

54



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"EFECTO DE LAS BACTERIAS FILAMENTOSAS
EN LA ACTIVACION DE UN LODO Y EN LA
ELIMINACION DE BACTERIAS COLIFORMES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

P R E S E N T A :

MARCELA RAYON SANCHEZ

ASESOR: M.C. CLARA INES ALVAREZ MANRIQUE

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

"Efecto de las Bacterias Filamentosas en la Activación
de un Lodo y en la Eliminación de Bacterias Coliformes".

que presenta la pasante: Marcela Rayón Sánchez
con número de cuenta: 8154727-0 para obtener el TITULO de:
Química Farmacéutica Bióloga

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

ATENTAMENTE.
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 17 de enero de 2000

PRESIDENTE MVZ. Gerardo Cruz Jiménez

VOCAL M.C. Clara Inés Alvarez Manrique

SECRETARIO MVZ. Pablo Martínez Labat

PRIMER SUPLENTE QFB. Marcela Hernández Vargas

SEGUNDO SUPLENTE MVZ. Gabriela Fuentes Cervantes

**EFFECTO DE LAS BACTERIAS FILAMENTOSAS
EN LA ACTIVACION DE UN LODO Y EN LA
ELIMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES**

A Dios

A mis Padres

En Memoria de Nieves Vega

A mis Hermanos y Tías

A mis compañeros y amigos

Con agradecimientos

A mis maestros

A la FESC - Cuautitlán

Al H. Jurado:

M.V.Z.	GERARDO CRUZ JIMÉNEZ
M.C.	CLARA INES ALVAREZ MANRIQUE
M.V.Z.	PABLO MARTINEZ LABAT
Q.F.B.	MARCELA HERNÁNDEZ VARGAS
M.V.Z.	GABRIELA FUENTES CERVANTES

¿ Cómo se puede comprar el cielo o el calor de la tierra ? Esa es para nosotros una idea extravagante
En noche puede pescar la frescura del viento ni el fulgor del agua, ¿ cómo es posible que ustedes se propongan
comprarlos ?

Mi pueblo considera que cada elemento de este territorio es sagrado. Cada pino brillante que está naciendo,
cada grano de arena en las playas de los ríos, los arroyos, cada gota de rocío entre las sombras de los bosques,
cada colina, y hasta el sonido de los insectos son cosas sagradas para la mentalidad y las tradiciones de mi pueblo.
El agua que circula por los ríos y los arroyos de nuestro territorio no es sólo agua, es también la sangre de
nuestros ancestros.

Si les vendiéramos nuestra tierra tendría que tratarla como sagrada, y esto mismo tendría que enseñarle a sus
hijos.

Cada cosa que se refleja en las aguas cristalinas de los lagos habla de los sucesos pasados de nuestro Pueblo.
La voz del padre de mi padre está en el murmullo de las aguas que corren. Estamos hermanados con los ríos
que sacian nuestra sed. Los ríos conducen nuestras canoas y alimentan a nuestros hijos. Si les vendiéramos
nuestras tierras tendrían que tratar a los ríos con dulzura de hermanos, y enseñar esto a sus hijos.

El apetito de los Caras Ráhtulá terminará devorando todo lo que hay en las tierras hasta convertirlos en
desiertos.

En las poblaciones de los Caras Ráhtulá no hay tranquilidad, ahí no puede oírse el atrín de las hojas
primaverales ni el aleteo de los insectos. ¿ Para qué le sirve la vida al ser humano si no puede escuchar el canto
solitario del pájaro choitacabras ? ¿ si no puede oír la aljirabía nocturna de las ramas al borde de los estanques ?
Esta bien sajan infectando sus lechos y cualquier día despertarán ahogándose entre sus propios desperdicios.

Fragmento de la carta del Jefe Piel Roja de Seattle, como respuesta a la petición de compra de sus tierras, que le hizo el presidente de los Estados Unidos en 1854.

