



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

ANALISIS BACTERIOLOGICO A LAS AGUAS DEL  
INTERCEPTOR PONIENTE DE LA CIUDAD DE  
MEXICO, TRATADAS EN SISTEMAS SBR  
(SISTEMA DE REACTOR BATCH).

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA**  
P R E S E N T A N :  
**GRACIELA GONZALEZ FERMIN**  
**BERTHA ORTIZ VAZQUEZ**

DIRECTOR DE TESIS: I.O. MARGARITA ALONSO ESPINOSA  
COASESOR: M.V.Z. GERARDO CRUZ JIMENEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

El clima burocrático en las aulas del Instituto de Formación de la Ciudad de México, durante el periodo SEP (Septiembre de 1994).

que presenta la pasante: Guadalupe Ferrás Grazioplene

con número de cuenta: 8198604-6 para obtener el TITULO de:  
Actuaria Farmacéutica en México en colaboración con:  
Orlinda Vázquez Borche

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR NI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de Septiembre de 1995

PRESIDENTE	<u>M.V.T. José H. Ortega López</u>	<u>[Firma]</u>
VOCAL	<u>O.F.B. Marina L. Morales Galisteo</u>	<u>[Firma] 23 de Sept 95</u>
SECRETARIO	<u>L.O. Margarita Alonso Espinoza</u>	<u>[Firma] 13 Sept</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>L.O. Estelita Torres Acosta</u>	<u>[Firma] 14 de Sept 95</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>O.F.B. Pamela Románica Viquez</u>	<u>[Firma] 14 de Sept 95</u>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, N. A. U.  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE EXÁMENES  
PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAINE KEILER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 20 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Análisis Bacteriológico a las Aguas del Interceptor Pendiente de la Ciudad de México, Tratadas en Sistema EBH (Sistema de Reactor Falso).

quiere presentar La pasante: Ortiz Virginia Bertha  
con número de cuentas PA44191-5 para obtener el TÍTULO de:  
Química Farmacéutica Industrial; en colaboración con:  
González Norma Guadalupe

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de Septiembre de 1995

PRESIDENTE	<u>M. E. Luc Ma. Ortega Leyva</u>	<u>[Firma]</u> 3/10/95
VOCAL	<u>O. E. S. Pariso I. Morales Galicia</u>	<u>[Firma]</u> 3/10/95
SECRETARIO	<u>L. O. Margarita Alonso Espinoza</u>	<u>[Firma]</u> 13.6.95
PRIMER SUPLENTE	<u>A. Soledad Venegas Herrera</u>	<u>[Firma]</u> 14.6.95
SEGUNDO SUPLENTE	<u>C. E. E. Marcela Hernández Viquez</u>	<u>[Firma]</u> 14.6.95

## DEDICATORIAS

Doy gracias al que me fortaleció,  
a Cristo Jesús nuestro Señor,  
porque me tuvo por fiel,  
poniéndome en el ministerio.  
(1a. Tim. 1:12)

A MIS PADRES:  
Francisco González Morales  
Adelaida Ferrín Menocal

Papá y mamá sean llenos de bendiciones.  
Y sigan siendo una fuente inagotable de  
amor, aliento, comprensión, enseñanza y  
entrega.

A MIS HERMANOS:  
Lety, J. Luis, Sonia, Liliana, Alicia y Yolanda.  
Gracias por apoyarme y tolerarme todo este tiempo.  
Los quiero mucho.

A MIS TIOS:  
Gracias por todo el cariño que me han dado.

**GRACIELA**

## DEDICATORIAS

Todo lo puedo en Cristo Jesús  
que me fortalece.

(Fil. 4:13)

### A MIS PADRES:

Sigfrido Ortiz Macotela  
Bertha Vázquez de Ortiz  
Quienes son los seres que más amo,  
y a los que debo agradecer todo su  
amor, apoyo y comprensión.  
GRACIAS.

### A MI HERMANO:

Sigfrido, con cariño fraternal.

### A LA MEMORIA DE MI ABUELO:

Luis Ortiz Bellesteros, por su  
gran ejemplo.

### DE MODO ESPECIAL A LA FAMILIA:

Paredes Figueroa, con mucho cariño.

**BERTHA**

## RECONOCIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a:

I. Q. Margarita Alonso Espinosa y al

M.V.Z. Gerardo Cruz Jiménez

Por su valiosa colaboración y comprensión  
en la realización de la presente tesis

Y por su valioso apoyo y trato especial a:

- I. A. Natividad Venegas Herrera
- M. C. Víctor González Robles
- Q.F.B. Leticia Badillo Solís
- Q.F.B. Lilia Zamora Jiménez
- Q.F.B. Rafael Villalobos García
- Lic. Rocío Paredes Figueroa
- Sra. Graciela Enlógio
- Sra. Martha Mejía
- Q.F.B. Enrique González Amador
- Karl Eberhard Toro.

En todo tiempo ama el amigo.

y es como un hermano en tiempos de angustia.

(Prov. 17:17)

Con la mayor gratitud por su apoyo y comprensión

a nuestros queridos amigos: Lata, Naty, Ofé, Lilia, Gaby,

Ma. Luisa, Nidia, Rocío, Laura, Mony, Mireya, Chayo,

Feliza, Guille, Quique, Lucy, Héctor, Valente, Pedro, Pepe Garduño,

Celso, Rocío, Lupita, Mario, Flavia, Karl, Aquiles, Alicia, Claudia,

Mariam, Lucía, Carlos C., Gaby P., Javier C.. Y a todos y cada uno

de nuestros amigos y compañeros.

# INDICE

## 1.0 TITULO

2.0 RESUMEN.....1

3.0 INTRODUCCION.....4

4.0 GENERALIDADES.....8

- a) Importancia General del Agua en la Actualidad..... 9
  - Ciclo Hidrológico del Agua
- b) La Demanda del Agua en la Actualidad.....11
- c) La Importancia del Reuso del Agua.....12
- d) Evaluación del Riesgo de Transmisión de Enferme--  
dades Enteropatógenas a través del Reuso de Aguas  
Residuales Crudas y Tratadas.....14
- e) Enfermedades Enteropatógenas Transmitidas a través  
del Agua.....24
- f) Enfermedades Enteropatógenas más Importantes.....26
- g) Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales.....31
- h) Clasificación de Procesos de Tratamiento Biológico.....32
  - 1.- Sistemas Aerobios
    - Microorganismos en Suspensión
    - Microorganismos Adheridos a un Medio Fijo
    - Procesos Combinados
  - 2.- Sistemas Anaerobios
    - Microorganismos en Suspensión
    - Microorganismos Adheridos a un Medio
    - Combinación
- i) Sistemas SBR (Sistemas de Reactor Batch).....33
- j) Microorganismos de Importancia en los Procesos de --  
Tratamiento Biológico.....36
  - Bacterias
  - Hongos
  - Algas
  - Protozoarios y Rotíferos
  - Virus
- k) Crecimiento Bacteriano.....41
- l) Proceso de Lodos Activadas.....47
- m) Dinámica de Población.....49
- n) Organismos Indicadores.....53
  - Grupos Indicadores de Contaminación
- ñ) Coliformes Totales.....55
- o) Coliformes Fecales.....56

5.0 OBJETIVOS.....57

6.0 MATERIAL.....59



<b>7.0 DISEÑO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>63</b>
<b>8.0 METODOS ANALITICOS.....</b>	<b>67</b>
<b>9.0 RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
<b>10.0 ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>11.0 CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>12.0 APEDICES.....</b>	<b>91</b>
<b>13.0 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>97</b>

797U20

**“ANALISIS BACTERIOLOGICO A LAS AGUAS DEL  
INTERCEPTOR PONIENTE DE LA CIUDAD DE  
MEXICO, TRATADAS EN SISTEMAS SBR  
(SISTEMAS DE REACTOR BATCH)”**

# RESUMEN

## 2.0 RESUMEN:

La generación de aguas residuales como producto de la actividad humana, ha sido un problema ambiental que, desde la antigüedad, preocupa a las comunidades.

Los primeros asentamientos humanos se ubicaron en las cercanías de una corriente de agua que, además de abastecerles el líquido, servía como medio para deshacerse de los residuos generados por la población.

Con el desarrollo industrial y tecnológico, el problema de la generación y la disposición de las aguas residuales creció y se complicó con la presencia de productos y sustancias de origen sintético.

En general, las aguas residuales procedentes de centros urbanos e industriales, presentan sustancias químicas de carácter tóxico o de lenta degradación. Estas sustancias, dada su larga permanencia en el medio acuoso, pueden inutilizarlo para otros fines, así como causar daños a la flora y fauna acuática o terrestre y a la salud humana.

Por otra parte, la eliminación de estas sustancias puede requerir procesos de alta inversión inicial y complejidad tecnológica que dificultan su construcción y, sobre todo, demandan altos costos de operación y mantenimiento. Por estas razones, en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Campo 1, se realiza el proyecto 'Estudio sobre el Interceptor Poniente de la Ciudad de México'. El agua es tratada mediante un sistema batch de lodos activados, y se pretende utilizarla para el riego de áreas verdes y de cultivos agrícolas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Campo 4; por lo que el análisis bacteriológico de los efluentes de dicho sistema es el examen de mayor valor y de vital importancia en la prevención de enfermedades hídricas resultantes de la contaminación del agua tratada. Al realizar dicho análisis se determinará la calidad del agua tratada mediante la cual se indicará su posible uso.

# INTRODUCCION

### 3.0 INTRODUCCION

México es un país que en la actualidad confronta una notable escasez y contaminación de sus fuentes de agua. El acelerado crecimiento poblacional e industrial de los últimos años ha acentuado de manera importante este problema. Cada día, la demanda de agua requerida para el consumo humano, industrial, agrícola, etc., es creciente y consecuentemente la generación de aguas residuales también lo es.

El aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola es una actividad que se realiza en México desde hace cerca de ochenta años, sin embargo, su aprovechamiento generalmente se ha efectuado en forma no controlada, por lo cual, pocas han sido las medidas implementadas para prevenir los efectos nocivos que este tipo de agua puede causar al sistema suelo-planta-animal-hombre<sup>(5)</sup>.

Mucho se ha hablado sobre la utilización de las aguas residuales crudas en la agricultura y se ha recalcado el carácter controvertido de este uso, ya que por un lado es fuente de nutrientes, acondiciona y forma suelos y es fuente de agua disponible. Por otro lado, persiste un gran riesgo de afectar la salud tanto de las personas que consumen los productos irrigados con estas aguas, como de los propios campesinos y sus familias que tienen contacto con las aguas residuales<sup>(6)</sup>.

Se han detectado dos principales aspectos sanitarios en cuanto a los riesgos que se tienen de afectar la salud pública por el uso de aguas residuales crudas:

1) Propagación y transmisión de enfermedades directamente por el suelo, cultivo y el agua; o indirectamente por aerosoles, partículas de polvo y organismos vectores como los insectos.

2) Por el contenido de compuestos químicos tóxicos que suponen un peligro a la salud y que pueden ser acumulativos en la cadena alimenticia cultivo-ganado-hombre, principalmente por descargas industriales<sup>(7)</sup>.

El agua residual que se emplea en el riego agrícola, posee una gran cantidad de organismos patógenos entre los que se incluyen partículas virales, bacterias, protozoarios, hongos y huevecillos de helmintos. Algunas de las enfermedades transmitidas potencialmente por el agua residual incluyen la disentería bacilar y amebiana, fiebre tifoidea, gastroenteritis, salmonelosis, cólera, hepatitis infecciosa, ascariasis, etc.<sup>(5)</sup>.

Actualmente la seguridad del agua con respecto a la transmisión de enfermedades contagiosas se evalúa principalmente en términos de la población de bacterias coliformes<sup>(6)</sup>.

Las aguas residuales poseen una microflora característica en muchos casos. Son particularmente ricas en bacterias las domésticas. Las cuales constan en gran parte de deyecciones, aguas sucias resultantes de lavados y restos de comida. Se trata principalmente de bacterias de la putrefacción -como, por ejemplo *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus aereus*, *Bacillus subtilis*, *Aerobacter cloacae*, *Zooglea ramigera*, etc. La proporción de coliformes es realmente alta, constituyendo un indicador importante de la impurificación del agua con materias fecales. También es frecuente la presencia del germen *Aerobacter aerogenes*, que pertenece a las enterobacterias como *Escherichia coli*, así como la especie *Streptococcus faecalis*, que procede igualmente del intestino humano<sup>(17)</sup>.

Las aguas residuales domésticas, sobre todo, son portadoras de bacterias y hongos patógenos para la especie humana aunque estos microorganismos no pueden crecer allí indefinidamente. Como estos microorganismos conservan su virulencia, en parte, implican a menudo un riesgo grave de infección. Estas aguas son portadoras con bastante frecuencia de bacterias intestinales patógenas, como *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi*, que producen enfermedades tíficas. Mas raras son las *Shigellas* (gérmenes causantes de la disentería bacilar). En los países tropicales es frecuente asimismo la presencia del agente del cólera (*Vibrio cholerae*) con carácter epidémico<sup>(17)</sup>.



Se pueden utilizar procesos de tratamiento para remover o destruir organismos patógenos o sustancias químicas indeseables. La mayoría de los sistemas de tratamiento empleados en las aguas residuales municipales reducen los riesgos para la salud mediante una combinación de procesos <sup>(8)</sup>.

Existe un gran número de procesos de tratamiento de las aguas residuales cuya aplicación depende tanto de las características de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento (influyente), como de la calidad que se desea tener en su salida (efluente). El tratamiento biológico de las aguas residuales es un ejemplo clásico de procesos en gran escala. El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el proceso aparentemente simple en el que una población mixta de microorganismos utilizan como nutrientes a las sustancias que contaminan el agua <sup>(25)</sup>.

# GENERALIDADES

## 4.0 GENERALIDADES

### A) IMPORTANCIA GENERAL DEL AGUA EN LA ACTUALIDAD<sup>(4)</sup>

El agua es un recurso esencial para la vida. Menos del 1% del total del agua existente en el planeta está disponible para su empleo en todas las actividades del hombre, aún cuando la disponibilidad de agua potable varía enormemente de acuerdo con la localización geográfica. Tanto las condiciones naturales como las actividades humanas afectan la cantidad y la calidad del agua disponible.

En algunas ocasiones, la cantidad del agua vuelve inservible el suministro de la misma para los ciertos usos humanos, incluyendo el beber. Asimismo, puede afectar en gran medida los sistemas biológicos naturales, llevando a la sobrefertilización o a la eutroficación de los lagos y de mares costeros o a la acumulación de niveles peligrosos de metales y residuos orgánicos, por ejemplo, en peces o en otros tipos de vida marina.

La cantidad de este recurso se está convirtiendo rápidamente en un problema en algunas áreas. Aunque esencialmente es un recurso renovable a escala mundial, el agua dulce se extrae de algunas cuencas fluviales a tasas que se aproximan a aquellas en las que el suministro se renueva de algunos mantos acuíferos subterráneos a tasas que exceden la reposición natural. Muchas de las actividades de los seres humanos emplean agua en altas proporciones. A medida que la población humana ha crecido, también lo han hecho las extracciones de agua para la agricultura, la industria y el uso municipal. Un nuevo

elemento de Inseguridad son los cambios potenciales en la precipitación y, en consecuencia, en los recursos de agua dulce debido a los cambios en el clima causados por las actividades humanas.

#### CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA <sup>(4)</sup>

Con el calentamiento de la tierra por el sol, el agua se evapora de la superficie de la tierra y del mar hacia la atmósfera. Entonces la humedad se transporta a grandes distancias antes de volver a caer a la tierra en forma de precipitación. Una vez de nuevo en la parte terrestre del ciclo, ésta fluye hacia las superficies o penetra a la tierra. El escurrimiento ayuda a llenar de nuevo ríos y lagos. El agua de la tierra la toman y la transpiran las plantas, se evapora de la superficie del suelo o se filtra hacia la mesa de agua, en donde se almacena en mantos acuíferos subterráneos. Los ríos llegan a los lagos y mares y el proceso se renueva a sí mismo.

El momento de la reposición del agua en varias etapas del ciclo, difiere enormemente. El promedio mundial para el caso de los ríos es de 18 a 20 días, pero la humedad atmosférica se repone aún más rápidamente, cada 12 días. El agua subterránea profunda requiere varios cientos de años para reponerse, (excepto el caso del agua fósil, la cual no se renueva). Al renovarse los ríos tan rápidamente, el hombre no solo tiene acceso a 2000 km<sup>3</sup> de agua de río anualmente, sino a más de 40 000 km<sup>3</sup> de agua.

## B) LA DEMANDA DEL AGUA EN LA ACTUALIDAD

El agua es y ha sido un elemento esencial en las actividades del hombre. Esta verdad toma mayor vigencia en nuestro tiempo, cuando el desarrollo tecnológico, la demanda de más y mejores productos y el explosivo aumento demográfico motivan que las principales actividades básicas que constituyen asimismo los principales satisfactores de necesidades, como son la agricultura, la ganadería, la pesca, la industria y los servicios públicos y urbanos, demandan cada día mayores volúmenes de agua con calidad adecuada para su uso<sup>(3)</sup>.

México es un país que en la actualidad confronta una destacada escasez y contaminación de sus fuentes de agua<sup>(5)</sup>. Se estima que la disponibilidad de agua de la República es de aproximadamente 410000 millones de metros cúbicos/año, de los cuales actualmente se utiliza el 46% y que, hacia el año 2000, debido al incremento previsto en la generación de energía eléctrica y la industria se aprovechará el 95%. Todo esto sin contar que algunas zonas de la República Mexicana, han rebasado ya su disponibilidad regional y en consecuencia sobreexplotan el recurso, con la necesidad de importar, adicionalmente, agua de los lugares apartados. Este es el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, de la Ciudad de Guadalajara o de Guaymas, que importará próximamente agua del acuífero de Boca Abierta y de la cuenca del Río Yaqui<sup>(6)</sup>.

