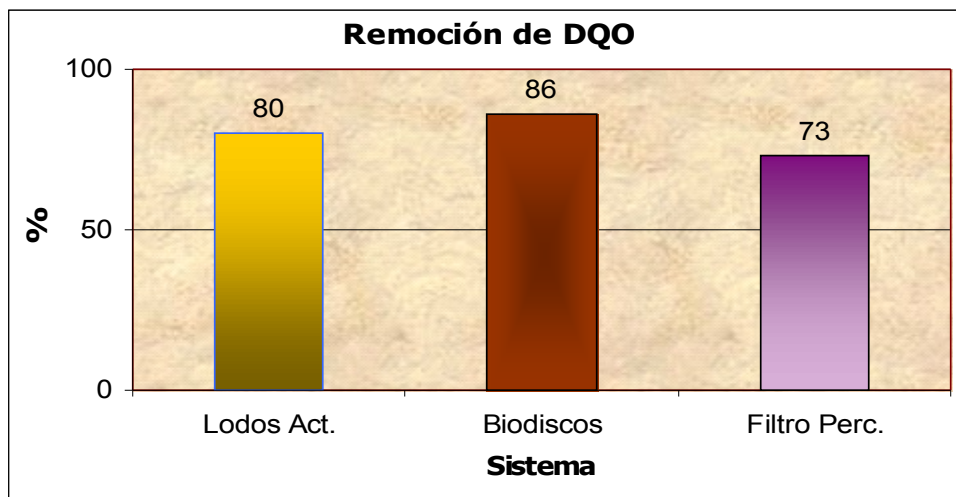


Figura 22. Promedio de remoción de la DQO en los efluentes

**Tabla 13.** Porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO

Mes	Lodos Activados		Biodiscos		Filtros Percoladores	
	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L
Febrero	69.2	67.86	X	X	33.82	65.72
Marzo	77.43	85.3	X	X	68.16	56.02
Abril	80.92	84.21	X	X	76.01	76.32
Mayo	94.82	93.23	X	X	76.46	75.9
Junio	84.87	83.13	84.23	83.98	X	X
Julio	94.6	84.89	84.98	95.78	90.51	89.35
Agosto	58.79	83.33	X	X	X	X
septiembre	X	X	X	X	X	X
Octubre	77.32	59.37	89.41	81.25	75.94	62.51
Noviembre	85.96	76.67	94.65	83.33	89.94	86.67
Promedio	80.44	79.77	88.32	86.08	72.98	73.21
Desv. estándar	11.57	10.3	4.8	6.57	19.07	12.41
Coefficiente de var.	0.144	0.129	0.054	0.076	0.261	0.170
Mínimo	58.79	59.37	84.23	81.25	33.82	56.02
Máxima	94.82	93.23	94.65	95.78	90.51	89.35
Contar	9	9	4	4	7	7

X No hubo muestras en el efluente

### 3.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

#### Entrada (influyente):

Los valores obtenidos de la entrada que suministra cada uno de los sistemas se presentan en la tabla 14. La entrada registró un valor de SST 184 mg/ febrero y de 145 mL/L en noviembre, presentando un valor máximo de 230 mg/L en el mes de abril y un valor mínimo de 92 mg/L en el mes de agosto (tabla 11).

#### Análisis de los SST del efluente del sistema Lodos Activados contra el influente:

Los valores obtenidos de los SST del sistema de Lodos activados se presentan en la tabla 14.

El sistema de Lodos activados presentó un promedio de remoción de SST del 76.65 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de mayo con un valor de 91.91%, su menor remoción se presentó en el mes de febrero con el 47.826%, (figura y tabla 14).

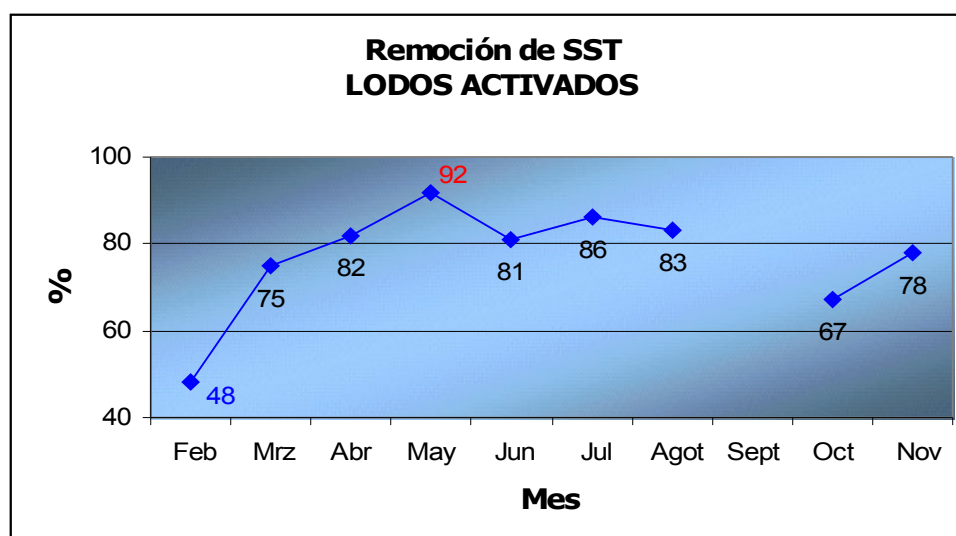


Figura 23. Porcentaje de remoción de SST en Lodos Activados

### **Análisis de los SST del efluente del sistema de Biodiscos contra el influente:**

Los valores obtenidos de los SST del sistema de Biodiscos se presentan en la tabla 11.

El sistema de Biodiscos presentó un promedio de remoción de SST del 87.21 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de noviembre con un valor de 96.55%; su menor remoción se presentó en el mes de julio con el 79.31%; (figura y tabla 14).

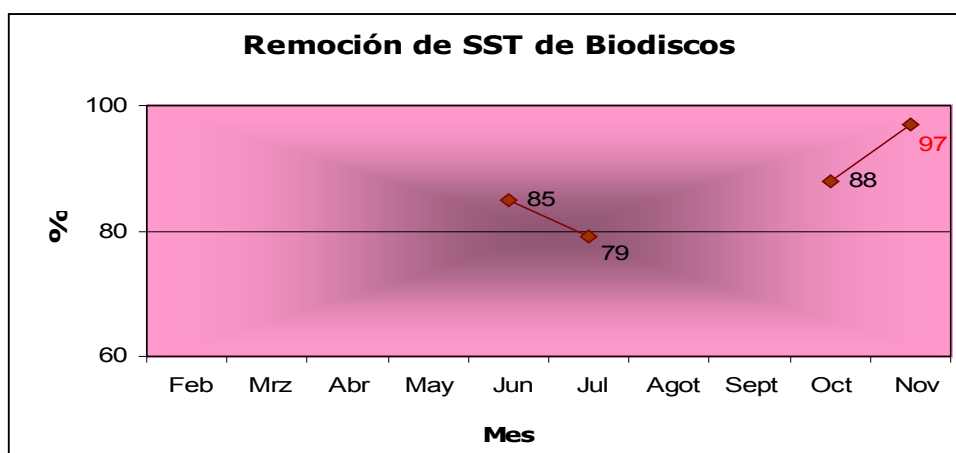


Figura 24. Porcentaje de remoción de la SST en Biodiscos

### **Análisis de los SST del efluente del sistema Filtro Percolador contra el influente:**

Los valores obtenidos de los SST del sistema de Filtro percolador se muestran en la tabla 14.