INDICE

Resumen

- 1. Introducción**
- 2. Generalidades**
 - 2.1. El agua
 - 2.1.1. Microbiología del Agua
 - 2.1.2. Agua Potable
 - 2.1.3. Método para detectar el grado de contaminación bacteriológica del agua potable.
- 3. Agua Residual**
 - 3.1. Tratamiento del Agua Residual
 - 3.1.2. Clasificación de los tratamientos
 - 3.1.2.1. Tratamientos primarios
 - 3.1.2.2. Tratamientos secundarios
- 4. Lodo Activado**
 - 4.1. Proceso convencional de la activación del lodo
 - 4.2. Ventajas e inconvenientes de los Lodos Activados
 - 4.3. Organismos aislados del sedimento activado
 - 4.3.1. Bacterias filamentosas
 - 4.3.1.2. Descripción y características de las Bacterias Filamentosas
 - 4.3.1.2.1. Bacterias Filamentosas frecuentes en lodo activado, según clasificación de D. H. Eikelboom's
 - 4.3.1.2.2. Importancia de la detección de los organismos filamentosos en lodos activados.
 - 4.3.2. Descripción de los Protozoarios
 - 4.3.3. Descripción de los Nematodos
 - 4.3.4. Descripción de los Rotíferos
 - 4.3.5. Tratamientos Terciarios
- 5. Metodología**
 - 5.1 Medios de cultivo de prueba
 - 5.2. Medios de cultivo específicos
 - 5.3. Toma de muestras
 - 5.3.1. Muestreo (reactor biológico)
 - 5.3.2. Conteo de coliformes por el Método de Número más Probable
- 6. Resultados**
 - 6.1 aislamiento de las cepas filamentosas
 - 6.2. Morfología y pruebas bioquímicas de las bacterias filamentosas aisladas del Lodo Activado.
 - 6.3. Efecto de las bacterias filamentosas en la formación del flóculo activado
 - 6.4. Efecto de las bacterias filamentosas en la remoción de bacterias coliformes
- 7. Discusión**
- 8. Conclusiones**
- 9. Apéndice**
- 10. Bibliografía**

RESUMEN

Los objetivos planteados para la elaboración de este trabajo fueron: Observar la relación de las bacterias filamentosas en la activación de un lodo y la remoción bacteriana. A la vez este objetivo se dividió de la siguiente manera:

- Aislar e identificar las bacterias filamentosas de un lodo activado
- Observar macro y microscópicamente las características del lodo en presencia de éstas bacterias, partiendo del agua residual.
- Evaluar la eficiencia del lodo con cada bacteria filamentosa aislada en su capacidad de remover las bacterias coliformes presentes en el agua residual.

Para este trabajo, fue importante ver el funcionamiento de una planta de tratamiento de agua residual, observar detenidamente todas y cada una de las partes del proceso hasta la obtención del producto final (agua tratada), así como las características macro y microscópicas de los flóculos del lodo activado de ahí posteriormente se obtuvieron muestras de lodo activado, se sembraron en diferentes medios de cultivo selectivo y no selectivo, después de aislar colonias de bacterias diferentes, se mantuvieron en caldos nutritivos para posteriormente sembrarlos en medios nutritivos para obtener colonias "puras" y después éstas sembrarlas en agua residual (de campo 1) y someterlas a agitación (con el fin de airear la muestra) y después de un tiempo ver las características físicas del agua al final de este proceso, además de las características del lodo activado.

Por otra parte para saber que cantidad de bacterias coliformes contenía el agua residual se hizo el análisis del Número Más Probable (NMP) antes y después del tratamiento.

Habiendo conseguido el procedimiento anterior se lograron aislar del lodo activado (Planta Chapultepec) seis bacterias filamentosas diferentes.

Se obtuvo lodo activado a partir del agua residual de Campo 1, cada uno con características diferentes, dependiendo de la bacteria filamentosa que se le agregó (del cual hubo lodo con flóculos compactos, semicompactos o dispersos).

La cantidad de bacterias coliformes disminuyó considerablemente después de tratar el agua, pero se notó una variación, dependiendo del día de muestreo y de cada una de las bacterias filamentosas que fueron agregadas a cada muestra de agua residual, la bacteria filamentosa influyó de manera diferente en la formación del flóculo activado y de ahí en la sedimentación y por lo tanto la acción depuradora al arrastrar los microorganismos patógenos adsorbidos en los mismos.

1. INTRODUCCION

El interés por el tratamiento del agua residual, nace de la necesidad de disminuir el consumo de agua potable en el riego de áreas verdes, estanques de espacios recreativos (fuentes, lagos), construcción de carreteras, sistemas de enfriamiento de industrias etc., también con el fin de disminuir la contaminación del agua que ha sido utilizada para las actividades domésticas e industriales que al irse al drenaje sin ningún tratamiento llegan a los cuerpos receptores ocasionando olores desagradables, y contaminación durante su trayecto. Así el tratamiento del agua residual es esencial para el control de una multitud de enfermedades infecciosas.

Otra razón y la fundamental para el tratamiento del agua residual, es la creciente demanda de agua potable para el abastecimiento de las poblaciones, ya que cada día son mayores y la explotación de los mantos acuíferos traen como consecuencia una serie de trastornos ecológicos que ponen en peligro a la población. Por ejemplo el uso indiscriminado de los manantiales devastó esta fuente natural, y el volumen de agua requerido ha estado creciendo a una velocidad superior a las descargas naturales de los acuíferos. Por otra parte la sobreexplotación de estas aguas subterráneas ha generado hundimientos en la ciudad de México.