### c) LA IMPORTANCIA DEL REUSO DEL AGUA

Para poder continuar con el desarrollo económico que día a día es más imperativo, el reuso del agua es primordial. Cuando el hombre se da cuenta que el recurso agua es un elemento finito que muestra tendencias de insuficiencia y agotamiento es necesario recurrir a medios que permitan su óptimo aprovechamiento. La reutilización del agua constituye el aprovechamiento óptimo del recurso<sup>(3)</sup>.

La reutilización es un componente esencial del ciclo natural del agua. El notable desarrollo alcanzado con la reutilización directa de agua residual tratada; especialmente en países con recursos hidráulicos suficientes, se ha debido a la necesidad tanto de ampliar sus abastecimientos de agua como de resolver sus vertidos de aguas residuales. El incremento registrado por las dotaciones de agua de abastecimiento, junto con el aumento de población experimentado por numerosas zonas urbanas, han hecho que las fuentes de abastecimiento tradicionales sean suficientes para atender las demandas actuales. Las distancias crecientes entre las nuevas fuentes de abastecimiento y los núcleos urbanos, las limitaciones ambientales para construir nuevos embalses reguladores, y la insistencia de sequías plurianuales, han llevado a numerosos núcleos de población a plantearse la necesidad de utilizar aguas residuales tratadas como fuente adicional de agua para aprovechamiento, que en general no requieren una calidad de agua potable. Por otra parte, las crecientes exigencias sanitarias y ambientales sobre la calidad del agua, junto con los requisitos de

ubicación y los niveles de tratamiento cada vez más estrictos impuestos a los vertidos de aguas residuales.

Entre los principales tipos de aprovechamiento a que puede destinarse un agua regenerada cabe destacar los siguientes:

1.- Reutilización urbana, tal como riego de parques públicos, jardines, lavado de calles y automóviles, alimentación de fuentes públicas, sistemas contra incendios y sanitarios de edificios comerciales y de oficinas.

2.- Reutilización industrial, principalmente en torres de enfriamiento.

3.- Reutilización agrícola y de jardinería, para prácticamente todo tipo de cultivos, de consumo crudo y de cultivos con procesamiento posterior; cereales, cítricos y viñedos. Mediante riego por aspersión, microaspersión, goteo e inundación.

4.- Reutilización para usos recreativos y ornamentales, especialmente como agua de alimentación de lagos o embalses en los que permite un contacto tanto secundario como primario.

5.- Reutilización para mejora y preservación del medio natural, tal como la recuperación o la creación de zonas húmedas.

6.- Recarga de acuíferos tanto para medio de lucha contra la intrusión salina como en la complementación de los recursos disponibles con vistas a su posterior explotación para abastecimiento de agua.

7.- Reutilización para uso en la construcción.

En general, la reutilización para riego agrícola y de jardinería constituye la forma más extendida de aprovechamiento de agua residual tratada<sup>(1)</sup>.

#### D) EVALUACION DEL RIESGO DE TRANSMISION DE ENFERMEDADES ENTEROPATOGENAS A TRAVES DEL REUSO DE AGUAS RESIDUALES CRUDAS Y TRATADAS

Mucho se ha hablado sobre la utilización de las aguas residuales crudas en la agricultura y se ha recalcado el carácter controvertido de este uso; nuestro país es de los pioneros en el aprovechamiento de aguas residuales en el riego agrícola, en zonas áridas y semiáridas es común observar esta práctica que va en aumento y cuyos beneficios directos son el alto contenido de nutrientes en estas aguas que mejoran la productividad, acondicionan y forman suelos, así como; su disponibilidad alrededor de los grandes centros de población que son productores de aguas residuales y consumidores de productos agrícolas<sup>(7,9)</sup>.



La utilización de las aguas residuales en la agricultura se ha incrementado considerablemente en los últimos años y dada la escases y grado de contaminación de las fuentes de abastecimiento para el consumo humano, se prevee que esta práctica se incrementará en los próximos años.

Actualmente en el país se riega con aguas residuales una superficie estimada de 185000 has, con un volumen anual de 2455 millones de metros cúbicos, de los cuales el 44% corresponde al riego con aguas residuales provenientes de la Ciudad de México. Lo anterior significa que aproximadamente el 4% de la superficie de riego actual en el país emplea aguas residuales<sup>(5)</sup>.

Es importante considerar que al aprovechar aguas residuales en el riego agrícola, se puede dejar de utilizar agua con calidad para abastecimiento público, aumentando su disponibilidad ya sea en fuentes superficiales o subterráneas<sup>(9)</sup>.

El empleo de las aguas residuales en la agricultura es una práctica que proporciona algunos beneficios cuando se utiliza de manera controlada en el riego de cultivo, sin embargo, su uso inadecuado puede ocasionar severos daños a la salud humana y animal, a la capacidad productiva del suelo, a los cultivos y a la calidad de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

En México la utilización de las aguas residuales en el riego agrícola generalmente se realiza en forma "cruda", ésto es sin tratamiento previo, en otros casos cuando se llegan a someter a algún tipo de tratamiento, éste es insuficiente o es inadecuado para el fin al que se está destinando<sup>(5)</sup>.

Toda agua que se pretenda utilizar en el riego agrícola, incluyendo agua residual cruda o tratada, debe ser evaluada en términos de ciertos criterios de calidad para la protección de suelos y cultivos, los aspectos más relevantes en este uso son:<sup>(9)</sup>

1.- Nutrientes en las aguas residuales y requerimientos nutricionales de los cultivos.

2.- Carga orgánica en las aguas residuales.

3.- Transmisión de patógenos.

4.- Acumulación de tóxicos en la cadena alimenticia.

5.- Criterios tradicionales:

a) Conductividad eléctrica o sólidos disueltos totales.

b) Relación de Absorción de Sodio (RAS).

c) Bicarbonato o carbonato de sodio residual.

d) Boro.

6.- Calidad del suelo y acumulación de sales.

7.- Eficiencia del tratamiento por suelos y contaminación de acuíferos.

El agua residual que se emplea en el riego agrícola, posee una gran cantidad de organismos patógenos. Los microorganismos encontrados incluyen partículas virales, bacterias, protozoarios, hongos y huevecillos de helmintos.

La evidencia epidemiológica de otros países indica que el reuso del agua residual, particularmente la cruda, que es útil en la irrigación de cultivos ha resultado en varios brotes de enfermedad. Sin embargo, no siempre se ha podido comprobar de manera absoluta tanto en México como en otros países que el agua sea la responsable<sup>(5)</sup>.

Se han detectado dos principales aspectos sanitarios en cuanto a los riesgos que se tienen de afectar la salud pública por el uso de aguas residuales crudas:

1.- Propagación y transmisión de enfermedades directamente por el suelo, cultivo y el agua, o indirectamente por aerosoles, partículas de polvo y organismos vectores como los insectos.

2.- Por el contenido de compuestos químicos tóxicos que suponen un peligro a la salud y que pueden ser acumulativos en la cadena alimenticia cultivo-ganado-hombre, principalmente por descargas industriales<sup>(7)</sup>.

Esencialmente una evaluación de los peligros a la salud, que implica el uso de aguas residuales en el riego agrícola involucra la consideración de la clase de microorganismos patógenos, su tiempo de sobrevivencia en el agua, suelo y la planta, la dosis infectiva para el ser humano, el procesamiento que recibe el cultivo antes de su consumo y la manera y frecuencia con que se aplica el agua residual al cultivo.

Las bacterias son los patógenos más frágiles y generalmente son reducidos en un gran porcentaje en los sistemas de tratamiento, así como también por diversas condiciones ambientales, tales como luz del sol, secado o competición en el suelo. El tiempo de sobrevivencia es muy variable pero en términos generales es de una a dos semanas. Este tiempo puede ser más largo si son protegidos de la luz del sol y del secado.

Los virus pueden persistir en el suelo y en la vegetación por varias semanas o meses. Su exposición a la luz del sol y secado eventualmente resulta en algún grado de inactivación.

En cuanto a los patógenos del tipo de los helmintos, se han reportado tiempos de sobrevivencia para huevos de parásitos y cisticercos superiores a los tres años en el suelo.

Se ha observado que el riesgo de contaminación de los cultivos por el uso de aguas residuales en el riego agrícola, aumenta cuando la superficie de las frutas y vegetales son regadas con el agua residual sin desinfectar, cuando las partes comestibles están en contacto con el agua o suelo, cuando se utilizan cultivos de follaje muy denso o cuando las partes comestibles son dañadas<sup>(5)</sup>.

El intervalo entre el uso de agua residual y la producción de la enfermedad en el hombre considera dos partes muy importantes, la dosis infectiva del microorganismo y la resistencia del individuo a la enfermedad. En el primer aspecto, para los microorganismos que comúnmente se encuentran en las aguas residuales: bacterias, protozoarios, helmintos y virus. Las bacterias y los protozoarios requieren de dosis infectivas altas ( $10^6$ ) para producir enfermedad; es decir, se requiere que el contacto de estos microorganismos en el agua residual sea al rededor o más de 1 000 000. Para helmintos y virus se requieren de bajas dosis infectivas ( $10^2$ ) para producir enfermedad.

El aspecto de dosis infectiva va ligado con la sobrevivencia de los microorganismos, se estima que el decremento de los microorganismos se puede aproximar a una cinética de primer orden, y normalmente en un tiempo adecuado, sin renovación de individuos, la

concentración de microorganismos tenderá a cero, bajo estas bases y de estudios experimentales se ha detectado que en periodos mayores de treinta días una gran cantidad de microorganismos mueren, sin embargo, se han detectado periodos mucho mayores de virus y quistes de protozoarios, en suelos, agua y cultivos. La sobrevivencia de microorganismos en suelos es menor por que están en competencia con la población edáfica (propia del suelo)<sup>(7)</sup>.

Desde hace mucho tiempo se sabe que las condiciones existentes fuera del cuerpo humano son desfavorables para la supervivencia de organismos patógenos debido a los factores ambientales, físicos y químicos desfavorables y también debido a la competencia y depredación por parte de otros organismos. En consecuencia, solo en unos cuantos casos, los organismos patógenos han mostrado capacidad para multiplicarse en las condiciones encontradas en las corrientes receptoras. Por el contrario, la mayoría de patógenos presentes en las descargas de aguas residuales o en las corrientes receptoras han mostrado una reducción en su número durante periodos extensos, reduciendo en última instancia el riesgo de transmisión de enfermedades por medio del agua<sup>(8)</sup>.

Las prácticas de manejo que deberían contemplarse a fin de evitar problemas a la salud pública consistirían en los siguientes aspectos:

- Aplicar como mínimo tratamiento primario con desinfección a las aguas residuales, antes de su aplicación en el riego.
- Evitar el consumo de cultivos que se ingieran crudos.

- Suspender el riego entre dos y cuatro semanas antes de la cosecha.

- Evitar en lo posible el libre pastoreo del ganado al menos dos semanas después del último riego.

- Emplear de preferencia sistemas de irrigación superficial.

- Evitar el contacto de los productos cosechados con el agua o el suelo, etc.

Las concentraciones permisibles de microorganismos patógenos que deberían estar presentes en el agua residual destinada al riego de cultivos, revisados en el informe Engelberg, propone los siguientes valores:

▪ Nemátodos Intestinales (Media geométrica)

Número de huevos viables/litro: menor o igual a 1

▪ Coliformes fecales (Media geométrica)

Número más Probable (NMP/100ml): menor o igual a 1000

Si las normas mencionadas se cumplen, otros patógenos tales como los huevos de tremátodos y quistes de protozoarios también son eliminados<sup>(5)</sup>.

Se piensa que el primer paso que debe darse para el ordenamiento del uso de aguas residuales en riego es restringir los cultivos, comenzando con los que son más susceptibles de propagar enfermedades,

tales como los que se consumen crudos o los que tienen contacto con el suelo. Para esto ya se ha preparado en la CNA (Comisión Nacional del Agua) un "Proyecto de Reglamentación para el Aprovechamiento de las Aguas Residuales en Riego Agrícola", en las que se señalan las condiciones de calidad que debe presentar el agua en contenido de coliformes fecales y huevos de helmintos para poder regar los cultivos permisibles y reducir así los riesgos de afectar la salud pública por este uso<sup>(7)</sup>.

UTILIZACION DEL AGUA	COLIFORMES FECALES NMP/100ml	CULTIVOS PERMISIBLES	INTERVALO MIN. ENTRE ULTIMO RIEGO Y COSECHA (DIAS)
LIDRE	$< 10^3$ < 1 HUEVO DE HELMINTO/LT	TODOS (*)	15
SEMI CONDICIONADA	$10^3 - 10^5$	- ARROZ - FRUTALES - HORTALIZAS - VERDURAS - CEREAL CRUDOS - Y QUE NO TIENEN CONTACTO CON EL AGUA - FORRAJEROS - AJO Y CEBOLLA	20
CONDICIONADA	$> 10^5$	- FORRAJEROS (EXCEPTO ARROZ) - GRANOS - SEMILLAS PARA PROCESAMIENTO INDUSTRIAL - SILVICULTURA - ORNATO - INDUSTRIALES - FRUTALES	20

Cuadro 1.0.- Cultivos permisibles con riego de aguas residuales.

\*Se prohíbe el uso de aguas residuales en cultivos como hortalizas y otros sin cáscara cuyos productos comestibles tienen contacto con el suelo<sup>(8)</sup>.



En conclusión, los beneficios que trae consigo el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola como son: conservación de fuentes de abastecimiento, disposición de desechos, control de la contaminación y aumento en la productividad agrícola se deben balancear contra los problemas que se generan por este mismo uso: daño a la salud de productores y consumidores, afectaciones a suelos, cultivos y acuíferos<sup>(9)</sup>.

El conocimiento de los posibles efectos que causa el sistema agua-suelo-planta-animal-hombre, el uso de las aguas residuales en la agricultura; la aplicación de diversas prácticas de manejo que contribuyan a la eliminación y/o prevención de los posibles efectos adversos al sistema mencionado y el riguroso cumplimiento de las concentraciones permisibles para varios constituyentes en el agua residual; que son elementos importantes para la prevención y control de los efectos adversos, causados por el empleo de las aguas residuales en el riego agrícola. Sin embargo, estos criterios son de carácter general y forman un punto de referencia a tomar en cuenta<sup>(5)</sup>.

La restricción de cultivos en función de la calidad del agua como primer etapa, parece una alternativa adecuada para disminuir los problemas inherentes al aprovechamiento de las aguas residuales en riego agrícola, ya que es de aplicación inmediata, no olvidando que quedan muchos aspectos sin cubrir<sup>(9)</sup>.

La revisión y adaptación de los criterios propuestos a las condiciones particulares de una zona en particular, son requisitos indispensables<sup>(5)</sup>.

## E) ENFERMEDADES ENTEROPATOGENAS TRANSMITIDAS A TRAVES DEL AGUA

El agua es, por supuesto, una necesidad primordial para la vida. Sin embargo, también puede ser portadora de sufrimientos y muerte. Por otro lado, la disponibilidad inmediata de agua hace posible crear un medio ambiente que evita o limita la propagación de muchas enfermedades del hombre y de los animales.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) estima que cada año se presentan 500 millones de casos de diarreas en niños menores de 5 años en Asia, Africa y América Latina. Entre 3 y 4% de estos casos terminan con la muerte. Estas enfermedades son el resultado de la pobreza, la ignorancia, la desnutrición y de un saneamiento ambiental deficiente, particularmente de inadecuados sistemas de abastecimiento de agua y disposición de excretas.

Se podrían reducir significativamente enfermedades como el cólera, la tifoidea, la diarrea y muchas otras mediante un abastecimiento de agua y un saneamiento adecuados. El rol de abastecimiento de agua en la mejora de la salud no se limita a aquellas enfermedades que se transmiten a través de la ingestión de agua por medio de comidas o bebidas. Un suministro adecuado de agua para el baño, el lavado de ropas y de utensilios de cocina, la preparación de alimentos y otros propósitos higiénicos pueden tener efectos significativos sobre las enfermedades de los ojos y la piel, las enfermedades transmitidas por ectoparásitos (piojos, sarna y afines), las enfermedades contraídas a través de alimentos y otras,

particularmente sobre aquellas controlables mediante el lavado de las manos.

ENFERMEDAD	REDUCCION PORCENTUAL ESPERADA SI EL ABASTECIMIENTO DE AGUA FUERA EXCELENTE.
FILARIASIS	100%
TIFOIDEA	80
DISENTERIA BACILAR	50
AMIBIASIS	50
DISENTERIA NO ESPECIFICA	50
GASTROENTERITIS	50
DIARREA DEL RECIEN NACIDO	50
PARATIFOIDEA U OTRAS SALMONELOSIS	40
ASCARIASIS	40

Cuadro 1.1.- Porcentaje estimado de enfermedades prevenibles transmitidas por el agua <sup>(8)</sup>.

Básicamente, las enfermedades enteropatógenas que se transmiten por el agua, se debe a la presencia de microorganismos patógenos contenidos en ella y que cuando se ingieren en una dosis suficiente infectan al que la bebe. La mayoría de estos organismos patógenos llegan al agua mediante la contaminación con excretas humanas y finalmente ingresan al cuerpo a través de la boca, de ahí, el término de transmisión "fecal-oral". Muchas de las enfermedades de este tipo se transmiten fácilmente a través de otros medios por ejemplo, de las manos a la boca, o mediante alimentos contaminados fecalmente. De este modo, por ejemplo, no todas las tifoideas se transmiten a través del agua.