El sistema de Filtro Percolador presentó un promedio de remoción de SST del 76.90 % presentando el valor máximo de remoción en el mes de noviembre con un valor de 93.10%; su menor remoción se presentó en el mes de marzo con el 65.05%, (figura y tabla 14).

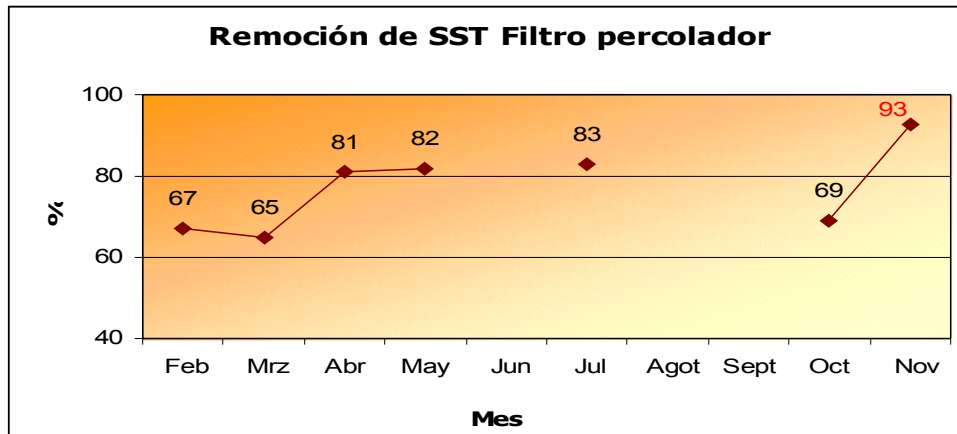


Figura 25. Porcentaje de remoción de la SST en Filtro Percolador

### Comparación de los SST de efluentes de los tres sistemas de tratamiento:

Como se puede apreciar en la figura 26, el mes de mayo y noviembre es cuando se presentaron las remociones mas altas para los 3 sistemas y el mese de febrero se presentó las remociones mas baja, para lodos activados y filtro percolador.

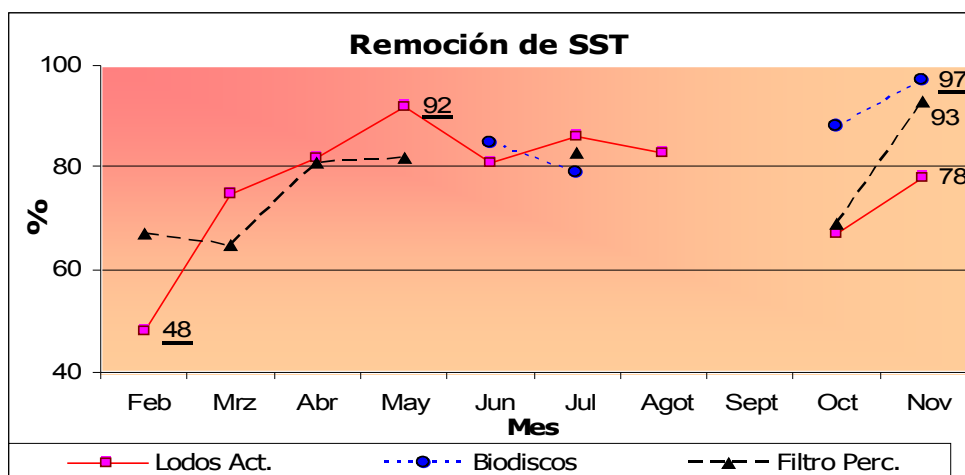


Figura 26. Variaciones de los porcentajes de remoción de SST en los efluentes e influente

En la figura 27, se puede ver que la mejor remoción de SST la presento el sistema de Biodiscos con el 87% seguida de Lodos activados y filtro percolador con una remoción del 77% ambos.

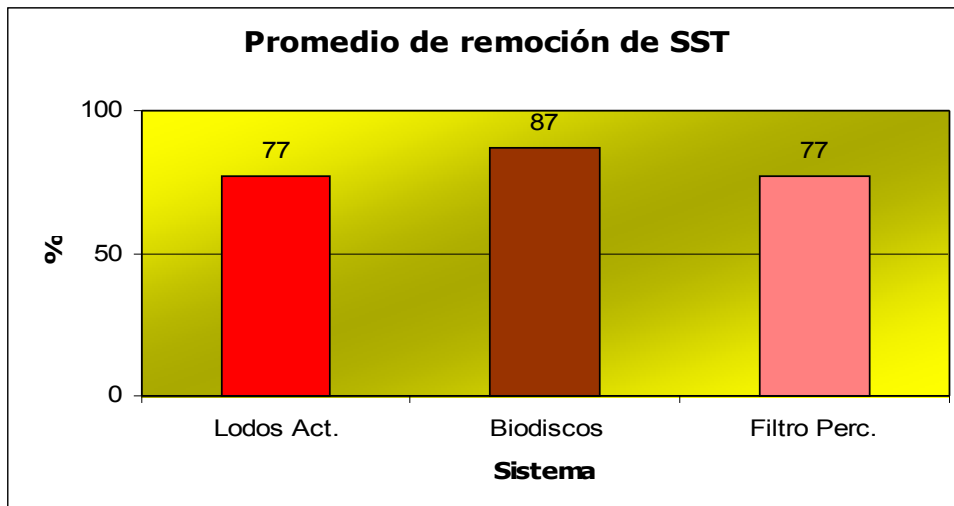


Figura 27. Promedio de remoción de SST en los efluentes

### 3.4 Sólidos Sedimentables (SS)

#### Entrada (influyente):

Los valores obtenidos de los efluentes de los sistemas así como la entrada que suministra cada uno de los sistemas se presentan en la tabla 13.

La entrada registró un valor de de SS de 2 ml/L en el mes de febrero y 0.8ml/L en noviembre, presentando un valor máximo de 2 ml/L en el mes de abril y febrero y un valor mínimo de 0.3 ml/L en el mes de junio (tabla 11).

#### Análisis de los SS del efluente del sistema Lodos Activados contra el influente:

Los valores obtenidos de los SS se muestran en la tabla 14.