De muchos pozos de los que se extrae el agua, se corre el peligro de comenzar a extraer aguas fósiles que contienen sales perjudiciales para el organismo humano(5).

Además del deterioro ecológico que sufren los lugares de donde se extrae el agua, está también el costo de extracción y conducción a los sitios donde se necesita. Por lo que el tratamiento de las aguas residuales, es una necesidad cada vez mayor.

Dentro de los Sistemas de Tratamiento de aguas residuales se encuentra el Tratamiento Biológico Aerobio el cual es un proceso a nivel secundario en el cual se remueve la mayor parte de materia orgánica disuelta y el tratamiento se

fundamenta en una población mixta de microorganismos que utiliza como nutrientes sustancias que contaminan el agua, convirtiéndolas en nuevas células, agua y dióxido de carbono. Este es el mismo mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales como lagos, ríos, lagunas, se autpurifican.

La forma más usual de este tipo de tratamiento (autopurificación) es por el proceso de Lodos Activados. Dicho proceso es comparable a un gran sistema de cultivo continuo y abierto con retroalimentación, cuya población característica comprende aproximadamente 95% bacterias y 5% de organismos superiores (16), que crecen y forman "agrupaciones de materia y microorganismos de apariencia esponjosa y color pardo (floculo), las cuales se pueden asentar por gravedad dando una clarificación al final y un lodo denso. Sin embargo, no todas las bacterias que se desarrollan en el lodo activado son formadoras de flóculos, varios tipos de organismos filamentosos(Principalmente bacterias y algunos hongos) pueden desarrollarse, y ocasionar problemas operacionales durante el tratamiento. Dos de los problemas más comunes son masa y espuma.

Pero también cierta cantidad de microorganismos filamentosos pueden ser benéficos para activar el proceso de lodos y una carencia de ellos pueden producir pequeños flóculos, de aquí que se tiene la hipótesis de que los filamentos sirven como "columna vertebral de la estructura del flóculo permitiendo la formación de grandes flóculos resistentes"(16)

El presente trabajo pretende hacer una analogía entre las características del lodo activado usando diferentes colonias de bacterias filamentosas y la calidad bacteriológica del agua obtenida al final del proceso, para determinar la disminución de organismos coliformes que son indicadores de la calidad sanitaria del agua.

2. GENERALIDADES

2.1 El Agua

El agua es un elemento indispensable para la vida. Se calcula que en nuestro planeta existen aproximadamente unos 1.500 Km³ de agua de los que el 97 % son mares y océanos (Agua salada). Del por ciento restante, tres cuartas partes están inmovilizados en forma de hielo en los casquetes polares y glaciales.

El resto, salvo una porción que permanece en la atmósfera en forma de vapor de agua constituyendo la masa de ríos y lagos, o sea, el agua dulce susceptible de ser consumida. En el hombre, representa aproximadamente el 70 % del peso total de su cuerpo.

El hombre la utiliza como elemento para su nutrición, sea como bebida o como integrante de alimentos; la requiere para el lavado de utensilios, higiene personal, y dispone de ella para alejar sus desechos, proporcionar comodidad y resolver numerosos problemas de su vida cotidiana, produciendo electricidad y vapor (13).

Las aguas naturales están sujetas a una circulación permanente, así como cambios continuos en su estado físico. Del agua que se precipita sobre el suelo, una parte se evapora de los sitios en donde cae; otra escurre sobre el terreno pasando a incrementar las corrientes superficiales y otra se infiltra, constituyendo las aguas subterráneas.

Las aguas superficiales, posteriormente, pueden evaporarse o infiltrarse. Del agua infiltrada, una parte queda cerca de la superficie y se evapora directamente, otra es aprovechada por las raíces de las plantas regresando a la atmósfera por el proceso de transpiración y la parte restante incrementa el caudal de las aguas subterráneas.

El ciclo del agua se completa con la evaporación de las aguas de los océanos, con la circulación del vapor de agua en la atmósfera hasta formar nubes y con la condensación del vapor de éstas en forma de precipitaciones.

El agua pura es un producto artificial. Las aguas naturales siempre contienen materias extrañas en solución y en suspensión en proporciones muy variables. Estas sustancias pueden modificar considerablemente las propiedades, efectos y usos del agua.

2.1.1 Microbiología del agua

La flora bacteriana de las aguas no es uniforme, sino que ofrece una extraordinaria variedad.