La mayoría de las enfermedades de vía fecal-oral se manifiestan en el tracto intestinal, es decir, el patógeno, podría ser uno de los muchos organismos candidatos, incluyendo a los virus. Estas enfermedades pueden propagarse a otras partes del cuerpo.

Las enfermedades más importantes de este tipo incluyen la disentería amibiana, shigelosis, tifoidea, cólera, las diarreas (de etiología no específica), por E. coli, virales en las que destacan los rotavirus, parvovirus y hepatitis A<sup>(6)</sup>.

#### **F) ENFERMEDADES ENTEROPATOGENAS MAS IMPORTANTES**

Esta información está contenida en los cuadros 1.2 y 1.3, que se presentan a continuación.

Cuadro 1.2.-Enfermedades enteropatógenas más importantes transmitidas por el agua.

ENFERMEDAD	MODO DE TRANSMISION	CUADRO CLINICO
AMIBIASIS * <u>Entamoeba histolytica</u>	-Por medio de quistes llegan a la boca a través de alimentos, agua y otros objetos contaminados fecalmente.	-Principalmente se encuentra en estado de portador asintomático que pueden producir diarreas crónicas leves hasta disenterías fulminantes, complicaciones extraintestinales diseminadas por vía sanguínea causando frecuentemente abscesos hepáticos y peritonitis.
DISENTERIA BACILAR (SHIGELOSIS) * <u>Shigella dysenteriae</u> * <u>Shigella flexnerii</u> * <u>Shigella boydii</u> * <u>Shigella sonnei</u>	-Se propaga al ingerir una mínima proporción de organismos sin necesidad de un vehículo tal como los alimentos, agua o leche.	-Enfermedad aguda --- principalmente del intestino grueso que presenta diarreas, fiebre, náuseas, algunas veces calambres y tenesmo. - Tiene un índice significativo de mortalidad en infantes y niños.
ENTERITIS CAMPILOBACTERIANA * <u>Campylobacter jejuni</u>	-Se produce a través de alimentos o agua contaminada y por contacto con animales o infantes infectados.	-Enfermedad entérica - autolimitante, caracterizada por diarreas, dolor abdominal, malestar, fiebre, náuseas y vómitos.

<b>FIEBRE TIFOIDEA</b>	<p>-A través de alimentos o agua contaminada por heces u orina de un paciente o portador. Los moluscos y la leche son también importantes vehículos de transmisión.</p>	<p>-Enfermedad infecciosa que presenta fiebre -- continua, dolor de cabeza, anorexia, pulso débil, manchas rosadas en el tronco, estrabismo más común que diarreas y, en ocasiones, hemorragias o perforaciones intestinales.</p>
<b>FIEBRE PARATIFOIDEA</b> <u>*Salmonella paratyphi A</u> <u>*Salmonella paratyphi B (S. schottmulleri)</u> <u>*Salmonella paratyphi C (S. hirschfeldii)</u>	<p>-Transmisión por vía fecal-oral, a través de los alimentos o de las personas que los manejan.</p>	<p>-Fiebre entérica bacteriana, similar clínicamente a la fiebre tifoidea, pero generalmente más suave y con menor índice de mortalidad. Presenta infecciones leves y asintomáticas.</p>
<b>SALMONELOSIS</b> <u>*Salmonella typhimurium</u> <u>*Salmonella choleraesuis</u> <u>*Salmonella enteritidis</u>	<p>-Transmisión por vía fecal-oral, de persona a persona y vía agua o alimento contaminado. Las epidemias generalmente se originan por alimentos o leche.</p>	<p>-Enfermedad aguda, infecciosa, de origen bacteriano que presenta accesos repentinos de dolor abdominal, diarrea, náusea, fiebre y a veces vómitos.</p>
<b>DIARREAS VIRALES DEL TIPO NORWALK</b>	<p>-Probablemente por vía fecal-oral, y -- por alimentos y agua.</p>	<p>-Gastroenteritis aguda de origen viral.</p>
<u>*Rotavirus</u>	<p>-Por agua contaminada.</p>	<p>-Enfermedades diarreicas severas que afectan principalmente a -- infantes y niños pequeños.</p>

**COLERA**

\*Vibrio cholerae

-Por beber agua contaminada o por ingerir alimentos manejados por un portador o que ha sido lavado con agua contaminada.

-Enfermedad aguda provocada por la colonización del intestino delgado por parte del V. cholerae y la eliminación de una potente exotoxina. Se presenta en forma epidémica y produce diarrea masiva con depleción rápida de fluido extracelular y electrolitos. La diarrea va seguida de vómitos sin dolor ni precedido de náuseas. Se presentan severos calambres musculares, generalmente en las pantorrillas.

**DIARREA POR E. COLI**

\*Escherichia coli  
(Enteroinvasiva, enteropatogena, enterotoxigénica)

-Parece darse a través del agua, alimentos y en las guarderías infantiles de persona a persona.

-Es un acceso agudo de diarrea acuosa que comprende hasta 10 a 20 episodios diarios, que va acompañada por cólicos abdominales, náuseas, malestar, vómitos, escalofríos o fiebre, con temperaturas de hasta 39.4 C.

**GIARDIASIS**

\*Giardia lamblia

-Transmisión por vía focal-oral, a través del agua, los alimentos y de mano a boca.

-Es una infección del intestino delgado superior, frecuentemente asintomática, puede presentar diarrea crónica, esteatorrea, cólicos abdominales, frecuentes deposiciones sueltas, pálidas, grasosas y fétidas, fatiga y pérdida de peso.

Grupo de virus	No. de tipos	Enfermedad causada
<b>Enterovirus:</b>		
Virus de la polio	3	Parálisis, meningitis, fiebre
Echovirus	34	Meningitis, enfermedades respiratorias, erupciones, diarrea, fiebre.
Coxsackievirus A	24	Herpangina, enfermedades respiratorias, meningitis, fiebre.
Coxsackievirus B	6	Miocarditis, anomalías cardíacas congénitas, erupciones, fiebre, meningitis, enfermedades respiratorias, pleurodinia.
Enterovirus nuevos	4	Meningitis, encefalitis, enfermedades respiratorias, -- conjuntivitis hemorrágica aguda, fiebre.
<b>Hepatitis tipo A</b> (probablemente un enterovirus)		
	1	Hepatitis infecciosa.
<b>Virus de la gastroenteritis</b> (agentes del tipo Norwalk)		
	2	Vómitos y diarreas epidémicos fiebre.
<b>Rotavirus</b> (familia Reoviridae)		
	7	Vómitos y diarreas epidémicos principalmente en niños.
<b>Reovirus</b>		
	3	No claramente establecido.
<b>Adenovirus</b>		
	+ de 30	Enfermedades respiratorias, - infecciones a los ojos.
<b>Parvovirus</b> (asociado a los Adenovirus)		
	3	Asociados a enfermedades respiratorias infantiles, pero sin etiología claramente establecida.

Cuadro 1.3.- *Virus entéricos del hombre que pueden encontrarse en el agua.*



## g) TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento biológico de las aguas residuales es un ejemplo clásico de procesos en gran escala que han tenido éxito en una área vital de la Biotecnología, resultante de la aplicación coordinada de la Ingeniería y la Microbiología. Existe un vasto campo de sistemas biológicos de tratamiento de uso corriente en la purificación de aguas residuales industriales y domésticas, basados en los procesos aparentemente simples en los que una población mixta de microorganismos descomponen la materia orgánica para utilizarla como una fuente de nutrientes<sup>(25)</sup>.

En los procesos biológicos los microorganismos se utilizan para transformar los productos residuales de la sociedad humana en materiales inocuos.

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico de aguas residuales son la coagulación y la eliminación de sólidos no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica<sup>(22)</sup>.

Los procesos de tratamiento biológico, en función de las condiciones bajo las cuales se estabiliza la materia orgánica puede dividirse en dos categorías: aerobios y anaerobios.

Los procesos de tratamiento aerobios son aquellos en los cuales los microorganismos realizan su actividad en un medio ambiente que contiene  $O_2$  disuelto, el cual es utilizado en las reacciones metabólicas<sup>(24)</sup>. Los anaerobios oxidan compuestos orgánicos en completa ausencia de  $O_2$  disuelto usando el oxígeno enlazado en otros compuestos, como el nitrato y el sulfato<sup>(2)</sup>.



**b) Microorganismos adheridos a un medio fijo:**

- Filtros Rociadores
  - \* Alta tasa
  - \* Baja tasa
- Biodiscos.

**c) Procesos combinados:**

- Medio Granular Fluidizado
- Torres de Madera Resistentes
- Lodos Activados en Medio Fijo.

**2.- SISTEMAS ANAEROBIOS <sup>(24)</sup>**

**a) Microorganismos en suspensión:**

- Tratamiento por Contacto Anaerobio
- Lecho Fluidizado.

**b) Microorganismos adheridos a un medio:**

- Filtro Anaerobio

**c) Combinación:**

- Medio Granular Fluidizado.

**1) SISTEMAS SBR (SISTEMAS DE REACTOR BATCH):**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades, desarrollos residenciales, servicios institucionales, lugares de descanso, equipos de trabajo de construcción aislado y comunidades de minería encuentran problemas de diseño y operacionales no afrontados por muchas grandes plantas de tratamiento. Estos

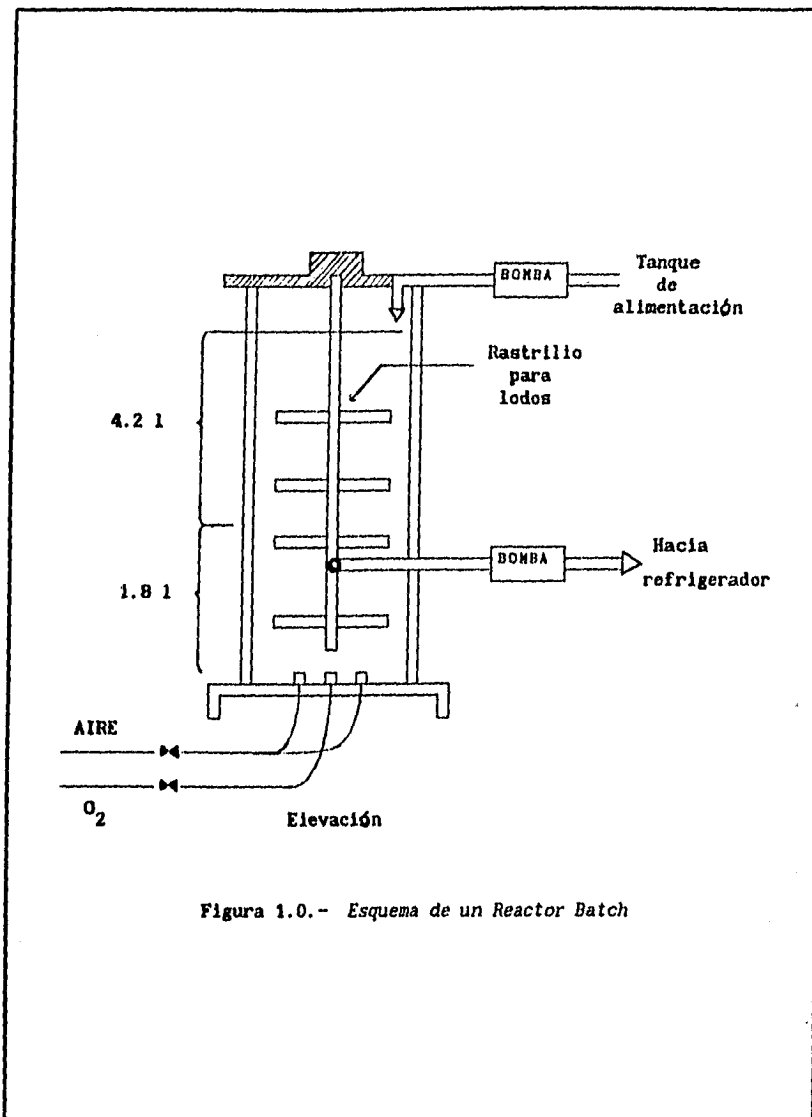


Figura 1.0.- Esquema de un Reactor Batch

Incluyen cargas orgánicas e hidráulicas altamente variables, capacidad de clarificación secundaria rediseñada y disponibilidad limitada de personal de operación y mantenimiento experimentado.

Generalmente, los SBRs son un subgrupo de la tecnología de reactor batch intermitente. Desarrollados originalmente en Inglaterra a principios de los 1900's en forma de tanques de llenado y vaciado, los reactores batch de tratamiento de aguas residuales, por las altas demandas en el tiempo de operación y la falta de controles automatizados confiables, fueron sustituidos por los sistemas de lodos activados de flujo continuo. El advenimiento de controles automatizados confiables y baratos basados en un microprocesador, acoplado con un considerable trabajo de desarrollo sobre los SBRs en los Estados Unidos, culminó en una demostración a gran escala de SBR en Culver, Indiana.

Un sistema SBR puede estar compuesto de uno o más tanques. En el tratamiento de desechos biológicos, cada tanque en el sistema tiene cinco operaciones básicas o periodos, cada uno de los cuales es nombrado de acuerdo a su función primaria. Los periodos son llenado, reacción, sedimentación, vaciado o descarga y reposo. El llenado (recepción del agua residual cruda) y el vaciado (la descarga del efluente tratado) necesita ocurrir en cada ciclo completo para un tanque dado. La reacción (el tiempo para completar las reacciones deseadas), sedimentación (el tiempo para separar los microorganismos del efluente tratado) y reposo (el tiempo después de la descarga del tanque y antes del llenado) pueden ser eliminados dependiendo de los requerimientos del tratamiento problema<sup>(24)</sup>.

La duración de cada periodo está gobernado por el tamaño y variabilidad de la carga hidráulica, la necesidad para satisfacer la demanda de oxígeno a un nivel económico de consumo de energía y los requerimientos para funciones adicionales tales como remoción de nutrientes. La selección apropiada de tiempo para que los componentes del ciclo puedan alcanzar una ejecución meritoria.

La tecnología SBR ofrece un número de ventajas sobre los sistemas convencionales de lodos activados. Iguala picos hidráulicos transitorios y simplifica la operación eliminando el reciclado del lodo. El periodo de sedimentación permite clarificación bajo condiciones de reposo. También, los SBRs son baratos y se prestan para automatización<sup>(23)</sup>.

## J) MICROORGANISMOS DE IMPORTANCIA EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Es esencial en la tecnología sanitaria un entendimiento de los organismos biológicos clave -bacterias, virus, hongos, algas, protozoarios, crustáceos y peces. Las bacterias y los protozoarios comprenden los principales grupos de microorganismos en el sistema 'viviente' que se usa en el tratamiento biológico de las aguas residuales<sup>(2)</sup>.

El análisis microscópico revela que el lodo está formado por una población heterogénea, que cambia continuamente como respuesta a la variación en la composición del desecho y a las condiciones ambientales como pH, temperatura, luz, nutrientes, desechos tóxicos, etc.<sup>(26)</sup>.

Los microorganismos se agrupan en tres reinos: protista, vegetales y animales. En el Cuadro 1.4 se presentan en forma resumida algunos datos sobre las características de los microorganismos de cada reino.

REINO	MIEMBROS REPRESENTATIVOS	CARACTERIZACION
ANIMAL	ROTIFEROS	MULTICELULARES CON DIFERENCIACION DE TEJIDOS
	CRUSTACEOS	
VEGETAL	MUSGOS	
	HELECHOS	
	PLANTAS DE SEMILLA	
PROTISTA		UNICELULARES O MULTICELULARES, SIN DIFERENCIA- CION DE TEJIDOS
SUPERIORES *	ALGAS	
	PROTOZOOS	
	HONGOS	
	MUCILAGOS	
INFERIORES **	ALGAS VERDIAZULES	
	BACTERIAS	

Cuadro 1.4.- Los reinos de los microorganismos <sup>(22)</sup>.

Un organismo debe de tener una fuente de energía y de carbono para la síntesis de nueva materia celular. Los elementos inorgánicos, tales como el N y el P, y otros elementos que se encuentran a nivel de vestigios, S, K, Ca y Mg son también vitales para la síntesis celular. Dos de las fuentes más comunes de carbono celular para los microorganismos son el anhídrido carbónico y la materia orgánica <sup>(22)</sup>.

Los organismos se clasifican en dos grupos principales dependiendo de su fuente de nutrientes: Heterótrofos y Autótrofos. Los heterótrofos utilizan materia orgánica como fuente de energía y carbono para la síntesis. Los autótrofos oxidan compuestos inorgánicos para usarlos como energía y fuentes de CO<sub>2</sub> y C <sup>(2)</sup>.

La energía también es necesaria para la síntesis de nueva materia celular. En los organismos autótrofos; la energía puede proporcionarla el sol, como en la fotosíntesis, o una reacción orgánica de oxidación-reducción. Si la energía fuese solar, al organismo se le denomina autótrofo fotosintético. Si fuese proporcionada por una reacción inorgánica de oxidación-reducción se le conocerá por el nombre de autótrofo quimiosintético. El Cuadro 1.5 presenta una clasificación de los microorganismos según su fuente de energía y de carbono celular.