El sistema de Lodos activados presentó un promedio de remoción de SS del 98.88 % presentando el valor máximo de remoción en todos los meses a excepción de marzo con un valor de 100 % su menor remoción se presentó en el mes de marzo con el 90 %, (figura 28 y tabla 14).

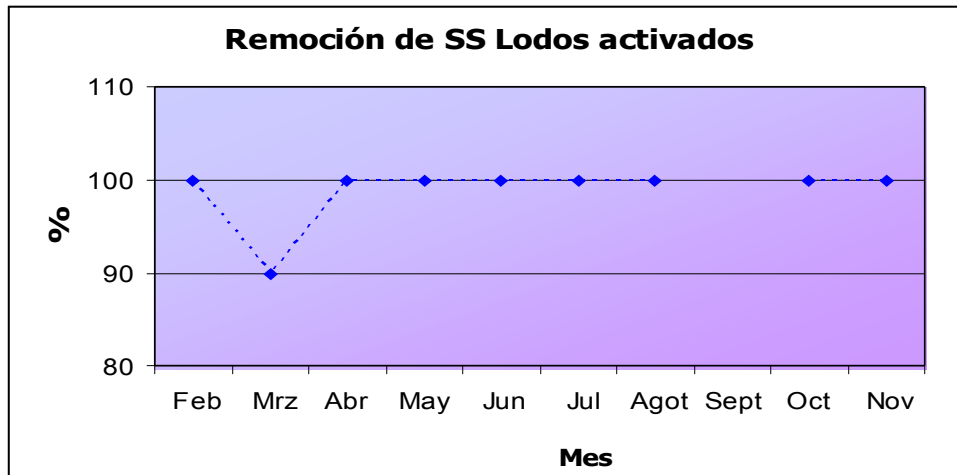


Figura 28. Porcentaje de remoción de SS en Lodos Activados

### **Análisis de los SS del efluente del sistema de Biodiscos contra el influente:**

Los valores obtenidos de los SS para en sistema de Biodiscos se muestran en la tabla 14.

El sistema de Biodiscos presentó un promedio de remoción de SS del 96.87 % presentando el valor máximo de remoción en los meses de junio, julio y octubre con un valor de 100 %; su menor remoción se presentó en el mes de noviembre con el 87.5%, (figura 29 y tabla 14).

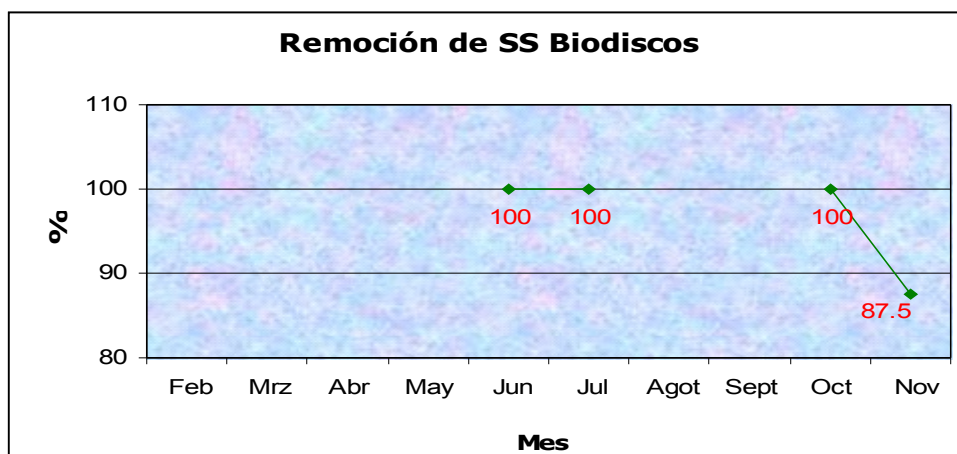


Figura 29. Porcentaje de remoción de SS en Biodiscos

### **Análisis de los SS del efluente del sistema Filtro Percolador contra el influente:**

Los valores de los SS para el sistema de Filtro percolador se presentan en la tabla 14. El sistema de Filtro Percolador presentó un promedio de remoción de SS del 100 % en todos los meses (figura 30 y tabla 14).

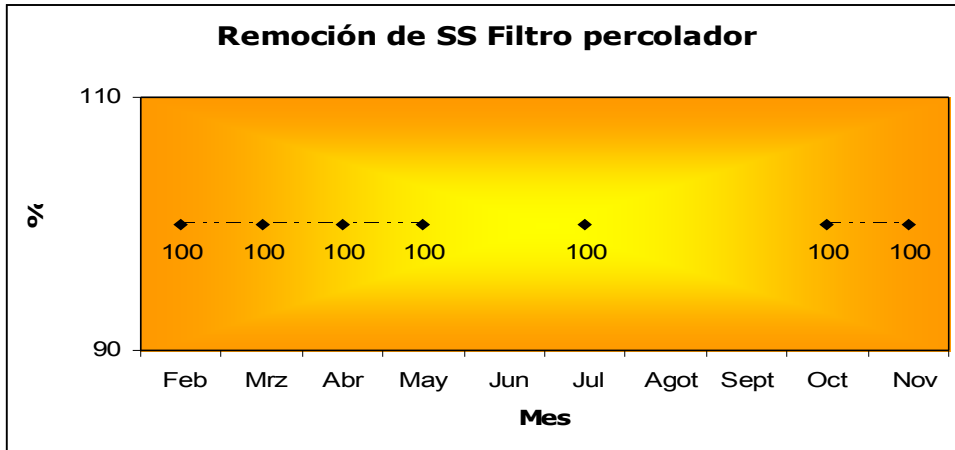


Figura 30. Porcentaje de remoción de SS en Filtro Percolador

### **Comparación de los SS de los efluentes de los tres sistemas de tratamiento:**

Como se puede apreciar en la figura 31, en general la remoción de SS fue mucho muy buena ya que en la mayoría de los meses la remoción fue del 100% solo marzo y noviembre presentaron remociones del 90 y 87 % respectivamente, que siguen siendo remociones muy altas.

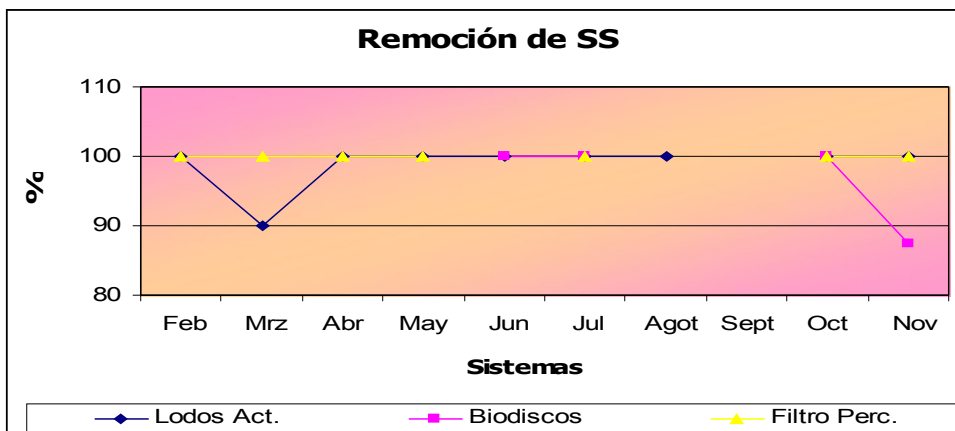


Figura 31. Variaciones de los porcentajes de remoción de SS en los efluentes e influente



En la figura 32, se puede ver que la mejor remoción de SS la presento el sistema de Filtro percolador con el 100% seguida de Lodos activados y filtro percolador con una remoción del 99 y 97 % respectivamente.