CLASIFICACION	FUENTE DE ENERGIA	FUENTE DE CARBONO
AUTOTROFOS:		
FOTOSINTETICOS	LUZ	CO <sub>2</sub>
QUIMIOSINTETICOS	REACCION INORGANICA DE OXIDACION-REDUCCION	CO <sub>2</sub>
HETEROTROFOS	REACCION ORGANICA DE OXIDACION-REDUCCION	CARBONO ORGANICO

**Cuadro 1.5.- Clasificación general de los microorganismos según sus fuentes de energía y de carbono celular.**

#### BACTERIAS:

Las bacterias son protistas unicelulares, su modo habitual de reproducción es por fisión binaria. Si bien existen miles de diferentes especies de bacterias, su forma general encaja dentro de algunas de estas tres categorías: esféricas, cilíndricas y helicoidales. Su rango de tamaño es de 0.5-5  $\mu\text{m}$ .



Las bacterias están compuestas por un 80% de agua y el 20% restante de materia seca, de la cual el 90% es materia orgánica y el 10% inorgánica.

La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida y muerte de las bacterias, así como en otras plantas y animales microscópicos. Según el grado de temperatura en que se desarrollan mejor, las bacterias se clasifican en criófilas o psicrófilas, mesófilas y termófilas, como puede verse en el Cuadro 1.6. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento de bacterias se encuentra entre 6.5 y 7.5<sup>(22)</sup>.

TIPO	TEMPERATURA EN °C	
	INTERVALO	OPTIMA
CRIOFILAS	- 2 - 30	12 - 18
MESOFILAS	20 - 45	25 - 40
TERNOFILAS	45 - 75	55 - 65

Cuadro 1.6.- Intervalos típicos de temperatura para diversas bacterias<sup>(22)</sup>.

#### HONGOS:

Los hongos son protistas heterótrofos, no fotosintéticos y multicelulares. Se clasifican generalmente por su modo de reproducción. Se reproducen sexual o asexualmente por fisión binaria, germinación o formación de esporas. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos. Pueden crecer con muy poca humedad y toleran un medio ambiente con un pH relativamente bajo. El pH óptimo para la mayoría de las especies es de 2-9. Los hongos tienden a ser filamentosos y presentan una mayor masa por área superficial.

#### ALGAS:

Las algas son microorganismos fotosintéticos que requieren de la luz solar para obtener energía, mientras que usan compuestos inorgánicos para el protoplasma celular.

#### PROTOZOARIOS Y ROTIFEROS:

Los protozoarios son microorganismos unicelulares que viven de las bacterias y pequeñas algas, ayudando a remover las bacterias dispersadas y las algas de sistemas. Los protozoarios flagelados son recolectores de energía no muy eficientes y no pueden competir con las formas superiores de protozoarios. Los protozoarios ciliados nadan libremente y son los protozoarios más eficientes que metabolizan cantidades muy grandes de bacterias. Los rotíferos son animales multicelulares que pueden comer pequeñas partículas así como bacterias y algas<sup>(27)</sup>.

#### VIRUS:

Los virus son parásitos obligados, intracelulares, que se replican sólo en las células vivas de los hospedadores. Se componen principalmente de ácidos nucleicos y proteínas, carecen de sistemas metabólicos para su propia reproducción. Su pequeño tamaño requiere verlos bajo el microscopio electrónico; muchos virus de interés en tecnología sanitaria son del tamaño de 20 a 100nm, lo cual es casi la quinta parte de una bacteria. Las partículas virales son generalmente helicoidales, icosaédricos o complejos. Los virus que infectan solamente bacterias se llaman bacteriófagos o simplemente fagos<sup>(2)</sup>.

## K) CRECIMIENTO BACTERIANO

El control eficaz del medio ambiente en el tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el conocimiento de los principios básicos que gobiernan el crecimiento de las bacterias que son los microorganismos de importancia capital en tratamiento biológico<sup>(22)</sup>.

Hace tiempo que en el crecimiento de los cultivos bacterianos se distinguen un cierto número de fases sucesivas siendo las más características: la fase de latencia ('lag phase'), la fase exponencial y la fase estacionaria<sup>(21)</sup>.

Cuando un pequeño inóculo de células bacterianas viables se pone en un vaso cerrado con un exceso de alimento y condiciones medioambientales ideales, ocurre el crecimiento ilimitado.

Monod graficó la curva resultante del crecimiento microbiano en la cual pueden definirse sus fases discretas del desarrollo bacteriano (Fig. 1.1).

La concentración microbiana se expresa usualmente como el número de células por unidad de volumen o masa de células por unidad de volumen del reactor<sup>(10)</sup>.

Una vez que las células se ajustan a su nuevo medio ambiente, comienzan a crecer a la velocidad máxima. Esta velocidad persiste hasta que la composición del medio es alterada por las actividades metabólicas de las células en crecimiento. Las células se incrementan en masa sintetizando nuevos componentes hasta que doblan en tamaño y se dividen<sup>(18)</sup>.

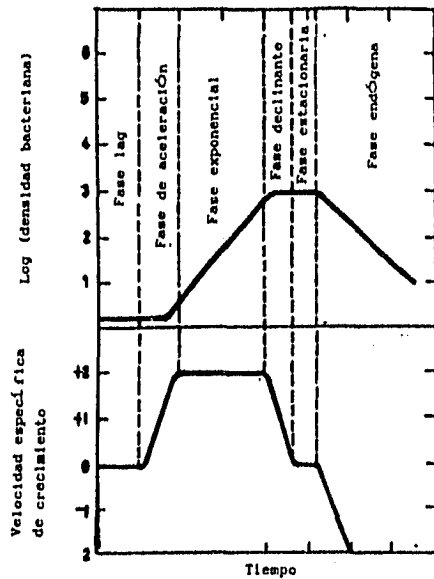


Figura 1.1.- Curva de crecimiento microbiano que muestra la densidad bacteriana y la velocidad específica de crecimiento.

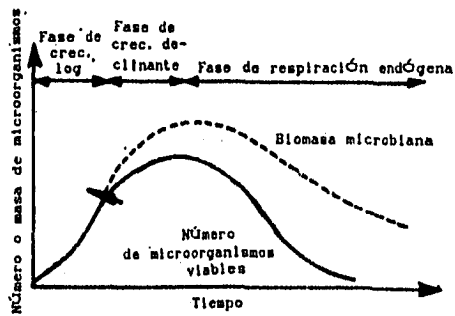


Figura 1.2.- Curvas de crecimiento microbiano que comparan biomasa total y biomasa viable.

El modo habitual de reproducción de las bacterias es por fisión binaria<sup>(22)</sup>. Cada vez que una bacteria se divide produce dos células hijas, cuando las células en un cultivo se dividen a una velocidad constante<sup>(18)</sup>

En el crecimiento de un cultivo bacteriano, se presentan una sucesión de fases, caracterizadas por una variación de la velocidad de crecimiento, pueden ser convenientemente distinguidas. Pueden definirse las siguientes fases:<sup>(23)</sup>

- 1.- Fase lag: velocidad de crecimiento nula;
- 2.- Fase de aceleración: velocidad de crecimiento se incrementa;
- 3.- Fase exponencial: velocidad de crecimiento constante;
- 4.- Fase de retardación: velocidad de crecimiento disminuye;
- 5.- Fase estacionaria: velocidad de crecimiento nula;
- 6.- Fase de declinación o fase endógena: velocidad de crecimiento negativa.

El periodo de poca o ninguna división celular se llama fase lag<sup>(19)</sup>, representa la aclimatación de los organismos al substrato con periodos de tiempo de generación y velocidades de crecimiento cero<sup>(10)</sup>. Pero durante este tiempo las células no están latentes, la población microbiana tiene una intensa actividad metabólica, en particular de síntesis de enzimas<sup>(19)</sup>. Los nutrientes se toman dentro de las células y el tamaño y la masa de las bacterias se incrementa conforme aumenta la cantidad de enzimas y ácidos nucleicos<sup>(10)</sup>. Estas enzimas y metabolitos incluyen los aminoácidos no presentes en el nuevo medio y la(s) enzima(s) necesarias para metabolizar nuevas fuentes de energía, al mismo tiempo, los productos tóxicos son metabolizados por las células o diluidos por el nuevo medio de crecimiento<sup>(10)</sup>. Sin embargo, dependiendo del tamaño y grado de adaptación del inóculo a su nuevo medio ambiente, la fase lag puede ser muy corta o aún ausente<sup>(10)</sup>. La longitud de la fase varía ampliamente, pero será grande si las células inoculadas son viejas,

están dañadas en cualquier forma o si han crecido previamente en un medio muy diferente. Si el inóculo es de células de crecimiento rápido de un medio idéntico entonces el lag (retardo) será fácilmente perceptible<sup>(15)</sup>. Este periodo puede durar desde una hora hasta varios días<sup>(19)</sup>. El periodo lag finaliza cuando las células empiezan a crecer exponencialmente, con un tiempo constante de generación<sup>(18)</sup>.

Bajo condiciones adecuadas, las fases lag y de aceleración a menudo pueden estar suprimidas<sup>(23)</sup>. Las células sólo comienzan a dividirse cuando hay una concentración suficiente de las enzimas apropiadas, pero una vez que ha comenzado la división, la densidad de población de las bacterias se incrementa rápidamente. En la fase de aceleración, el tiempo de generación disminuye y hay un incremento perceptible en la velocidad de crecimiento que conduce a la fase exponencial o log<sup>(10)</sup>.

En esta fase el tiempo de generación es mínimo, pero constante, con una velocidad de crecimiento específica máxima y constante resultando en un incremento rápido en el número y masa de microorganismos<sup>(10)</sup>. En un microorganismo intracelular el resultado de dicha velocidad constante debe ser un incremento exponencial en la masa y el número de células. La consecuencia de esto es que aunque el incremento en el número de células es lento inicialmente, éste, eventualmente llega a ser explosivo y los efectos prácticos de dicho crecimiento en la naturaleza son muchos. Sin embargo, esta fase exponencial no puede proseguir indefinidamente<sup>(15)</sup>. La velocidad de crecimiento de una especie dada durante el crecimiento exponencial dependerá de la composición del medio, su pH, fuerza iónica, fuente de carbono y las capacidades fisiológicas del organismo<sup>(18)</sup>. Durante la fase log, las células comienzan a mostrar sus características visibles -la forma, color, densidad y agrupaciones de sus colonias- la fase log también es el tiempo cuando las células están más activas metabólicamente. Sin embargo, durante la fase de crecimiento log, los microorganismos son más sensibles a las condiciones adversas de lo que lo son usualmente<sup>(19)</sup>. Este es el

periodo cuando la conversión del sustrato está en su velocidad máxima, la condición de estado estable del crecimiento está indicada por una relación aproximadamente constante de DNA/cel, RNA/cel y Proteínas/cel así como una constante de densidad celular y un tamaño de célula mínimo. La velocidad del metabolismo y en particular, la velocidad de crecimiento está limitada solo por la generación microbiana y su habilidad para procesar el sustrato<sup>(10)</sup>.

La transición entre la **fase exponencial** y la **fase estacionaria**, se llama **fase de retardación**, e involucra un periodo de crecimiento desbalanceado durante el cual los varios componentes celulares se sintetizan a velocidades desiguales<sup>(14)</sup>. La **fase de retardación** frecuentemente es tan corta que puede ser imperceptible. Lo mismo es a veces cierto para la **fase estacionaria**<sup>(23)</sup>.

Los cultivos bacterianos entran en **fase estacionaria** cuando el medio ya no puede sostener un incremento en la masa celular<sup>(18)</sup>. En esta fase el número de células en el cultivo permanece constante por lo que las células se están muriendo a la misma velocidad que las células nuevas están siendo producidas; o sea que resulta de un equilibrio entre la multiplicación y la muerte, y esto puede ocurrir si los productos tóxicos se acumulan, normalmente es la consecuencia de no haber ni crecimiento ni muerte<sup>(15,18)</sup>. Esto es, que es una fase donde el sustrato y los nutrientes se agotan y hay una alta concentración de metabolitos tóxicos. Esto ha sugerido que la mayoría de las células permanecen viables durante esta fase pero en un estado de animación suspendida sin el sustrato necesario o condiciones medioambientales para continuar reproduciéndose<sup>(10)</sup>. Las células son uniformemente más pequeñas que durante el crecimiento exponencial ya que la división celular continúa conforme la velocidad de síntesis se va deteniendo<sup>(18)</sup>. Consecuentemente, las células en la **fase estacionaria** tienen una composición química que es diferente de las de la **fase exponencial**. La composición celular de las células en la **fase estacionaria** depende del factor específico de limitación del crecimiento. A pesar de esto, se tienen varias generalizaciones: las

células en la fase estacionaria son pequeñas en relación a las células de la fase exponencial (ya que la división celular continúa después de que el incremento en masa se detuvo), y son más resistentes a los agentes físicos (calor, frío, radiación) y químicos adversos<sup>(14)</sup>. La longitud de la fase estacionaria depende del factor llevado y del microorganismo afectado y pueden ser minutos, horas, días o aún semanas<sup>(15)</sup>.

La fase exponencial continúa hasta que el sustrato llega a disminuirse<sup>(10)</sup>, limitando el crecimiento bacteriano<sup>(2)</sup>. Por lo que la fase de crecimiento endógeno, o de muerte logarítmica, es un periodo de metabolismo decreciente con una disminución resultante en la biomasa y el número de bacterias viables<sup>(2)</sup>. Las células mueren por que son incapaces de obtener energía y los nutrientes necesarios para mantener las funciones esenciales<sup>(18)</sup>. Las bacterias que permanecen compiten por la pequeña cantidad de sustrato que aún está en solución<sup>(2)</sup>. El sustrato está agotado y los metabolitos tóxicos han llegado a ser desfavorables para la sobrevivencia celular<sup>(10)</sup>. Como resultado hay una divergencia incrementada entre la cuenta total y viable<sup>(15)</sup>. Cuando ocurre el proceso irreversible o de muerte, las células comúnmente comienzan a digerirse y la lisis o más estrictamente hablando, resulta la autólisis<sup>(15)</sup>. Esto es, que las células que son incapaces de sintetizar nuevas células lisan sus paredes por que no pueden manufacturar el material de la pared celular lo suficientemente rápido para reparar las secciones dañadas<sup>(18)</sup>. La acción de lisis disminuye el número de células y la biomasa total<sup>(2)</sup>. Dicha autólisis tiene algunos resultados interesantes. (Si un cultivo de laboratorio se deja en fase de muerte, de tal forma que un porcentaje razonable de células se lisan, las restantes pueden ser capaces de crecer en los productos de la lisis. En otras palabras, ocurre el canibalismo. Esta corta fase de crecimiento es seguida de una fase posterior de muerte y el proceso se repite hasta que no permanecen células. En esta forma un cultivo puede permanecer viable por mucho tiempo aunque debería notarse que estamos seleccionando eventualmente los organismos en un cultivo que se lisa menos



rápida-mente o son los mejores caníbales<sup>(15)</sup> ]. La densidad microbiana disminuye rápidamente con una alta velocidad de muerte de los microorganismos resultando que la velocidad de metabolismo y por lo tanto la velocidad de eliminación del sustrato también se declina. La masa total del protoplasma microbiano disminuye conforme las células mueren y se lisan, liberan sus nutrientes formados en solución, aunque hay un decremento continuo en el número y masa de microorganismos<sup>(10)</sup>.

## L) PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

Este proceso fué desarrollado en Inglaterra en 1914 por Andern y Lockett y llamado así por que suponía la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia<sup>(22)</sup>.

El proceso de lodos activados es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e industriales. Han surgido variaciones del sistema básico durante algunos años, los cuales confieren al tratamiento una versatilidad que le permite adaptarse a un amplio campo de circunstancias operacionales.

El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta en forma de suspensión floculenta en un sistema aerado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal se eliminan rápidamente de las aguas residuales por absorción y aglomeración en los flóculos microbianos. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen luego más lentamente por metabolismo microbiano, proceso conocido como 'estabilización'. En este proceso, parte del material metabólico se oxida a sustancias simples como el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), un

proceso denominado 'mineralización', y parte se convierte en una materia nueva celular microbiana, llamado asimilación. Parte de la masa microbiana se descompone también de la misma manera, un proceso llamado 'respiración endógena'. El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la operación de los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como el 'lodo', se separa del agua residual por sedimentación, la etapa de sedimentación también se conoce como clarificación, asentamiento o separación. Del sobrenadante de la etapa de sedimentación resulta entonces el agua residual tratada y debe estar virtualmente libre de lodos. La mayor parte del lodo sedimentado se regresa a la etapa de aeración con el fin de mantener la concentración de lodos en el tanque de aeración al mejor nivel necesario para un tratamiento efectivo ya que debe actuar como un inóculo microbiano. Parte de los lodos se extraen y sedescargan, a éstos se les conoce como 'lodos activados desechados o excedentes'. La naturaleza floculenta de los lodos activados resulta importante, en primer lugar para la absorción de las materias coloidales, iónicas y en suspensión dentro del agua residual, y en segundo lugar para la separación rápida, eficiente de la masa microbiana del agua residual tratada.

La alimentación de agua residual al tanque de aeración pasa corrientemente por un proceso primario de tratamiento, y se obtiene la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos, materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación<sup>(25)</sup>

En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia, ya que ésta es la responsable de la descomposición de la materia orgánica en el influente. En general, las bacterias en el proceso son Gram negativas, e incluyen miembros de los géneros *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromohacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacterium*, *Mycobacterium* y las bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Adicionalmente, varias formas filamentosas como *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* y

*Geotrichum* pueden también estar presentes. Los protozoarios flagelados incluyen *Peranema*, *Bodo*, *Oikomonas* y *Monas*, mientras que los protozoarios ciliados incluyen *Lionotus*, *Paramecium*, *Colpidium*, *Euplotes*, *Aspidiscus* y *Stylonychia* por nombrar unos cuantos de los grupos principales. Los protozoarios ciliados cazadores incluyen *Vorticella*, *Epistylis*, *Opercularia* y *Garchesium*<sup>(22,24,25,27)</sup>.

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales predominan las bacterias que puedan metabolizar la máxima cantidad de los diferentes compuestos orgánicos solubles. Las enzimas de la superficie convierten los compuestos orgánicos suspendidos a compuestos orgánicos solubles. Como las bacterias pesan aproximadamente  $10^{-12}$  g cadauna, es necesaria una población muy grande de bacterias para estabilizar los compuestos orgánicos en las aguas residuales municipales. Mientras que muchas bacterias en los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizan compuestos orgánicos para su metabolismo, hay un grupo importante de bacterias que utilizan compuestos inorgánicos para su metabolismo. Como un resultado neto, los dos grupos de bacterias no compiten unas con otras por sus nutrientes y ambas crecen en el mismo medio. Las aguas residuales normalmente contienen entre  $10^5$  y  $10^7$  bacterias/ml, dependiendo del tiempo de transporte en el sistema de colección de alcantarillas.

Las aguas residuales municipales contienen esporas de hongos, principalmente provenientes del suelo. Al igual que las esporas de los hongos, las algas entran en las aguas residuales municipales del suelo; como un resultado neto, las algas no compiten con las bacterias y los hongos por los nutrientes.

Los rotíferos pueden atacar a las partículas floculadas por sí mismos y pastar en las bacterias que están en la superficie del flóculo. Por su gran tamaño, los protozoarios y los rotíferos son fácilmente reconocidos bajo el microscopio y a menudo se utilizan como indicadores de los sistemas de tratamiento de aguas residuales<sup>(27)</sup>.

## M) DINAMICA DE POBLACION

En el procesamiento biológico de desechos, la biota que existe naturalmente son una variedad de bacterias creciendo en asociación mutua con otras plantas microscópicas y animales. Tres de los principales factores en la dinámica de población son la competencia por el mismo alimento, la relación depredador-presa, y la asociación simbiótica. Cuando se alimenta materia orgánica a una población mixta de microorganismos, surge la competencia por este alimento, y los consumidores primarios que son los más competitivos se hacen dominantes. Bajo condiciones normales de operación, las bacterias son los consumidores primarios en las operaciones aerobias y anaerobias. Los protozoarios que consumen bacterias es la relación depredador-presa común en el lodo activado y filtros percoladores. En las lagunas de estabilización los protozoarios y rotíferos pastan sobre algas y bacterias. La simbiosis es cuando los organismos viven juntos para beneficio mutuo tal como la asociación que produce un crecimiento más vigoroso de ambas especies. Un ejemplo excelente de esto es la relación entre las bacterias y las algas en una laguna de estabilización.

En un proceso de lodos activados los desechos orgánicos sirven como alimento para las bacterias, y la pequeña población de hongos que pudiera estar presente. Algunas bacterias mueren y se lisan, liberando sus contenidos, que se resintetizan por otras bacterias. Los consumidores secundarios (protozoarios) consumen varios miles de bacterias para una reproducción simple. El beneficio de esta acción depredador-presa es doble: (1) remoción de las bacterias que estimulan el crecimiento posterior bacteriano, acelerando el metabolismo de la materia orgánica; y (2) las características de sedimentación del flóculo biológico se mejoran reduciendo el número de bacterias libres en solución. El efluente del proceso consiste de materia orgánica no sedimentable y sales inorgánicas no disueltas (Fig. 1.3).

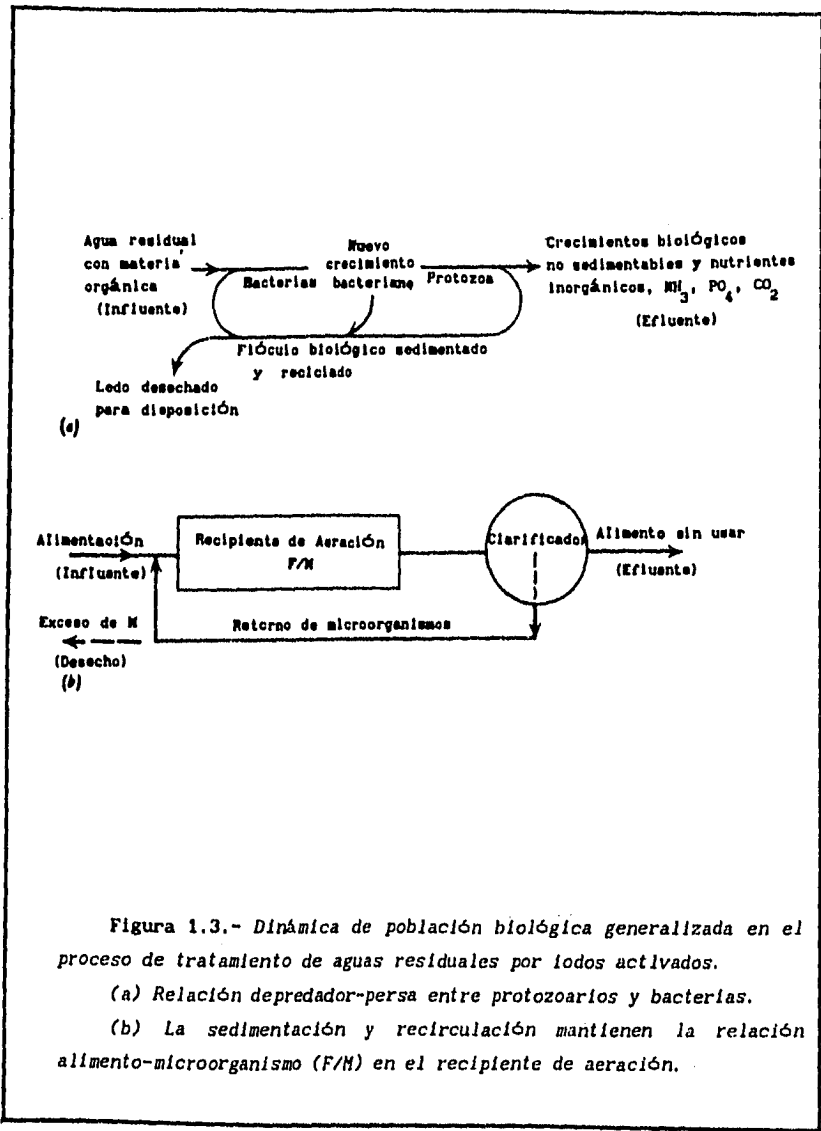


Figura 1.3.- Dinámica de población biológica generalizada en el proceso de tratamiento de aguas residuales por lodos activados.

(a) Relación depredador-presa entre protozoarios y bacterias.

(b) La sedimentación y recirculación mantienen la relación alimento-microorganismo (F/M) en el recipiente de aeración.

El control de las poblaciones microbianas es esencial para el tratamiento aerobio eficiente. Si el agua residual fuera simplemente aerada, los tiempos de retención del líquido deberían de ser intolerablemente largos, requiriendo un periodo de tiempo de casi 5 días a 20°C para una retención del 70%. Sin embargo, la extracción de la materia orgánica es posible en unas cuantas horas de aeración proporcionada en las que un gran número de microorganismos se mezclan con el agua residual. En la práctica esto se alcanza sedimentando los microorganismos fuera de la solución en un sedimentado final y retornándolos al tanque de aeración para metabolizar los desechos orgánicos adicionales (Fig. 1.3). Las buenas características de sedimentación se presentan cuando un lodo activado se mantiene en la fase endógena (inanición). Además, una gran población de biota desnutrida remueve DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) muy rápidamente de la solución. El exceso de microorganismos se desecha del proceso para mantener el balance adecuado entre el suministro de alimento y la masa biológica en el tanque de aeración. Este balance se refiere a cómo la relación alimento-microorganismo (F/M) la cual normalmente se expresa en unidades de gramos de DBO aplicado/día/gramo de SSLM (Sólidos suspendidos de Licor Mezclado) en el tanque de aeración. Una operación de la relación F/M resulta en el metabolismo incompleto de la materia orgánica, pobres características de sedimentación del flóculo biológico y consecuentemente una pobre eficiencia de remoción de DBO. A una relación baja de F/M, la masa de microorganismos está en una condición cercana a la inanición, que resulta en un alto grado de remoción de materia orgánica, buena sedimentabilidad del lodo activado y una eficiente remoción de la DBO<sup>(2)</sup>.

## N) ORGANISMOS INDICADORES

El análisis bacteriológico que se practica habitualmente al agua está encaminado a la obtención y determinación de 'microorganismos indicadores' cuya presencia en el agua, es indicativo de contaminación con materia fecal de personas o de otros animales de sangre caliente. Esta clase de contaminación significa que existe la oportunidad de que varios microorganismos patógenos que se encuentran periódicamente en el tracto intestinal, puedan llegar al agua<sup>(29,30)</sup>.

Sin embargo, estos organismos indicadores no tienen una relación directa con el número de patógenos presentes; sino que se dirigen a evaluar el grado en que ha sido contaminada el agua por heces<sup>(8)</sup>.

Las características de un 'organismo indicador' ideal son:<sup>(29)</sup>

- 1) Deben poderse aplicar a los organismos pruebas de laboratorio para todos los tipos de agua a investigarse, cruda o tratada.
- 2) Los organismos indicadores deben estar presentes en el agua cuando los patógenos estén presentes.
- 3) Estar presentes en aguas contaminadas aún cuando no existan patógenos presentes. Si es que puede esperarse que estos últimos ingresen al agua en alguna fecha futura cuando algún caso activo o un portador de la enfermedad se integre al sistema contaminante.

4) Mayor número y capacidad de sobrevivencia que los patógenos.

5) Su densidad debe tener una correlación con el grado de contaminación.

6) Poseer características definidas, estables y uniformes que permitan obtener exactitud en las pruebas de laboratorio, así como reacciones consistentes en las mismas.

7) Ser detectables por pruebas de laboratorio simples, rápidas y económicas<sup>(27)</sup>.

8) Ser inocuas para el hombre y los animales.

9) Siempre ausentes en aguas bacteriológicamente seguras<sup>(29)</sup>.

Obviamente, no existe ningún microorganismo que cumpla con todos estos criterios. Los organismos usados como indicadores se eligen con base a la aplicación particular de la información que de ellos se obtenga. Las aplicaciones potenciales de un organismo indicador incluyen:

- Contaminación fecal o residual.
- La presencia de agua de albañal doméstica.
- La presencia de patógenos.



- La eficiencia de un proceso (s) de tratamiento de aguas o desecho particular.

- El destino en el medio ambiente de un patógeno de interés.

#### GRUPOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN:

- Coliformes totales

- Coliformes fecales

- Estreptococos fecales

- Otros indicadores de contaminación tales como bacterias anaerobias que incluyen *Clostridium*, *Bacteroides* y *Lactobacillus*, que están presentes en materia fecal de humanos y animales<sup>(27)</sup>.

#### 2) COLIFORMES TOTALES

Los principales indicadores de contaminación intestinal o por aguas negras, son las bacterias del grupo coliforme. El Standard Methods define al grupo coliforme como "bacterias aerobias y anaerobias facultativas, Gram negativas, no esporuladas, que fermentan lactosa con formación de gas y acidéz a las 48 horas a 35<sup>0</sup> C". Estas características de su cultivo son la base de las pruebas de rutina para determinar la presencia del grupo en una muestra de agua<sup>(31)</sup>.

Existen diferentes variedades individuales de bacterias clasificadas dentro de este grupo, las cuales son huésped habitual de los intestinos de los animales de sangre caliente. La *Escherichia coli* es quizás el miembro más representativo de este grupo. Así como bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Serratia*. Se ha estimado que el número de bacterias coliformes en las descargas fecales, se encuentran en una concentración promedio de aproximadamente  $10^7$  organismos por gramo ó  $10^9$  organismos diarios por persona<sup>(27,31)</sup>.

#### O) COLIFORMES FECALES

Los coliformes fecales se definen como bacilos cortos, Gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, capaces de fermentar lactosa con producción de ácido y gas en periodos de 24 a 48 horas a  $44 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Las bacterias coliformes fecales constituyen un subgrupo de todos los organismos coliformes en el que se piensa están incluidos organismos con mayor probabilidad de haberse originado en el tracto intestinal del hombre y animales. Incluye primeramente *E. coli* y algunas especies termotolerantes de *Klebsiella*<sup>(27)</sup>.

# OBJETIVOS

## 5.0 OBJETIVOS:

- Determinar la calidad bacteriológica de las aguas residuales del Interceptor Poniente de la Ciudad de México, tratadas mediante un proceso SBR (Sistema de Reactor Batch) utilizando como parámetros bacteriológicos la técnica del NMP (Número más Probable) y el recuento total de mesófilos aerobios.
- Con base al objetivo anterior, establecer el tipo de reuso adecuado para el agua tratada.
- Determinar bajo qué condiciones de operación de los reactores SBR se obtiene la mejor calidad bacteriológica del agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México tratada mediante dichos sistemas.

**MATERIAL**

## 6.0 MATERIAL :

### Material de Vidrio:

- \* Pipetas graduadas de 1ml (PYREX)
- \* Pipetas graduadas de 5ml (PYREX)
- \* Pipetas graduadas de 10ml (PYREX)
- \* Tubos con tapón de rosca de baquelita de 17x190mm (PYREX)
- \* Tubos de Durham
- \* Cajas Petri de 15x100mm (PYREX)
- \* Vasos de precipitados de 100ml (PYREX)
- \* Vasos de precipitados de 500ml (PYREX)
- \* Probetas de 50ml (IVA)
- \* Probetas de 1000ml (IVA)
- \* Matraces Erlenmeyer de 250ml (PYREX)
- \* Matraces Erlenmeyer de 1000ml (PYREX)
- \* Frascos muestra c/tapón rosca de baquelita de 150ml (PYREX)
- \* Botellas de dilución c/tapón esmerilado de 300ml (WHEATON)
- \* Gradillas
- \* Mecheros Fischer
- \* Mecheros de Bunsen
- \* Tripié
- \* Tela de alambre c/asbesto
- \* Espátula
- \* Asa bacteriológica

**Equipo de Laboratorio:**

- Autoclave (mod. 1925X, ALL AMERICAN)
- Balanza granataria (OHAUS)
- Estufa bacteriológica (mod. RCSF-42, RIOS ROCHA)
- Refrigerador científico (mod. 20, Forma Scientific)

**Medios de cultivo y reactivos:**

- Caldo Lactosado (DIBICO)
- Caldo Verde Brillante-Bills (DIBICO)
- Caldo EC (MERCK)
- Agar BHI (Infusión de Cerebro y Corazón) (BIOXON)

DISEÑO  
EXPERIMENTAL



## 7.0 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el presente estudio se utilizaron muestras de aguas residuales tratadas mediante un sistema SBR por lodos activados, bajo diferentes condiciones de operación.

Se trabajó con agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México.

El equipo empleado para el tratamiento del agua residual consiste de: un tanque de alimentación de 120 l, 3 reactores cilíndricos de acrílico transparente de 0.60m de alto por 0.20m de diámetro, 12 l de capacidad y, para la recolección del efluente tratado, 3 contenedores de 8 l de capacidad.

El agua residual se suministra a cada reactor durante el periodo de llenado, por medio de una bomba peristáltica (Master Flex mod. 7014-20) de velocidad programable. El mezclado se acompaña por un agitador magnético (Thermolyne Type 7200). El aire comprimido se suministra a cada reactor a través de piedras de difusión (Bomba de aeración Elite mod. 801) localizadas cerca del fondo de cada reactor. La alimentación y aeración se descontinúan durante la fase de sedimentación. El vaciado se inicia operando una válvula solenoide (Asca Red-Hat II) en la descarga y termina esencialmente cuando el nivel del líquido del reactor alcanza el nivel del puerto de descarga

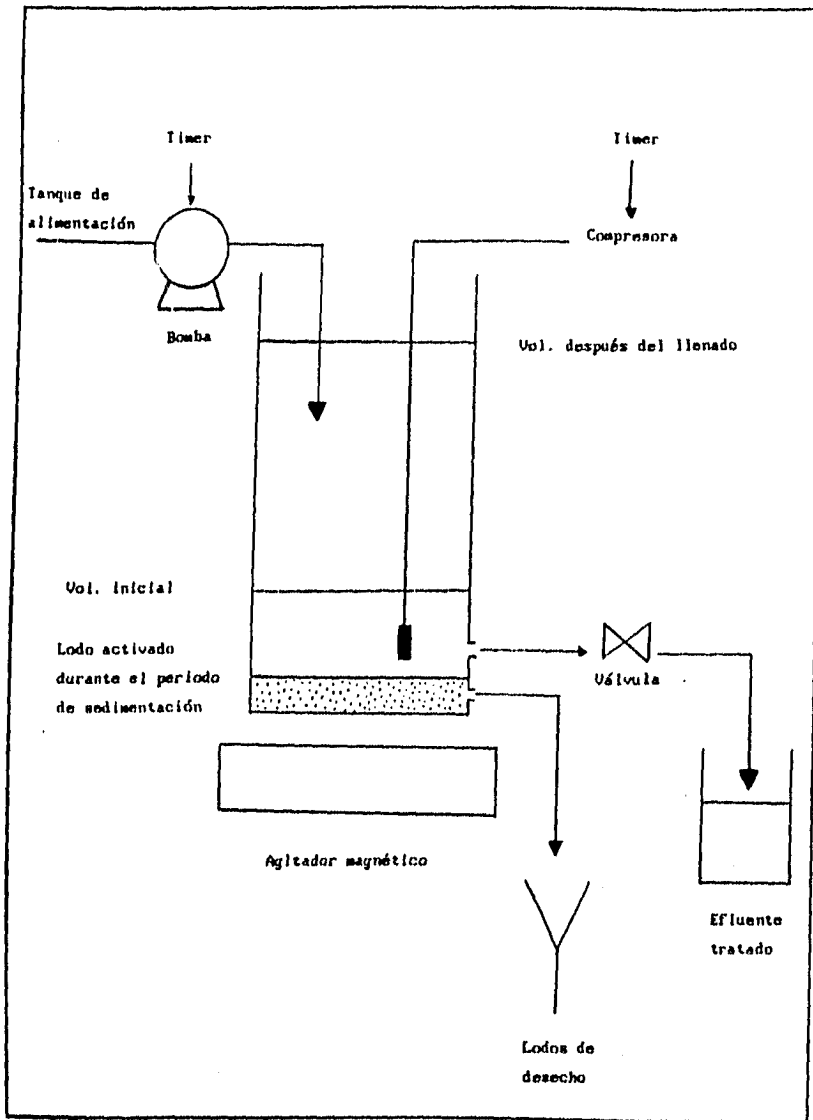


Figura 1.4. - Diagrama del reactor de secuencia Batch.

y en ese momento se cierra la válvula solenoide. Las válvulas solenoides y las bombas de alimentación se controlan mediante un timer controlador electrónico (Timing Motor mod. 4001-00, Paragon Electric Co., Inc.), Fig. 1.4.