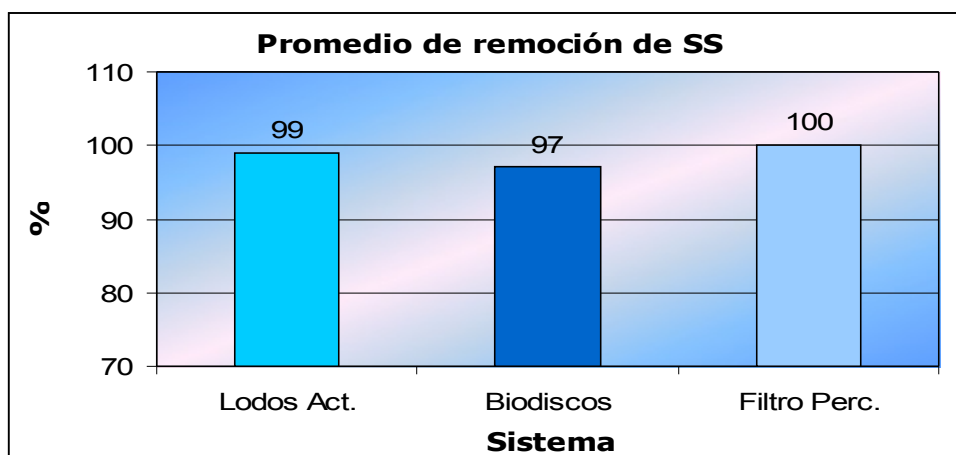


Figura 32. Promedio de remoción de SS en los efluentes

**Tabla 14.** Porcentajes de remoción de Sólidos

Mes	Lodos Activados		Biodiscos		Filtros Percoladores	
	SST mg/L	SS ml/L	SST mg/L	SS ml/L	SST mg/L	SS ml/L
Febrero	47.826	100	X	X	66.57	100
Marzo	74.698	90	X	X	65.06	100
Abril	81.739	100	X	X	80.87	100
Mayo	91.919	100	X	X	81.82	100
Junio	80.645	100	85.483	100	X	X
Julio	86.206	100	79.31	100	82.758	100
Agosto	82.608	100	X	X	X	X
septiembre	X	X	X	X	X	X
Octubre	66.666	100	87.5	100	68.75	100
Noviembre	77.586	100	96.551	87.5	93.103	100
Promedio	76.655	98.88	87.211	96.875	76.990	100
Desv. estándar	12.928	3.333	7.135	6.25	10.409	0
Coeficiente de var.	0.168	0.033	0.081	0.064	0.135	0
Mínimo	47.826	90	79.31	87.5	65.06	100
Máxima	91.919	100	96.551	100	93.103	100
Contar	9	9	4	4	7	7
X No hubo muestras en el efluente						

#### **4. Comparación de los resultados con la NOM 03**

Comparando las medias de los parámetros medidos, con los valores de los límites máximos permisibles de la NOM 003-SEMARNAT-1997 (agua residual tratada), (tabla 12) tenemos que tanto la  $DBO_5$  como los coliformes fecales se encuentran por arriba de los límites permisibles tanto para servicios al público con contacto directo como el de contacto indirecto u ocasional. Además, en todos los muestreos se rebasaron ambos límites. Para lodos activados y filtro percolador, mientras que para el sistema de Biodiscos el de contacto indirecto u ocasional se encontró por debajo de lo requerido por la norma y el límite permisible de servicio al público con contacto directo se rebasó por muy poco.

Sin embargo para los Sólidos suspendidos totales el sistema de Biodiscos también se encontró por debajo de los límites permisibles tanto para servicios al público con contacto directo como el de contacto indirecto u ocasional. Y los sistemas de Lodos Activados y Filtro percolador el límite se rebasa por poco; aunque en algunos muestreos si se rebasó la norma en los tres sistemas.

**Tabla 15.** Límites permisibles para la DBO<sub>5</sub>, Coliformes fecales y Sólidos Sedimentables totales (NOM-003-SEMARNAT-1997).

<b>TIPO DE REUSO</b>	<b>Sistema</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>Límite Máx perm DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>Coliformes fecales NMP/100 mL</b>	<b>Límite Máx perm Coliformes fecales</b>	<b>SST Mg/L</b>	<b>Límite Máx Perm SST mg/L</b>
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	Lodos activados	40.62	20	2.7X 10 <sup>19</sup>	240	31.94	20
	Biodiscos	29.62		3.1X10 <sup>4</sup>		15.09	
	Filtro Percolador	64.66		3.4X10 <sup>19</sup>		35.26	
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	Lodos activados	40.62	30	2.7X 10 <sup>19</sup>	1,000	31.94	30
	Biodiscos	29.62		3.1X10 <sup>4</sup>		15.09	
	Filtro Percolador	64.66		3.4X10 <sup>19</sup>		35.26	

## VIII. CONCLUSIONES

- En general los valores medidos de temperatura, pH y oxígeno disuelto en los sistemas no fueron una limitante para el crecimiento de los microorganismos bacterianos.
- La mejor remoción de materia orgánica representada por la DBO<sub>5</sub> y la DQO se presentó en el sistema de Biodiscos con el 88 y 86% respectivamente, seguida de Lodos Activados con el 80% para ambos.
- Aunque si hubo una disminución de la concentración de coliformes totales y fecales, ésta en general fue muy deficiente por debajo del 30%.
- Con remociones tan bajas de coliformes se aumenta notablemente la posibilidad de encontrar bacterias de importancia sanitaria como son *Salmonella spp.* entre otras
- El haber aislado *Salmonella spp.* en los tres sistemas nos indica la imperiosa necesidad de completar el tratamiento hasta el paso de la desinfección para que el agua residual tratada pueda utilizarse con confianza de la ausencia de bacterias patógenas.
- La bacteria *Shigella* no es una bacteria que pueda aislarse en este tipo de aguas aunque si causante de infecciones gastrointestinales.
- Dado las irregularidades en los muestreos no podemos concluir que el sistema de filtros fuera más deficiente que biodiscos o lodos activados, ya que este sistema de biodiscos solo se evaluó en 4 muestreos.
- Las remociones de SST fueron buenas en los tres sistemas de tratamiento ya que se encontraron por arriba de 70 % y la remoción de SS fue la mejor de todos los parámetros, casi del 100% para los 3

sistemas, lo que nos dice que el tanque de sedimentación esta trabajando muy eficientemente en los tres sistemas valorados.