Para las determinaciones se tomaron muestras de agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México, las cuales se depositan en un tanque de abastecimiento para alimentar a los reactores (influyente). Dentro de los reactores, el agua es tratada mediante un proceso biológico de lodos activados y posteriormente es descargada a un contenedor (efluente). Tanto el influente como el efluente se someten al análisis bacteriológico, tomándose una muestra semanalmente.

Para algunos experimentos se excluyó la opción del agitador magnético. A cada reactor se le fueron asignando diferentes condiciones de trabajo, con ciclos de operación de 12 y 24 horas. En el reactor 1 (DC-1), se probaron los experimentos I y II. En el reactor 2 (DC-2), los experimentos III y IV. En el reactor 3 (DC-3), el V y VI. Se incorporó la flexibilidad de los sistemas SBR en el estudio experimental para permitir cualquier combinación. En el siguiente cuadro se presentan las condiciones de trabajo de dichos

experimentos:

NUMERO DE EXPERIMENTO	PERIODOS (HORAS)						PERIODOS COMBINADOS (HORAS)
	AL	ME	AE	SE	VA	RE	
I 22/06-31/08/93	1.5	---	21.5	1.0	0.5	1.0	1.5 AL--1.5 AE
II 25/10-17/12/93	2.5	2.5	7.0	1.0	1.5	0.5	2.5 AL--2.5 ME
III 22/06-17/08/93	1.5	---	9.5	1.0	0.5	1.0	1.5 AL--1.5 AE
IV 18/08-17/12/93	1.5	---	8.0	1.0	0.5	1.0	-----
V 22/06-30/08/93	1.5	---	9.5	1.0	1.0	0.5	1.5 AL--1.5 AE
VI 19/10-05/12/93	4.0	4.0	4.5	1.0	0.5	2.0	4.0 AL--4.0 ME

\* Se instalaron dos líneas de aereación.

AL Alimentación      SE Sedimentación  
 ME Mezclado          VA Vaciado  
 AE Aeración          RE Reposo

El experimento I se realizó con un ciclo de 24 horas de --  
 retención celular y los experimentos II, III, IV, V y VI -  
 con ciclos de 12 horas de retención celular.

TABLA 1.0.- RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE OPERACION EMPLEADAS PARA  
 LOS REACTORES SBR.

\*NOTA: Las condiciones de operación de los diferentes reactores,  
 se variaron de acuerdo a los ciclos de aeración y reten-  
 ción celular.

MÉTODOS  
ANALÍTICOS

## 8.0 METODOS ANALITICOS

### COLIFORMES TOTALES

#### **Técnica del Número Más Probable:**

La prueba estándar del grupo coliforme se realiza mediante la técnica del número más probable, con el propósito de obtener un índice del grado de contaminación, por medio de la estimación del número de bacterias presentes en un determinado volumen de agua.

El análisis se realiza en dos etapas: **Pruebas Presuntiva y Confirmativa**, que deben practicarse obligatoriamente para todos los tipos de muestras de agua.

#### **PROCEDIMIENTO:**

##### **a) Prueba Presuntiva:**

- Se emplean tres series de cinco tubos cada una, con campana de Durham invertida.

- Dos de las series de tubos contienen 20ml de caldo lactosado a concentración normal, y una serie, 10ml de caldo lactosado de concentración doble.

- Cada tubo de la primera serie se inocula con 0.1ml de muestra.
- Los tubos de la segunda serie se inoculan con 1ml de muestra.
- Los tubos de la tercera serie se inoculan con 10ml de muestra.
- Se incuban los tubos en una estufa bacteriológica a una temperatura de 35 a 37°C, durante 48±3horas.
- Cualquier indicio de formación de gas dentro de la campana de Durham al finalizar el periodo de incubación indica la presencia de bacterias del grupo coliforme, y por lo tanto, se considera prueba positiva.

**b) Prueba Confirmativa:**

- Para realizar esta parte de la prueba, solo se toman en cuenta los tubos con prueba presuntiva positiva.
- Se utilizan tubos de fermentación con campana de Durham invertida con 20ml de caldo verde brillante bilis al 2%.
- Los tubos se reseñan con un asa bacteriológica y se incuban a 35-37°C durante 48±3horas.

- Cualquier indicio de formación de gas, dentro de la campana de Durham, al finalizar este periodo, indica la presencia del grupo coliforme y se considera prueba positiva. Los resultados se expresan como NMP/100ml (Número Más Probable/100ml).

#### COLIFORMES FECALES:

Debido a que los coliformes fecales forman parte de los coliformes totales, su determinación se realiza a partir de la prueba anterior.

#### PROCEDIMIENTO:

- Para realizar esta prueba se utilizan tubos de fermentación con campana de Durham invertida, conteniendo 20ml de caldo EC.

- Con el asa bacteriológica se transfieren inóculos de cada uno de los tubos con prueba confirmativa positiva.

- Los tubos se incuban a una temperatura de  $45 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , por un periodo de  $48 \pm 3$  horas.

- Cualquier indicio de formación de gas, dentro de la campana de Durham, se considera prueba positiva. Los resultados se expresan como NMP/100ml (Número Más Probable/100ml).



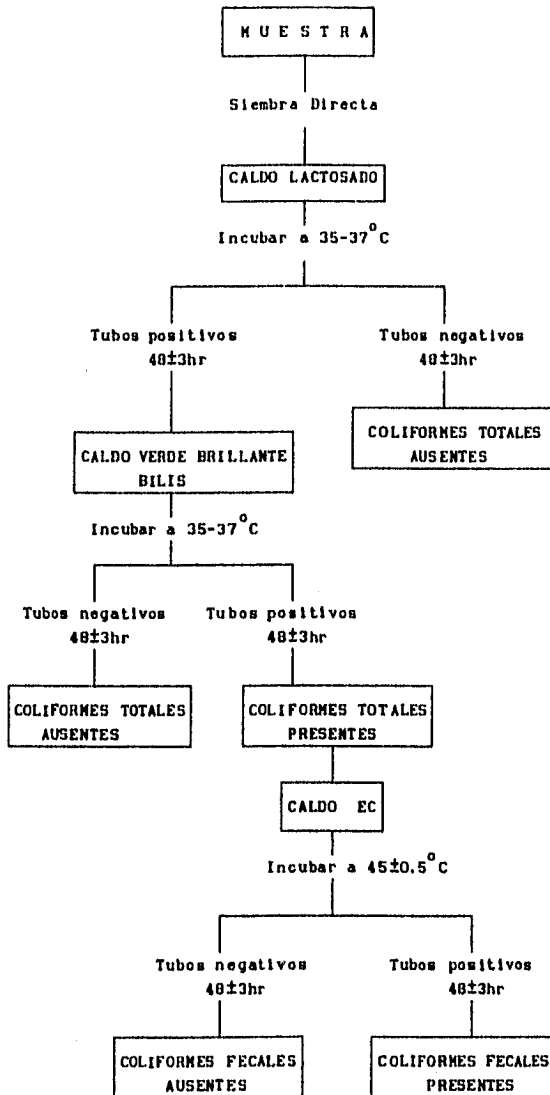


Figura 1.5.- Diagrama experimental de la prueba del NMP

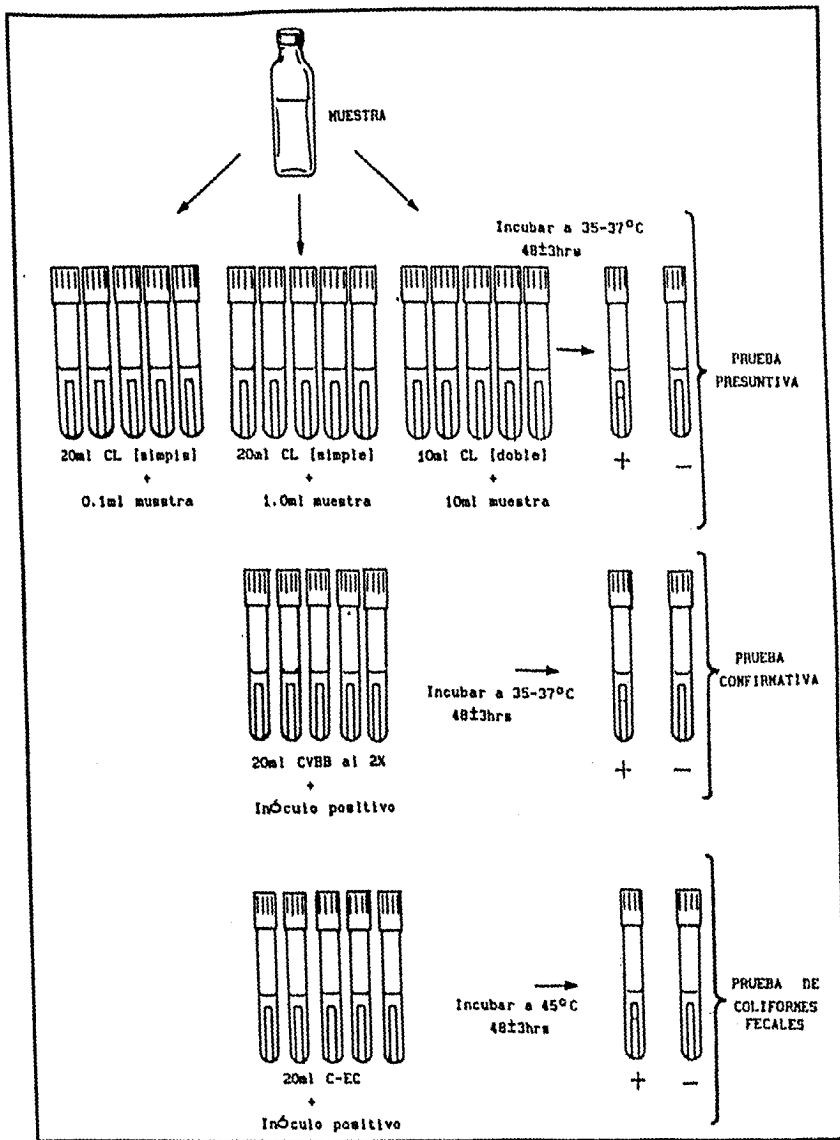


Figura 1.6.- Técnica del NMP (Número Más Probable).

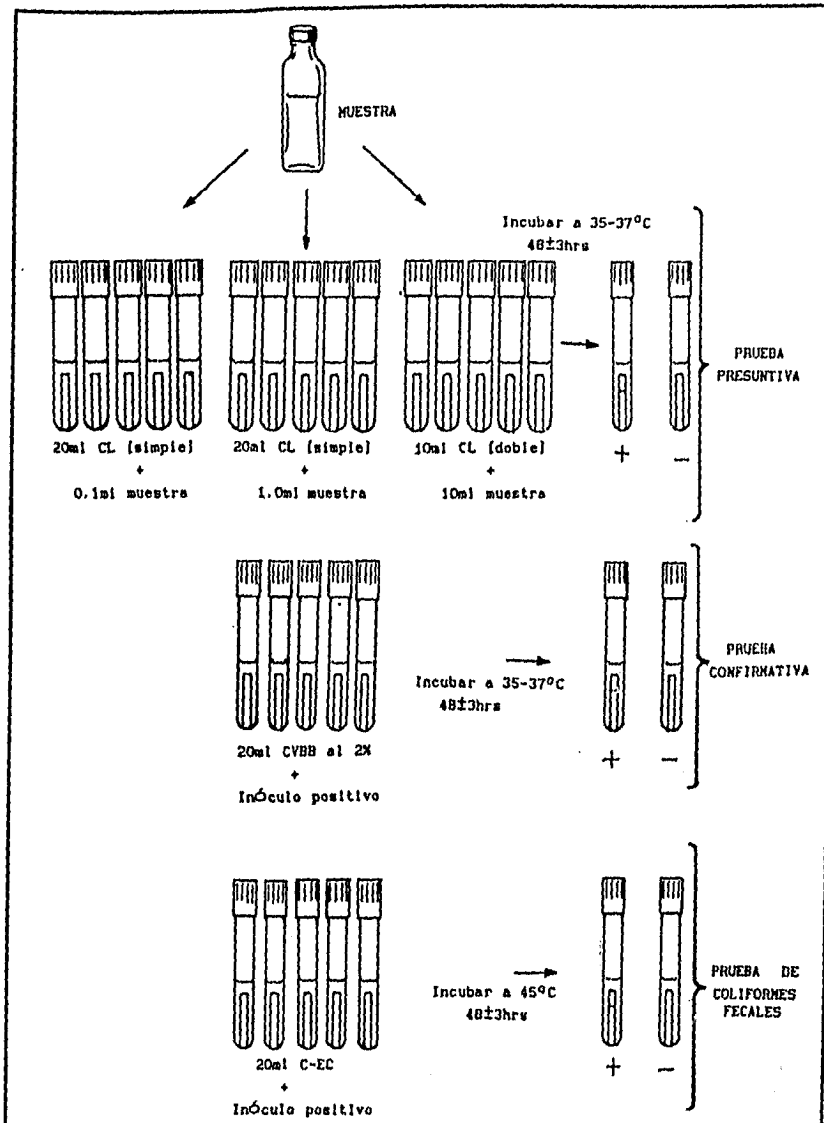


Figura 1.6.- Técnica del NMP (Número Más Probable).

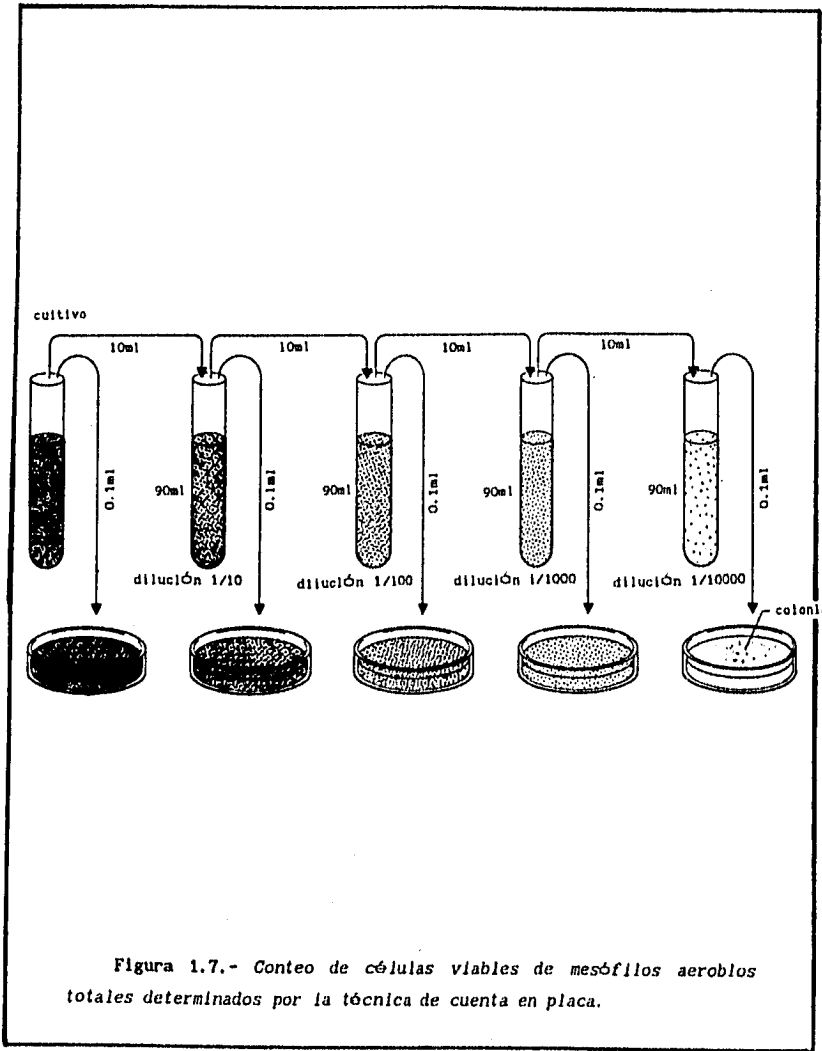


Figura 1.7.- Cuento de células viables de mesófilos aerobios totales determinados por la técnica de cuenta en placa.

## RECUESTO TOTAL DE MESÓFILOS AEROBIOS:

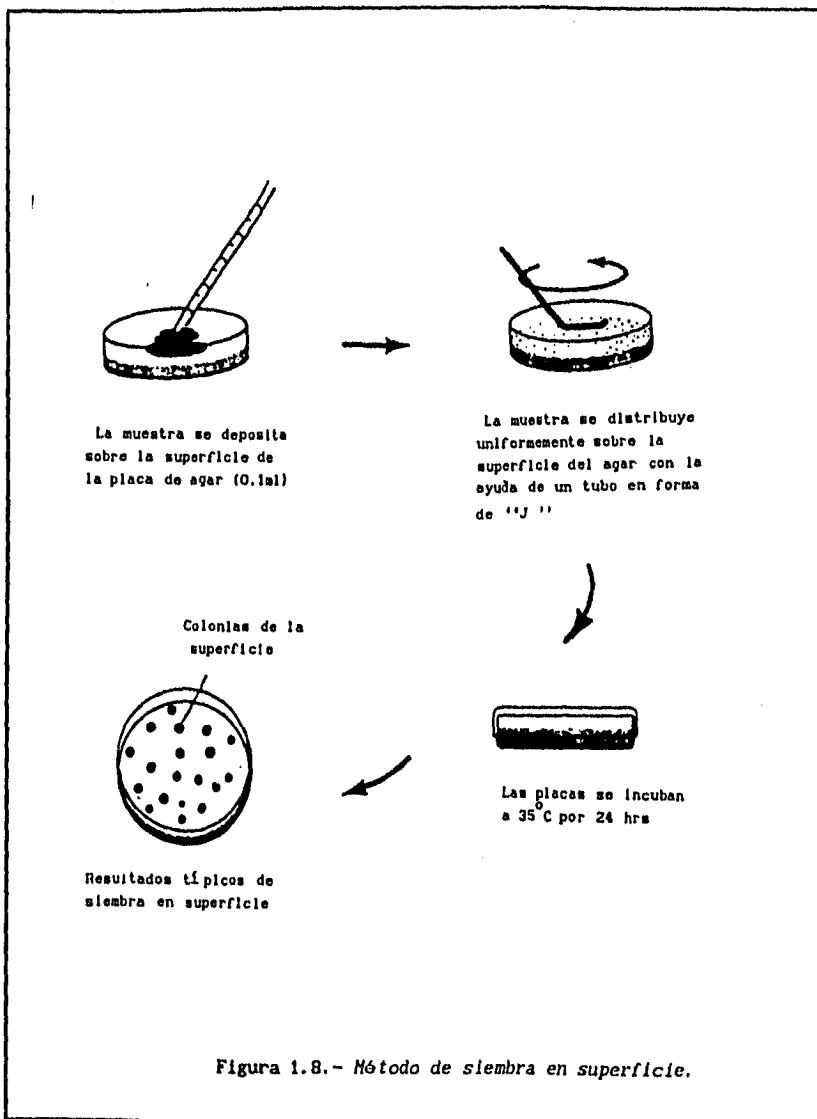
Los organismos mesófilos aerobios son todos aquellos microorganismos que crecen en un medio sencillo de gelosa nutritiva a 35°C en 24 horas.

A través de la técnica de recuento en placa es posible obtener una estimación del número total de bacterias presentes en una muestra. Se inoculan diferentes diluciones de la muestra, se incuban, y posteriormente se realiza un conteo de las colonias para calcular el número de bacterias presentes por mililitro de muestra.

Las diluciones de la muestra deben ser exactas y hechas con las debidas precauciones de esterilidad. Se efectúan las series de diluciones en forma de progresión geométrica de razón  $10^{-1}$ .

### PROCEDIMIENTO:

\* Se ordena una serie de 7 frascos de dilución adicionándose 90ml de agua de dilución a cada uno. Al primer frasco se le agregan 10ml de muestra para obtener la dilución  $10^{-1}$ . Partiendo de ésta, se realizan las siguientes hasta obtener la de  $10^{-7}$ .



\* Se seleccionan tres diluciones y se siembra cada una por triplicado en agar BHI, a cada caja se le adiciona 0.1ml de dilución y se distribuye uniformemente sobre toda la superficie con la ayuda de un tubo en forma de "J", técnica que se conoce con el nombre de siembra por superficie.

\* Se incuban las cajas por 24 horas a 35°C.

\* Con la ayuda de un cuentacolonias, se hace un recuento de todas las colonias que aparecieron en cada caja, y a partir de estos datos se determinan las UFC/ml (Unidades Formadoras de Colonias). Cada bacteria que crece en una colonia visible se cuenta como una UFC. El número de UFCs es una medida directa del número de bacterias viables en el cultivo original.

# RESULTADOS



FECHA	COLIFORMES TOTALES					COLIFORMES FECALES			
	TUBOS POSITIVOS					TUBOS POSITIVOS			
	0.1ml	1.0ml	10ml	NMP	R	0.1ml	1.0ml	10ml	NMP
10/07/93	5	5	5	≥2400	E	5	5	5	≥2400
	5	5	5	≥2400	I	5	5	5	≥2400
15/07/93	5	5	5	≥2400	E	5	5	4	60
	5	5	5	≥2400	I	4	5	5	1600
22/07/93	5	5	5	≥2400	DC1	5	5	5	≥2400
	5	5	5	≥2400	DC2	5	5	3	39
27/07/93	5	5	5	≥2400	DC1	1	0	0	2
	5	5	5	≥2400	DC3	0	2	0	4
05/08/93	5	5	5	≥2400	DC1	5	5	4	60
	5	5	5	≥2400	DC3	5	3	4	47
12/08/93	5	5	5	≥2400	DC1	2	3	0	9
	5	5	5	≥2400	DC3	1	1	1	6
19/08/93	4	5	5	1600	DC1	1	5	5	234
	5	5	5	≥2400	DC3	2	4	4	40
26/08/93	5	5	5	≥2400	DC1	3	4	5	147
	5	5	5	≥2400	DC2	5	5	3	39
26/10/93	5	5	5	≥2400	DC1	0	3	2	12
	5	5	5	≥2400	DC2	1	1	0	4
	5	5	5	≥2400	DC3	4	5	3	36

TABLA 1.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA DEL NMP (NUMERO MAS PROBABLE) PARA COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES DE LAS AGUAS TRATADAS DEL INTERCEPTOR PDNIENTE MEDIANTE UN SISTEMA SBR.

SALUD PÚBLICA  
 CIUDADES Y ZONAS  
 TESTES DE  
 LA RED DE  
 SANEAMIENTO

FECHA	REACTOR	NMP C. T.	XREM.	NMP C. F.	XREM.
10/07/93	INFLUENTE	≥2400	...	≥2400	...
	EFLUENTE	≥2400	0.0	≥2400	0.0
15/07/93	INFLUENTE	≥2400	...	1600	...
	EFLUENTE	≥2400	0.0	60	96.3
22/07/93	DC-1	≥2400	0.0	≥2400	0.0
	DC-2	≥2400	0.0	39	98.37
27/07/93	DC-1	≥2400	0.0	2	99.91
	DC-3	≥2400	0.0	4	99.83
05/08/93	DC-1	≥2400	0.0	60	97.5
	DC-3	≥2400	0.0	47	98.04
12/08/93	DC-1	≥2400	0.0	9	99.62
	DC-3	≥2400	0.0	6	99.75
19/08/93	DC-1	1600	33,4	234	90.25
	DC-3	≥2400	0.0	40	98.33
26/08/93	DC-1	≥2400	0.0	147	93.87
	DC-2	≥2400	0.0	39	98.37
26/10/93	DC-1	≥2400	0.0	12	99.5
	DC-2	≥2400	0.0	4	99.83
	DC-3	≥2400	0.0	36	98.5

TABLA 1.2. PORCENTAJES DE REMOCION DE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES EVALUADOS POR EL METODO DEL NUMERO MAS PROBABLE.

FECHA	EXPERIMENTO	REACTOR	UFC/m1	% REMOC.
15/07/93	.....	INFLUENTE	3,705,555	
22/07/93	I	DC/1	3,333	99.91
27/07/93			16,666	99.55
05/08/93			971,500	73.79
11/08/93			161,109	95.66
11/11/93	III	DC/1	652,222	82.39
22/07/93	IV	DC/2	1,444,444	69.11
19/08/93	V	DC/2	124,444	96.64
11/11/93			8,010	99.78
27/07/93	VI	DC/3	363,333	90.19
05/08/93			207,777	94.39
11/08/93			1,126,666	69.59

TABLA 1.3. RESULTADOS DE LA CUENTA VIABLE DE MICROORGANISMOS MESOFILOS AEROBIOS TOTALES DE LAS AGUAS TRATADAS DEL INTERCEPTOR PONIENTE.

**PORCENTAJES DE REMOCION DE COLIFORMES FECALES,  
EVALUADOS POR EL METODO DEL NMP.**

Porcentajes de remoción

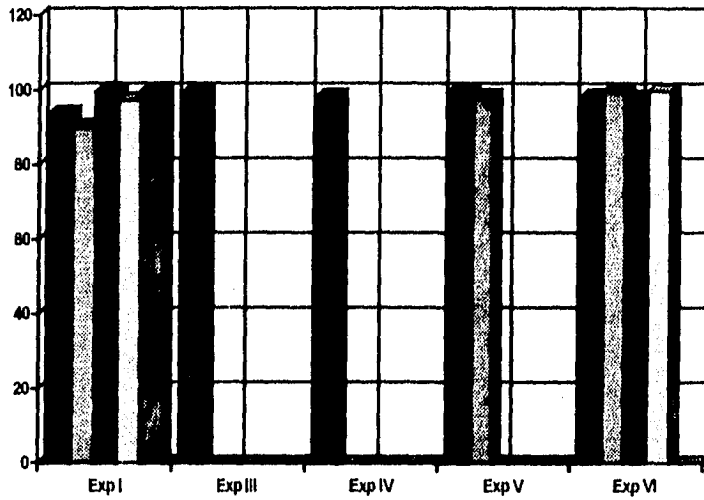


Grafico 1.0

CONDICIONES DE OPERACION		
No. EXP.	CICLO DE RETN. (HRS)	TIEMPO DE AERAC. (HRS)
I	24	21.5
III	12	9.5
IV	12	8.0
V	12	9.5
VI	12	4.5

## PORCENTAJES MAXIMOS DE REMOCION DE COLIFORMES FECALES EVALUADOS POR EL METODO DE NMP

Porcentaje máximo de remoción

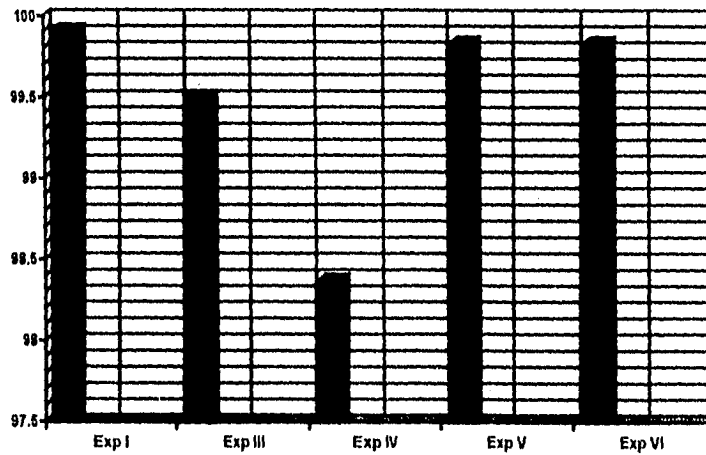
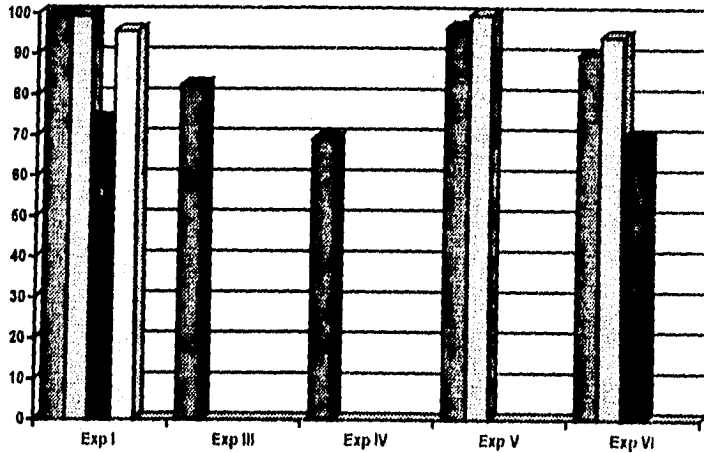


Grafico 1.1

CONDICIONES DE OPERACION		
No. EXP.	CICLO DE RETN. (HRS)	TIEMPO DE AERAC. (HRS)
I	24	21.5
III	12	9.5
IV	12	8.0
V	12	9.5
VI	12	4.5

**PORCENTAJE DE REMOCION DE MESOFILOS AEROBIOS  
 TOTALES, EVALUADOS POR EL METODO DE CUENTA EN  
 PLACA**

**Porcentajes de remoción**



**Grafico 1.2**

CONDICIONES DE OPERACION		
No. EXP.	CICLO DE RETN. (HRS)	TIEMPO DE AERAC. (HRS)
I	24	21.5
III	12	9.5
IV	12	8.0
V	12	9.5
VI	12	4.5

**PORCENTAJES MAXIMOS DE REMOCION DE MESOFILOS  
AEROBIOS TOTALES EVALUADOS POR EL METODO DE  
CUENTA EN PLACA**

Porcentaje máximo

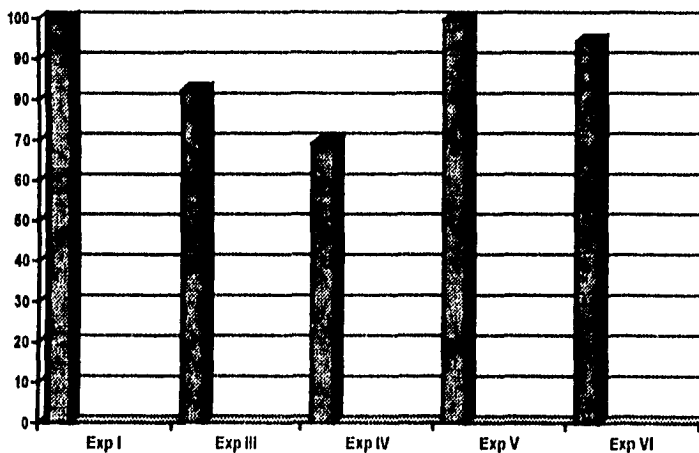


Gráfico 1.3

CONDICIONES DE OPERACION		
No. EXP.	CICLO DE RETN. (HRS)	TIEMPO DE AERAC. (HRS)
I	24	21.5
III	12	9.5
IV	12	8.0
V	12	9.5
VI	12	4.5

ANALISIS DE  
RESULTADOS

## 10.0 ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo del estudio del agua residual suele consistir en calcular la densidad de contaminación bacteriana, determinar la fuente de la misma, reforzar los estándares de calidad de la misma o rastrear la supervivencia de los microorganismos. Cada uno de estos objetivos requiere una valoración numérica para comunicar los resultados.

Las bacterias también proporcionan un medio para evaluar la calidad del agua. El número y tipos de microorganismos presentes antes y después de un proceso unitario son una indicación de la eficiencia del proceso.

La técnica de la fermentación en tubos múltiples puede utilizarse para conseguir un cálculo estadísticamente válido del NMP de densidad de coliformes. Es preciso estudiar un número suficiente de muestras que permite alcanzar resultados representativos del lugar en que se ha efectuado la toma.

Actualmente en México los aspectos que se cubren rutinariamente en cuanto a la calidad del agua para el aprovechamiento en riego agrícola son los criterios tradicionales de las normas de Engelberg; que proponen los siguientes valores de concentraciones permisibles de microorganismos patógenos que deberían estar presentes en el agua residual:

Media Geométrica       $\leq$  1000 Coliformes Fecales/100ml.



El propósito de la remoción del 99.99% de bacterias fecales es para la protección del consumidor, principalmente en verduras (hortalizas). Preocupados por la calidad de dicha agua, en el presente estudio se pretende alcanzar el porcentaje de remoción de bacterias coliformes requerido para el agua con calidad para el reuso en el riego agrícola.

Los resultados expuestos en la Tabla 1.1, indican el NMP de coliformes totales de los diferentes reactores y del influente, que es el mismo valor, y en ambos casos es de  $\geq 2400$ , por lo que no se puede determinar la remoción de coliformes totales, ya que para poder calcular la remoción es conveniente realizar diluciones de los efluentes de los diferentes reactores.

Ahora bien, comparando los resultados obtenidos de coliformes fecales con la norma antes citada, podemos decir que nuestro proceso presenta una alta eficiencia en cuanto a la remoción de coliformes fecales, puesto que la norma indica que la remoción debe ser del 99.99% ( $\leq 1000$  coliformes/100 ml), y la que se obtuvo en este estudio va del 90.25 al 99.91%, esta eficiencia puede mejorarse realizando una optimización del sistema utilizado. De acuerdo con la Legislación Ecológica Mexicana, el valor requerido por ésta para el agua con calidad para uso agrícola o industrial es de 1000 coliformes para hortalizas y libre para los demás cultivos, por lo que podemos decir que la calidad obtenida para el agua del Interceptor Poniente de la

Ciudad de México tratada mediante un sistema batch, presenta los requerimientos microbiológicos de dicha ley.

Por otra parte, en lo que respecta a la evaluación de Recuento Total , se obtuvieron diferentes grados de remoción para cada experimento estudiado. Los mejores porcentajes de remoción se encontraron para el Experimento V y van del 96.64 al 99.78%. Con el Experimento I se obtuvieron remociones que van del 73.79 al 99.91%, en donde el valor más bajo puede explicarse por una alteración presentada por el reactor para esa fecha. El Experimento VI también presentó buenas remociones que van del 69.59 al 94.39%, en este caso también se explica la más baja con una falla en el reactor. Ver Gráfico 1.2.