- Los valores de DBO<sub>5</sub> y SST al compararlos con la NOM 003 la rebasaron por muy poco, en cuanto a los coliformes resulta necesario incluir siempre al final de los sistemas el proceso de desinfección para cumplir con dicha norma, ya que los sistemas por si solos no son lo suficientemente eficientes para alcanzar los valores de la norma.
- En general los bajos resultados de remoción tanto de bacterias como de los fisicoquímicos pueden deberse a que los sistemas no están funcionando óptimamente, lo cual puede deberse a diversos factores tales como una posible sobre carga, la falta de mantenimiento, a la no periodicidad de funcionamiento en el caso de biodiscos y filtros (lo que no permite un tiempo constante de maduración del sistema) y a la variación de flujos motivados por periodos vacacionales entre otros.
- Es muy importante alertar a aquellas personas que solo traten sus aguas residuales hasta el tratamiento biológico y viertan esas aguas en suelos agrícolas, especialmente aquellos que cultiven hortalizas de consumo crudo, ya que llevan el riesgo de contaminarlas con alguna bacteria patógena poniendo en riesgo la salud humana, ya que como se vio en este estudio y como lo han reportado también algunos autores estos sistemas no remueven suficientemente la carga bacteriana del efluente.

### **Agradecimiento**

La realización de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU) al facilitar sus instalaciones para la realización de los muestreos.

## IX. REFERENCIAS

1. Achí R. 1994. Shigellosis in Costa Rica: A study of urban and rural population using antibody determination in breast milk and serum and isolation of *Shigella*. Tesis doctoral. Instituto Karolinska, Estocolmo, Suecia.
2. APHA-AWWA-WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20<sup>ava</sup> ed. USA.
3. Aragón, B. J. 2000. Métodos aproximados para el diseño de biodiscos y sedimentadores. Tesis de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM.
4. Asano, T., Mujeriego, R. 1994. Water quality guidelines for wastewater reuse. Jornadas Técnicas: Biosólidos y aguas depuradas como reuso. Sant Feliu de Guixols, Costa Brava, Genova. p95-110.
5. ASTM (American Society for Testing and Materials). 1992. "Manual de Aguas para Usos Industriales" Ed. Limusa. México. Vol. 3. p 202.
6. Ávila, O. L. 1987. Evaluación y optimización del sistema filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de CU. Tesis de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM.
7. Babbitt, H. E. y Baumann, E. R. 1997. Alcantarillado y tratamiento de aguas negras. C.E.C.S.A. México. 520 p.
8. Barrantes, K. Pardo, V. y Achí, R. 2004. Brote de Diarrea Asociado a *Shigella* Sonnei debido a Contaminación Hídrica, San José, Costa Rica. *Rev. Costarric. Cienc. Méd*, vol.25, no.1-2, p.15-24.
9. Behling, Q., Elisabeth H., Caldera M., Yaxcelys A., Marin L., Julio C. 2003. Rotating biological contact (RBC) reactor behavior during the treatment of

- slaughterhouse effluent. *Bol. Centro Invest. Biol.*, Apr., vol.37, no.1, p.56-69.
10. Benenson A. S. 1997. Manual para el control de las enfermedades transmisibles. 16ª ed. Organización Panamericana de la Salud, Washington, Eua, 412-416.
  11. Bitton, G. 1994. Wastewater Microbiology. Ed. Wiley-Liss. New York.
  12. BRAIN. (Biorreactores Integrados S.A. de C. V.) 2001. Sistema de tratamiento de aguas residuales no convencional para remoción de parásitos y patógenos. Aplicación en san Dionisio Ocotepc, Oaxaca Tecnoadecuación ambiental S.A. de C.V.  
<http://www.ambitec.com.mx/articulo1.html>
  13. Brock, T. 1978. "Biología de los Microorganismos" 2ª Edición Ed. Omega. México 906 pp.
  14. Bioxon. s/a. Medios de cultivo y reactivos de diagnóstico.
  15. Bohdziewicz, J. y Sroka, E. 2003. Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochemistry*. Institute of Water and Wastewater Engineering. 40. P 1517-1523.
  16. Bopp CA, FW, Wells Jg, Strockbine Na. 1999. *Escherichia, Shigells* and *Salmonella*. En: Murray PR, JoBaron E, Pfaller MA, Tenover FC, Yolken RH, Manual of Clinical microbiology. /Th ed. American Society for Microbiology, Washington, D.C., USA, 459-474.
  17. Botero, L., Zambrano, C., Oliveros, D., León, M., Sarcos y Martínez. 2002. Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización

- a ser empleada en irrigación Revista Facultad de Agronomía. (LUZ).  
Venezuela. 19: p312-323.
18. Burke, V., Robinson, J., Gracey, M., Peterson, D., Meyer, N., and Haley, V. 1984. Isolation of *Aeromonas* spp. From unchlorinated domestic water supply. Applied and Environmental Microbiology. 48,367-370.
  19. Carmona F., Fabregues F., Alvarez R. 1992. A rare case of corioamnionitis by *Morganella morganii* complicated by sepsis and ARDS. Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol. 45:67.
  20. Castorena, T. F., Jarquín, V. J., Quiroz, S. A., Valdivia. D. L., 1995. Tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de tratamiento de Lodos activados. México. Ed. Departamento de sistemas Biológicos UAM-X.  
<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/lab/7839/lodo.html>
  21. Chilpa, N. A. 1998. Relaciones entre protozoarios (ciliados y flagelados) y las condiciones de operación de un sistema Biológico para el tratamiento de las aguas residuales del río de los Remedios. Tesis para obtener el Título de Biólogo. FES. Iztacala. UNAM. Mexico. p75.
  22. Clark, J.A., Burger C.A. and Sabatinos L.E. 1982. Characterization of indicador bacteria in municipal raw water, drinking water, and new main water samples. Journal bacteriology. 28; 1002-1013.
  23. Cortes, M. R. 2004. Evaluación de la Calidad Bacteriológica y Fisicoquímica de la presa Valle de Bravo. Tesis para obtener el título de Biólogo. Fes. Iztacala. UNAM. Mexico.pp66.
  24. Delgado, D.S., García, C. M., Díaz, G. F., Marrero, H. M., Vera, P. L., Otero, C. N., Regalado, R. N., Hernández, D. A., y Pérez, C. E., 2005. El papel de la



Universidad en la gestión sostenible del agua. Departamento de Ingeniería Química y Tecnológica Farmacéutica. Universidad de la Laguna.