Con base en lo anterior, puede destacarse la importancia de las condiciones de operación, que nos indican que las mejores remociones se presentan cuando existe un mayor tiempo de retención celular (Ciclo de 24 horas) y cuando se presenta el mayor tiempo de aeración (Ciclo de 21.5 horas), lo que se confirma con la Figura 1.12, en la cual se presentan los porcentajes máximos de remoción obtenidos para cada experimento por el método de Recuento Total, y haciendo una comparación entre éstos, se puede ver que el Experimento I tiene una mayor remoción que el Experimento III, el cuál consta de un ciclo de retención celular de solamente 12 horas y 7 horas de aeración, lo que influye grandemente en su eficiencia (Remoción de 82.39%); sin embargo, al comparar los Experimentos IV, V y VI, (los que tienen

condiciones de operación semejantes entre sí), con el Experimento I, vemos la grande influencia del tiempo de retención celular sobre el tiempo de aeración, ya que las remociones obtenidas para los ciclos de 12 horas de retención celular con un promedio de 9 horas de aeración, las remociones presentadas por estos experimentos no tienen un comportamiento estable, esto es, que presentan remociones muy bajas y en ocasiones remociones altas, hasta del 99.8%; por lo tanto, podemos decir que el tiempo de retención celular es un factor determinante para obtener una mejor calidad del agua tratada.

# CONCLUSIONES

## 11.0 CONCLUSIONES

-Con base en los porcentajes de remoción de coliformes fecales (90.25 al 99.91%) y de mesófilos aerobios (96.64 al 99.78%) obtenidos en las aguas residuales tratadas mediante un sistema SBR, se establece que la calidad bacteriológica de dichas aguas es buena, ya que cumple con el parámetro establecido por la Legislación Ecológica Mexicana (1000 coliformes para hortalizas y libre para los demás cultivos); lo que nos indica que el reuso adecuado para estas aguas es en riego agrícola.

-De las diferentes condiciones de operación controladas en el sistema SBR, se establece que el factor que tiene mayor influencia sobre la remoción bacteriológica es el tiempo de retención celular, que corresponde a un ciclo de 24 horas.

-Bajo las condiciones de operación en que se realizó el Experimento I (1.5 horas de alimentación, 21.5 horas de aeración, 1 hora de sedimentación, 0.5 horas de vaciado, 1 hora de reposo, ciclo de 24 horas) se obtienen los mejores porcentajes de remoción, siendo el máximo obtenido de 99.91%.

-Al realizar la optimización del sistema SBR se obtendrán porcentajes de remoción de coliformes fecales de hasta un 99.99%, con lo cual se cumplirá con la Norma Engelberg (99.99%).

-Para brindar una mayor protección sanitaria al consumidor de los productos agrícolas regados con las aguas tratadas, se recomienda realizar la cloración del agua tratada en el proceso secundario (SBR).

# APENDICES

APENDICE A

LISTA DE CUADROS:	NO. DE PAGINA:
Cuadro 1.0.- <i>Cultivos permisibles con riego de aguas residuales.....</i>	22
Cuadro 1.1.- <i>Porcentaje estimado de enfermedades prevenibles transmitidas por el agua....</i>	25
Cuadro 1.2.- <i>Enfermedades enteropatógenas más -- importantes transmitidas por el agua....</i>	27
Cuadro 1.3.- <i>Virus entéricos del hombre que pueden encontrarse en el agua.....</i>	30
Cuadro 1.4.- <i>Los reinos de los microorganismos....</i>	37
Cuadro 1.5.- <i>Clasificación general de los microorganismos según sus fuentes de energía y de carbono celular.....</i>	38
Cuadro 1.6.- <i>Intervalos típicos de temperatura - para diversas bacterias.....</i>	39

APENDICE B

LISTA DE FIGURAS:	NO. DE PAGINA:
Figura 1.0.- Esquema de un reactor <i>Batch</i> .....	34
Figura 1.1.- Curva de crecimiento microbiano que muestra la densidad bacteriana y la velocidad específica.....	42
Figura 1.2.- Curvas de crecimiento microbiano -- que comparan biomasa total y biomasa viable.....	42
Figura 1.3.- Dinámica de población biológica generalizada en el proceso de tratamiento de aguas residuales por lodos activados.....	51
Figura 1.4.- Diagrama del reactor de secuencia - <i>Batch</i> .....	64
Figura 1.5.- Diagrama experimental de la prueba del NMP (Número Más Probable).....	71
Figura 1.6.- Técnica del NMP (Número Más Probable)....	72
Figura 1.7.- Conteo de células viables de mesófilos aerobios totales determinados por la técnica de cuenta en placa.....	73
Figura 1.8.- Método de siembra en superficie.....	75



APENDICE C

LISTA DE TABLAS:	NO. DE PAGINA:
Tabla 1.0.- Resumen de las condiciones de operación empleadas para los reactores SBR.....	66
Tabla 1.1.- Resultados de la prueba del NMP (Número Más Probable) para coliformes totales y fecales de las aguas tratadas del Interceptor Poniente mediante un sistema SBR.....	78
Tabla 1.2.- Porcentajes de remoción de la prueba del NMP de las aguas tratadas del Interceptor Poniente tratadas mediante un sistema SBR.....	79
Tabla 1.3.- Resultados de la prueba de cuenta viable de microorganismos mesófilos aerobios totales de las aguas del Interceptor Poniente tratadas mediante un sistema SBR.....	80

APENDICE D

LISTA DE GRAFICOS:	NO. DE PAGINA:
Gráfico 1.0.- Porcentajes de remoción de Coliformes Fecales, evaluados por el método del NMP.....	81
Gráfico 1.1.- Porcentajes máximos de remoción de Coliformes Fecales, evaluados por el método del NMP.....	82
Gráfico 1.2.- Porcentajes de remoción de Mesófilos Aerobios Totales, evaluados por el método de Cuenta en Placa.....	83
Gráfico 1.3.- Porcentajes máximos de remoción de Mesófilos Aerobios Totales, evaluados por el método de Cuenta en Placa.....	84

## APENDICE I

### MEDIOS DE CULTIVO UTILIZADOS:

#### CALDO LACTOSADO:

- \* Peptona de gelatina.....5.0 g
- \* Extracto de carne de res.....3.0 g
- \* Lactosa.....5.0 g

#### CALDO VERDE BRILLANTE BILIS AL 2%:

- \* Peptona de gelatina.....10.000 g
- \* Bilis de buey deshidratada.....20.000 g
- \* Lactosa.....10.000 g
- \* Verde brillante.....0.013 g

#### CALDO EC:

- \* Peptona de caseína.....20.0 g
- \* Lactosa.....5.0 g
- \* Mezcla de sales biliares.....1.5 g
- \* Cloruro de sodio.....5.0 g
- \* Fosfato ácido de di-potasio.....4.0 g
- \* Fosfato diácido de potasio.....1.5 g

**Agar Infusión de Cerebro y Corazón (BHI):**

- \* Infusión de cerebro de ternera.....200.0 g
- \* Infusión de corazón de res.....250.0 g
- \* Peptona de gelatina.....10.0 g
- \* Cloruro de sodio.....5.0 g
- \* Fosfato disódico.....2.5 g
- \* Dextrosa.....2.0 g
- \* Agar-agar.....1.5 g

## APENDICE II

### ABREVIATURAS:

- \* CNA (Comisión Nacional del Agua)
- \* NMP (Número Más Probable)
- \* SBR (Sistema de Reactor Batch)
- \* DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- \* DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- \* pH (Potencial de Hidrógeno)
- \* N (Nitrógeno)
- \* P (Fósforo)
- \* S (Azufre)
- \* K (Potasio)
- \* Ca (Calcio)
- \* CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)
- \* C (Carbono)
- \* DNA (Ácido Desoxirribonucleico)
- \* RNA (Ácido Ribonucleico)
- \* F/M (Relación Alimento/Microorganismo)

APENDICE III

FORMULA PARA EL CALCULO DEL NMP (NUMERO MAS PROBABLE)

En la Tabla II se muestran las combinaciones de tubos positivos más probables. El NMP para combinaciones que no aparecen en la tabla, o para otras combinaciones de tubos o diluciones, puede calcularse mediante la sencilla fórmula de Thomas:

$$\text{NMP}/100\text{ml} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{\frac{\text{ml de muestra en los tubos negativos}}{\text{ml de muestra en todos los tubos}}}}$$

Tabla II.- Índice del NMP y Límites de Aceptación del 95% para distintas combinaciones de resultados positivos cuando se usan cinco tubos por dilución (10ml, 1.0ml, 0.1ml).

Combinación de positivos	Índice NMP/100 ml	Límites de confianza 95 %		Combinación de positivos	Índice NMP/100 ml	Límites de confianza 95 %	
		Superior	Inferior			Superior	Inferior
0-0-0	< 2	—	—	4-2-0	22	9,0	56
0-0-1	2	1,0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1,0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1,0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
1-0-0	2	1,0	11	5-0-0	23	9,0	86
1-0-1	4	1,0	15	5-0-1	30	10	110
1-1-0	4	1,0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-1	6	2,0	18	5-1-0	30	10	120
1-2-0	6	2,0	18	5-1-1	50	20	150
				5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1,0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	7	2,0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2,0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3,0	24	5-3-0	80	30	250
2-2-0	9	3,0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5,0	29	5-3-2	140	60	360
3-0-0	8	3,0	24	5-3-3	170	80	410
3-0-1	11	4,0	29	5-4-0	130	50	390
3-1-0	11	4,0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6,0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6,0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7,0	40	5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5,0	38	5-5-0	240	100	940
4-0-1	17	7,0	45	5-5-1	300	100	1.300
4-1-0	17	7,0	46	5-5-2	500	200	2.000
4-1-1	21	9,0	55	5-5-3	900	300	2.900
4-1-2	26	12	63	5-5-4	1.600	600	5.300
				5-5-5	≥ 1.600	—	—

# BIBLIOGRAFIJA



## B I B L I O G R A F I A:

- 1.- **Uso del Agua en las Areas Verdes Urbanas**, Rafael Mujeriego; 1a. Edición; Editores Fernando López Vera y asociados; España; 1993; pp. 141-151.
- 2.- **Water and Wastewater Technology**; Mark J. Hammer; 2nd. Edition; John Wiley and Sons Editors; U.S.A.; 1986; pp. 52-56, 91-93.
- 3.- **Agua y Energía en la Ciudad de México**, Perspectivas para el año 2000; Fundación Friedrich Ebert; Luis Manuel Guerra; México; 1988; pp. 43-46.
- 4.- **Recursos Mundiales 1990-1991**, Una Gufa del Ambiente Mundial; Editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia; México; 1991; pp. 18-22.
- 5.- **Criterios para el Uso y Manejo de las Aguas Residuales en la Agricultura**; Memorias Querétaro; José Alvarez Rosas; SEDUE; México; 1988; pp. 1-9.
- 6.- **Calidad y Cantidad del Agua en México**; M. en C. Mauricio Athié Lambarri; Universo Ventiuno Editorial; 1a. edición; México; 1987; pp. 30-33.
- 7.- **Criterios de Calidad para el Agua de Reuso en Actividades Agrícolas**; Ing. Carlos Tejeda G.; año 1991; vol. 4; no. 10.
- 8.- **Agua y Salud Humana**; F. Eugene McJunkin; Editorial Limusa; 1a. Edición; México; 1988; pp. 40-60, 113-126.
- 9.- **Criterios Técnico-Sanitarios para el Aprovechamiento de Aguas Residuales en Riego Agrícola**; Antonio Ramírez González; SARH; México; 1988; pp. 1-4.
- 10.- **Biology of Wastewater Treatment**; N.F. Gray; Oxford University Press; 1a. Edición; U.S.A.; 1992; pp. 160-163.

11.- **Conversion of Small Municipal Wastewater Treatment Plants to Sequencing Batch Reactors**; H. Melcer, W.K. Bedford, B.H. Topnik, N.W. Schmidtke; *Juornal WPCF*; Vol. 59, No. 2; 1987.

12.- **Effect of Fill : react ratio on sequencing batch biological reactors**; Robert W. Dennis, Robert L. Irvine; *Journal WPCF*; Vol. 51; No. 2; 1987.

13.- **Wastewater Systems Engineering**; Homer W. Parker; Prentice Hall Edit.; U.S.A.; 1975.

14.- **The Microbial World**; Roger Y. Stanier, John L. Ingraham; Fifth Edition; Editorial Prentice Hall; U.S.A.; 1986; pp. 183-195.

15.- **Introduction to the Microbiology, Basic Microbiology**; J.F. Wilkinson; Blackwell Scientific Publications; Vol. 1; Londres; 1972; pp. 47-52.

16.- **Basic Microbiology**; Wesley A. Volk; Seventh Edition; Harper Collins Publishers; U.S.A.; 1992; pp. 76-78, 525-527.

17.- **Microbiología de las Aguas**; Gerhard Rhenheimer; 4a. Edición; Editorial Acribia; España; 1987; pp. 251-254.

18.- **Microbiology, Concepts and Applications**; Paul A. Ketchum; 1a. Edición; Editorial John Wiley and Sons; U.S.A.; 1988; pp. 160-165.

19.- **Microbiology an Introduction**; Tértora, Funke, Case; Third Edition; The Benjamin/Chemmings Publishing; U.S.A.; 1989; pp. 160,161.

20.- **Biology of Microorganisms**; Thomas D. Brock, Michel T. Madigan; Sixth Edition; Prentice Hall Editorial; U.S.A.; 1991; pp. 13-21.

21.- **Microorganismos y Biología Molecular**; Georges Cohen; 1a. Edición; Ediciones OMEGA; España; 1977; pp. 13-21.

22.- **Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales**; 2a. Edición; Editorial LABOR; España; 1981; pp. 392-414.

- 23.- **Microbial Growth**; Jacques Monod; 1a. Edición; Editorial Dowden, Hutchinson & Ross; U.S.A.; 1974; pp. 88-91.
- 24.- **Primer Diplomado Internacional de Química Ambiental del Agua**; Dr. Vicente Jonguitud Falcón; ABC-Estudios y Proyectos; México; 1991; pp. 1-8.
- 25.- **Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho**; Michel A. Winkler; 1a. edición; Editorial LIMUSA; México; 1986; pp. 15.
- 26.- **Manual para el Análisis Microscópico de Lodos Activados**; DDF, DGCOH; México; 1987; pp. 2-8.
- 27.- **Enciclopedia of Microbiology**; David A. Hopwood/Barbara H. Iglewsk/Joshua Lederberg; 2a. Edición; Editorial Academic Press; Vols. I y IV; U.S.A.; 1992; pp. 327,386.
- 28.- **Industrial Microbiology**; Miller Briton M.; 1a. Edición; Editorial McGraw-Hill; U.S.A.; 1976; pp. 376-379.
- 29.- **Manual de Bacteriología de la SARH**; pp. 1-18.
- 30.- **Microbiología**; Michel J. Pelczar; 2a. Edición; Editorial McGraw-Hill; México; 1982; pp. 650.
- 31.- **Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales**; Fair/Geyer/Okun; 3a. Edición; Editorial Limusa; México; 1979; pp. 19-21, 467-469.
- 32.- **Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales**; APHA-AWNA; Ed. Díaz de Santos; España; 1992; pp. 38-42, 64-68, 79-99.
- 33.- **Análisis de las Aguas**; Jean Rodier; 1a. Edición; Ediciones OMEGA; España; 1981; pp. 673-688.
- 34.- **Manual de Bacteriología CETESB**; pp. 15-27.

35.- **Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater;** 16ava Edición; Editorial American Public Health Association; U.S.A.; 1985; pp. 870,871.

36.- **Introducción a la Microbiología;** Walter William G/McBee Richard H./Temple Kenneth L.; 3a. Edición; Editorial Continental; México; 1984; pp. 201,202.

37.- **Microbiología;** Brock Thomas D.; 1a. Edición; Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana; México; 1987; pp. 235-238, 641.

38.- **Bacteriología - Principios y Prácticas;** Arthur Brian/Charles Bryan; 6a. Edición; Editorial CECSA; México; 1976; pp. 178,179.

39.- **Manual de Tratamiento de Aguas;** DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, ALBANY; 8ava. Edición; Editorial LIMUSA; México; 1984.

40.- **Operation of Wastewater Treatment Plants, a manual of practice;** Subcommittee on Operation of Wastewater Treatment Plants; Lancaster Press; U.S.A.; 1976; pp. 19-24.

41.- **Manual del Agua - Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones;** Nalco; 1a. Edición; Editorial McGraw-Hill; México; 1984; pp. 20,21,36.

42.- **Análisis Cualitativo y Cuantitativo de Bacterias de Importancia Sanitaria en la Infraestructura Hidroagrícola del Distrito de Desarrollo Rural 03 como Posibles Indicadores de Calidad del Agua;** Tesis; FES-Cuautitlán; U.N.A.M.; México; 1988; pp. 22-31, 59-62.

43.- **Microbiología Médica;** Murray P./Drew W.; 1a. Edición; Editorial Times Mirror de España; España; 1992; pp. 107-112.

44.- **Diagnóstico Microbiológico - Texto y Atlas en Color;** 3a. Edición; Editorial Médica Panamericana; Argentina; 1992; pp. 218, 258-262.

45.- **Microbiología;** Adrian N.C. Delaat; 2a. Edición; Editorial Interamericana; México; 1979; pp. 364-475.