[http://www.us.es/ciberico/archivos\\_word/36b.doc](http://www.us.es/ciberico/archivos_word/36b.doc)

25. Delgado-Iribarren A, Amich S, Prieto S, Salve M. 1994. Microbiología. Ed. McGraw-Hill. Madrid.
26. Divo, A. 1990. Microbiología Médica. 4ª. Ed. Interamericana, México. D.F., 466p.
27. Dixon, T. 1980. Química, enfoque ecológico. Limusa. México.
28. Efstratiou, M. A., Mavridou, A., Richardson, S. C. and Papadakis J. A. 1998. Correlation of bacterial indicator organisms with *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* in sea water. Letters in Applied Microbiology 26:342-346.
29. El-Gohary, F. A., Nasr, F. A., and El-Hawaary, S. 1998. The Environmentalist. Performance assessment of a wastewater treatment plant producing effluent for irrigation in Egypt. Kluwer Academic Publishers. 18. No. 2 p 87- 93 (7).
30. El-zanfaly H. T., El-abagy M. M. 1987. Removal of bacterial indices of pollution during sewage treatment via rotating biological contactor. Journal Applied Microbiology and Biotechnology. 25. No. 6. P 585-589.
31. Euzéby J. 2006. Dictionnaire de bactériologie vétérinaire *Morganella morganii*  
<http://www.bacterio.cict.fr/bacdicto/mm/morganella.html>
32. Farmer J. J. 1995. III. Enterobacteriaceae. Introduction and Identification In: Manual of Clinical Microbiology 6<sup>th</sup> ed. /editor in chief, P. Murray editors:

Baron E., Pfaller M., Tenover F., Yolken R. American Society for Microbiology Washington D.C.,

33. Fair, G.M., Séller, J. Ch. and Okun, D. A. 1997. *Abastecimiento de agua y Remoción de aguas residuales*. Vol. I. ed. Limusa. México. p. 11-13; 18-21; 29-31.
34. Fernández, P. F., Pérez, M, Medina, A. M. 2003. Depuración y reutilización de aguas en Gran Canaria. Universidad de las Palmas Gran Canaria. Consorcio Insular. p 54.
35. Frers, C. 2005. Aguas que lloran por los humanos. Argenpress.info. Buenos aires. <http://www.argenpress.info/nota.asp?num=017769>
36. Gein T, O'Flanagan D, McCarthy T, Prendesergast T. 1997. Reducción del riesgo de Salmonelosis procedente de los huevos. Eurosurveillance. 2:86.
37. Gilchrist M. 1995. Enterobacteriaceae: Opportunistie Pathogens and Other Genera In: Manual of Clinical Microbiology 6th ed./editor in chief, Murray P. editors: Baron E., Pfaller M., Tenover F., Yolken R. American Society for Microbiology Washington D.C.
38. Gloyna, E. F. 1973. Estanques de estabilización de aguas residuales. Organización Mundial de la Salud. Suiza. 191 p.
39. González\_Bonilla. 1993. C. *Shigella*, En: Giono-Cerezo S, Escobar-Gutierrez A, Valdespino- Gomez JL. Diagnóstico de laboratorio de infecciones gastrointestinales, Ira impresión. Instituto Nacional de Diagnostico y Referencia Epidemiologico. Secretaria de Salud, México. D. F., 243-250.

40. Grande Benito A, Gayol Barba P, Redondo Alonso JC, González Hernández P. 1998. Infecciones gastrointestinales prevalentes en pediatría. Bol. Pediatr. 38:220-241.
41. Grant, W. D. 1984. Microbiología Ambiental. Acríbia. P 185-208.
42. Grunnet, K. 1978. Selected microorganisms for coastal pollution, Studies and Coastal Pollution Control. 3 :( 7)59-75.
43. Handfield, M., Simard, P., Couillard, M and Letarte R. 1996. *Aeromonas hydrophila* isolated from food and drinking water: hemagglutination, hemolysis, and cytotoxicity for human intestinal cell line (HT-29). Applied and Environmental Microbiology. 62:9. 3459-3460.
44. Hernández G, Soler P, Usera M, Tello O, Torres A. 2003. Vigilancia epidemiológica de brotes alimentarios relacionados con el consumo de huevos o derivados. España. Bol Epidemiol Sem 11:37-48.
45. Hílen, A. L. 2003. Evaluación ambiental del sistema de Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas. Universidad de Chile. Tesis para otorgar el grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Chile.
46. Jawetz, E., Joseph, M., Edward, A. 1992. Microbiología Médica. Ed. El Manual Moderno. México. P.141-157.
47. Jiménez C., B. 2002. La Contaminación Ambiental en México. Ed. Limusa. México.
48. Karger S. y Basel A. 1995. Relapsing Henoch-Schönicin Purpura Associated with a Tubo-Ovarian Abscess due to *Morganella morganii* Amer. J. Nephrology Abstract 17:5, 230.

49. Koneman E., Allen S., Dowell Y. 1988. Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology. 3th edition J.B. Lippincott Company, Philadelphia, Pag: 124.
50. Lindberg A. A., Karnell A., Weintraub A. 1991. The lipopolysaccharide of *Shigella* bacteria as a virulence factor. Rev Infect Dis. 13 (Suppl.4): S279-284.
51. Lindberg A. A., Pál T. 1993. Strategies for development of potential candidate *Shigella* vaccines. Vaccines.11:168.179.
52. López, M. V., 1981. Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Ed. ICyT. México. p. 259-284.
53. Mahon C. y Manuselis G.: 2000. Textbook of Diagnostic Microbiology 2th edition W.B. Saunders Company, pag 477.
54. Malbran C, 2003. Manual de procedimientos. Salmonella Parte 1 aislamiento, identificación y serotipificación. Ed. Global Salm – Surv. Argentina. 46pp.
55. Manual de Microbiología del agua. 1985 3ª. Dirección General de Desarrollo Tecnológico. México, D.F. p. 71- 150; 283-286.
56. Mansur M. y col., 2000. Evaluación de un sistema de reactor UASB y filtro biológico para el tratamiento de residuo líquido doméstico. <http://www.uniboyaca.edu.co/tratamaguas4.pdf>
57. MCWRP. (Proyectos de reciclamiento del agua de la Ciudad de Monterrey). 1999. Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops – a case study. Water Sci. Technol. 40(4): 261-267.

58. Metcalf H. 1996. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Vol. 1, Mc Graw-Hill, México, 345 p.
59. Metcalf y Hedí. 1985. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación reutilización de aguas residuales. 2ª edición. Ed. Labor. España. 969 p.
60. Mitchell, R. 1992. Water Pollution Microbiology. Ed. Wiley-Interscience. N. Y. USA. p 207-241.
61. Mondragón, G. J. 2001. Análisis microbiológico en el tratamiento de aguas residuales por Lodos Activados. Tesis para obtener el título de Química Farmacéutica Bióloga. FES. Cuautitlan. UNAM. p97.
62. *Morganella morgani*.  
<http://www.biomath.jussieu.fr/bacterio/betalact/node11.html>
63. Moya, T., Herrera, M., Vargas, A. 2001. *Morganella morgani*: estudio sobre el aislamiento de 192 cepas en el Hospital Nacional de Niños, entre 1995 y 2000. Rev. méd. Hosp. Nac. Niños (Costa Rica), 36, no. 1-2, p 57-62. ISSN 1017-8546.
64. Mujeriego, R. R. 1990. Riego con agua municipal regenerada. Manual práctico. p482.
65. Murray P., Rosenthal, K., Kobayashi G. and Pfaller M. 1997. Medical Microbiology 3th edition. Editorial Mosby. Pag: 242.
66. Murray, P. R., Lawrence D., L., Kobayashi, G. S. and Thompson, J. H. 1999. Microbiología Médica. Editorial Mosby.

67. NOM-003-SEMARNAT-1997. Diario Oficial de la Federación. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos.
68. Noyola, R. A. Mayo/Junio 2004.  
[noyola@pumas.iingen.unam.mx](mailto:noyola@pumas.iingen.unam.mx), <http://www2.irc.nl/source/lges/item.php/4222>.
69. Ojeda, R. L. 2001. Procesos aerobios de tratamiento biológico, utilizados en el tratamiento de aguas residuales. Trabajo escrito vía curso de educación continua. Que para obtener el título de Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM. P 102.
70. O.M.S. (Organización Mundial de la Salud). 1998. Normas internacionales para el agua potable. O.M.S. Ginebra. 7pp.
71. Peinador, M. y Murillo, J. 2000. Enteroparásitos: detección y vigilancia en aguas residuales de Costa Rica durante. *Rev. costarric. Salud pública*. 9:no.17, p.26-32. ISSN 1409-1429.
72. P.I.S.Ch. (Programme International Sur la Sécurité Chimique). 2002. Directives de Qualité pour l'eau de boisson. V. 2. 12<sup>a</sup>. Organisation Mondiale de la Santé. Genève. 11-17; 24-29; 87-95p.
73. Ramírez, C. C.; Gutierrez, M. S.; Molina, M. B.; González, A. A.; Achec, L. R. 2006. Alternativa de tratamiento para el agua residual de Chilpancingo Gro. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. AUM.
74. Ramírez, E. 1998. Sistemas de tratamiento. En: Hacia una renovación ambiental en México. Editorial SEP.

75. Reynolds, K. A. 2001. Introducción a las enfermedades microbianas propagadas a través del agua. De la llave. Agua Latinoamericana. 38-39p.
76. Rev Panam Salud Pública, Oct. 2002. Enteritis por *Escherichia coli* O157:H7: tratamiento con antibióticos y riesgo de síndrome hemolítico urémico. vol.12, no.4, p.274-275. ISSN 1020-4989.
77. Rippey, S.R., and Cabelli V.J. 1979. Membrane filters procedure for enumeration of *Aeromonas Hydrophila* in fresh waters. Applied environmental microbiology, 38:1. 108-113.
78. Robles, V. E., González, A. M., Castillo, N. P. 2004. Contaminantes químicos del agua y sus efectos en el hombre y el medio ambiente. Ed. UNAM. Fes Iztacala. México.
79. Robles, V. E. 1994. Contaminación de moluscos. Cuidado con los ostiones. Información Científica y Tecnológica. Octubre 1994. 16:( 217) 39-41p p
80. Robles. E., Gallegos, E. M., Calderón, A. y Saínz, M- G 1993. Remoción de materia orgánica. Información científica y Tecnológica, CONACYT. 15:12-15.
81. Rodríguez-Ferri. 2000. Real Academia de Ciencias Veterinarias. Conferencia: "ESCHERICHIA COLI 0157:H7 ¿Un emergente para el Siglo XXI?".
82. Rodríguez, G. P. y Urzua de la C. M. 1998. Análisis bacteriológico de aguas residuales en las plantas de tratamiento de la delegación Xochimilco. Tesis que para obtener el título de Química Farmacéutica Bióloga. FES . Cuautitlán. UNAM. p76.
83. Romero, J. y Rodríguez, H. 1982. Niveles Actuales de Contaminación coliforme en el sistema Lagunar del Carmen-Machona, Tabasco. An. Inst. Cienc. Del mar y Limnol. UNAM. 9(1):121-126.

84. Rosas, I., Yela, A., Salinas, E. y Calva, E. 1994. Bacterias Entéricas en la Atmósfera Ciencia y Desarrollo. 118 pag. 52-57 p.
85. Rusin, P. A., Rose, J.B., Hass, C.H. and Gerba C.P. 1997. Risk assessment of opportunistic bacterial pathogens in drinking water. Review Environmental Contamination Toxicology. 152. 57-83.
86. Saéñz, F. R. 1993. Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura: Modernización y avances en el uso de aguas negras para la irrigación, intercambio de aguas, uso urbano y riego. Editorial. Textos completos Fulltext, OMS. México.
87. Salen P. y Eppes S. 1997. *Morganella morganii* a newly reported rare cause of neonatal sepsis Acad. Emerg. Med. 4:711.
88. Sandoval, Y. L. y Collí, M. J. s/a. Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reuso en la Agricultura. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Investigación y Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del IMTA. Tesis para obtener la Maestría en Ingeniería Ambiental. Morelos México.
89. Sansonetti P. J. 1992. Patogénesis of Shigellosis. Current topics in Microbiology and Immunology. 180:1-143.
90. SARH. 1984. Manual de Microbiología del agua. México, D.F.
91. SARH. 1978. Análisis de Aguas y Aguas de desecho. (Manual de curso). 3 Vol. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidraulicos. México.
92. Seoanez, M. C. 1999. Ingeniería del Medio Ambiente: Aplicada al medio natural continental. Ed. Mundi-Prensa. 2da edición. México. pp. 363-365.



93. Seoanez, C. M. y Gutierrez. O.A. 1999. Aguas residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos Tecnológicos. Ed. Mundi prensa. 62-72p.
94. Sierra, J., y Peñalver, L. 1989. La reutilización de las aguas residuales: acondicionamiento y uso. Monografías del CEDEX. (15) 222.
95. Soto, B. J., Bruce K., León F. J., Martínez R. C., Quintero H., Chaidez, Q. C. 2006. Presencia de microorganismos indicadores, patógenos y oportunistas en agua potable de zonas de Culiacán y Navolato, Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. EXPO Guadalajara.
96. Villegas O. 2005. Biblioteca virtual de Salud. Diarreas por Escherichia coli. Costa Rica.  
<http://www.binasss.sa.cr/sitios/diarrea.htm>
97. Volk, W. 1996. Microbiología Basica. 7ª edición. Ed. Harla. México. 819 p.
98. Winkler, M. A. 1993. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Ed. Limusa México.
99. Zamundio, P. A. 1993. Evaluación de una planta prototipo para el tratamiento aerobio de agua residual empleando un sistema de Biodiscos. Tesis de Licenciatura de Química, Facultad de Química, UNAM.

## X. ANEXO

### MEDIOS DE CULTIVO Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE *Salmonella* spp. y *Shigella* spp.

#### AGAR DE HIERRO Y TRIPLE AZÚCAR (AGAR TSI)

Diferenciación e identificación de enterobacterias:

Medio diferencial utilizado en la diferenciación de enterobacterias patógenas y saprófitas en los análisis bacteriológicos rutinarios de heces, principalmente. Este medio se usa como clave para iniciar la identificación de enterobacterias en algunos esquemas del FDA.

#### PREPARACIÓN

Suspender 49.4 g del medio deshidratado en un litro de agua destilada. Remojar de 10 a 15 minutos. Calentar agitando frecuentemente hasta ebullición y completa disolución. Distribuir en tubos de 13 x 100 mm. Esterilizar a 121 ° C (15 libras de presión) durante 15 minutos. Los tubos se deben enfriar en forma inclinada (pico de flauta) de manera que el medio de cultivo en el fondo del tubo alcance una profundidad de 1.5 a 2.0 cm.

**Tabla 16.** Lectura de TSI

Organismos	Agar TSI			
	SUPERFICIE INCLINADA	FONDO	GAS	H <sub>2</sub> S
Shigella	K (alcalino)	Ac (ácido)	-	-
<i>Salmonella typhi</i>	K	Ac.	-	+ o -
<i>S. parathyphi</i>	K	Ac.	+	-
<i>S. choleraesuis</i>	K	Ac.	+	-
Otras <i>Salmonellas</i>	K	Ac.	+	+++

## **AGAR PARA *SALMONELLA* Y *SHIGELLA***

*Aislamiento de enterobacterias patógenas:*

Medio diferencial selectivo muy empleado en Bacteriología sanitaria para aislar *Salmonella* y *Shigella*, a partir de heces, orina y alimentos diversos, tanto frescos como enlatados. La inhibición de bacterias Gram positivas se obtiene por una mezcla de sales biliares.

### PREPARACIÓN

Suspender 60 g del medio deshidratado en un litro de agua destilada, remojar unos 15 minutos. Agitar para obtener una suspensión homogénea, calentar con agitación frecuente y hervir durante un minuto. No deberá esterilizarse en autoclave.

Verter en placas. Evítese la congelación.

**Tabla 17.** Morfología en agar *Salmonella* - *Shigella*

<b>BACTERIAS</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>Shigella</i>	Claras, incoloras, Transparentes.
<i>Salmonella</i>	Incoloras, Transparentes con un centro negro si producen H <sub>2</sub> S

## **AGAR SULFITO BISMUTO**

Es un medio de Wilson y Blair modificado y altamente selectivo para aislar *Salmonella typhi*, así como otros bacilos entéricos, de heces, aguas negras, aguas de bebidas y diversos alimentos.

### PREPARACIÓN

Suspender 52 g del polvo en un litro de agua destilada, aunque en general, los autores ingleses recomiendan no, reconstituir mas de 400 ml. En un solo matraz para lograr una mejor uniformidad de mezclado. Mezclar muy bien y remojar el medio deshidratado de 10 a 15 minutos para obtener un buen gel. Hervir no más de un minuto agitando continuamente para que se disuelva

completamente el agar. Dejar que el medio se enfríe entre 50 a 55 °C (esto es muy importante) y sin dejar de agitarlo vacíe en cajas petri no menos de 20 ml del medio fluido. Las placas deben permanecer parcialmente descubiertas hasta que se seque la superficie del medio y usarlos el mismo día. EVITAR EL SOBRECALENTAMIENTO.

La selectividad del medio depende en gran parte de la dispersión uniforme del precipitado de sulfito de bismuto en el gel final. Es por esta razón que el medio se debe mantener bien mezclado y no vaciarse mientras este demasiado caliente. En el medio caliente una vez depositado en las placas, tiende a precipitar el sulfito de bismuto en forma irregular y desordenada propiciando que en unas zonas se encuentre demasiado concentrado y en otras zonas casi sin nada o ausente.

Las placas delgadas con poco medio, se desecan pronto y dan reacciones retardadas, inhibiendo el ennegrecimiento de las colonias productoras de sulfuros, debido a la concentración de los ingredientes.

**Tabla 18.** Morfología en agar sulfito bismuto

<b>BACTERIAS</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>Shigella</i>	Casi todas inhibidas. En el caso de crecer, <i>Sh. flexneri</i> y <i>Sh. sonnei</i> son de color café, deprimidas en el centro y con bordes elevados (crateriformes).
<i>Salmonella typhi</i>	Elevadas con centro negro, bordes claros y traslúcidos. Colonias en ojo de pescado o de conejo. Se vuelven uniformemente negras a las 48 horas. Entre las 18 y las 24 horas se forma en el medio de cultivo un halo negro grisáceo y con brillo metálico rodeando a la colonia.
<i>Otras Salmonellas</i>	Elevadas y generalmente más pequeñas que las de <i>Salmonella typhi</i> . Negras si producen ácido sulfúrico. Halo negro grisáceo con brillo metálico después de 36 a 48 horas de incubación. Café pardas si forman ácido sulfúrico. Verdosas si no son productoras de sulfuros como <i>S. Paratyphi A</i> . Pequeñas y pardas como <i>S. choleraeuis</i> y <i>S. gallinarum</i> que son bastante inhibidas.

## **AGAR XLD**

Xilosa- Lisina Desoxicolato

Para aislamiento de bacterias enteropatógenas, especialmente de los generos *Shigella*, *Salmonella* y *Arizona*.

### PREPARACIÓN

Suspender 55 gramos del medio deshidratado en un litro de agua destilada y dejar que se remoje durante 10 a 15 minutos.

Calentar con todo cuidado y agitando frecuentemente hasta una temperatura aproximada de 90°C pero sin que el medio llegue a hervir. Dejar de calentar en cuanto se obtenga la disolución completa del polvo. Una vez disuelto enfriar rápidamente en agua o en baño maría a 50°C y verter en cajas de petri. El medio debe ser transparente o casi transparente y tener un color rojo rubí anaranjado.

El calentamiento excesivo o el mantener el medio demasiado en baño maría pueden ocasionar que se formen precipitados. En este caso se corre el riesgo de que las colonias sean de menor tamaño y presenten reacciones menos nítidas. Sin embargo el precipitado no perjudica el desarrollo bacteriano y puede eliminarse por filtración con papel filtro.

**Tabla 19.** Morfología en agar XLD

<b>BACTERIAS</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>Shigella</i>	Rojas y transparentes
<i>Salmonella</i>	Rojas transparentes y bordes amarillos. Con centro negro si producen ácido sulfúrico. Sin centro negro si no producen ácido sulfúrico.

(Bioxon.s/a)