La lluvia, la nieve o el granizo arrastran gran número de microorganismos del aire y de las superficies de las plantas, de los edificios o del suelo en donde cae por lo cual el agua que llega a la tierra por precipitación no es estéril. Cada que llueve el agua es contaminada en su caída a la tierra. Por ejemplo, la combustión de combustibles fósiles arrojan compuestos de azufre en el aire. En este encuentro con la lluvia forma sulfuros ácidos notorios en la lluvia ácida. La calidad del agua es medida por el grado de contaminación por químicos solubles, coloides suspendidos tales como partículas de arcilla (turbiedad), y microbios (21)

El agua de las fuentes naturales o de los pozos artesianos está en general relativamente libre de microorganismos, debido al efecto de filtrado a través las superficies rocosas.

El número y el tipo de los microorganismos en la superficie del agua es variable con el origen del agua.

Así, las bacterias que viven en el mar son distintas de las presentes en el agua dulce, y las de los ríos no son las mismas que las de los lagos. La mayoría de las bacterias de las aguas son organismos C-heterótrofos, es decir, se trata de gérmenes que se alimentan de sustancias orgánicas. Casi todas son saprofitas sobre material muerto de origen vegetal o animal.

Sin embargo, el número de las parásitas es relativamente escaso. Además, en el agua hay bacterias foto autótrofas y quimioautótrofas, que solo necesitan sustancias nutritivas inorgánicas. Están capacitadas para la fotosíntesis o pueden reducir el ácido carbónico y sintetizar sustancias orgánicas (15).

La mayoría de las bacterias de las aguas tienen las mismas formas fundamentales que las terrestres(esferas, bacilos, coma, espiral). Hay además formas estelares, anulares, filamentosas y acintadas, así como pediculadas. Los filamentos pueden estar o no ramificados y parecen aislados o agrupados en haces. Algunas bacterias de las aguas son capaces de reunirse para constituir grupos de células más o menos numerosas. Así, se observan agrupaciones en forma de esfera, óvalo, estrella, cinta, red o placa.

En el agua dulce la concentración de los nutrientes no determina la especie presente, pero influye sobre la "productividad" o número de individuos que se desarrollan. Las aguas productivas se denominan eutróficas y las no productivas, oligotróficas (15).

Grandes cantidades de microorganismos en un cuerpo de agua generalmente indica altos niveles de nutrientes en el mismo.

El agua contaminada por la influencia de sistemas de aguas residuales son relativamente altos en conteos bacterianos. Similarmente, estuarios oceánicos (alimentados por ríos) tienen altos niveles de nutrientes y también altos conteos microbiológicos.

2.1.2 Agua Potable

La dirección de Ingeniería sanitaria, en su reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable, dice: " Se considera agua potable toda aquella cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud".

Por estas razones, la Secretaría de Salubridad y Asistencia ha fijado las cantidades máximas aceptables de las sustancias que pueden contener el agua para ser considerada potable.

Los límites "tolerables" aparecen en la siguiente tabla (13).

TABLA 1. CARACTERES FISICOS Y QUIMICOS QUE DEBE SATISFACER EL AGUA POTABLE PARA CONSUMO HUMANO*

FISICOS: Turbiedad máxima: 10 (Escala de sílice).- pH de 6.0 a 8.0.- Inodora. Sabor agradable.- Color máximo: 20 (escala platino cobalto)

QUIMICOS:	Miligramos por litro
Nitrógeno (N) amoniacal	0.50
Nitrógeno (N) proteico	0.10
Nitrógeno (N) de nitritos (con análisis bacteriológico aceptable)	0.05
Nitrógeno (N) de nitratos	5.00
Oxígeno (O) consumido en medio ácido	3.00
Sólidos totales, de preferencia hasta 500, pero tolerándose hasta	1000
Alcalinidad total, expresada en CaCO_3	400
Dureza total, expresada en CaCO_3	300
Dureza permanente o de no carbonatos, expresada en CaCO_3 , en aguas naturales	150
Cloruros, expresados en Cl	250
Sulfatos, expresados en SO_4	250
Magnesio, expresado en Mg	125
Zinc, expresado en Zn	15
Cobre, expresado en Cu	3
Fluoruros, expresados en F	1.50
Hierro y manganeso, expresados en Fe y Mn.	0.3
Plomo, expresado en Pb.	0.10
Arsénico expresado en As.	0.05
Selenio, expresado en Se	0.05
Cromo hexavalente, expresado en Cr	0.05
Compuestos fenólicos, expresados en fenol	0.001
Cloro libre, en aguas cloradas, no menos de	0.20
Cloro libre, en aguas sobrecloradas, no menos de 0.20 ni más de	1.00

La prevención de la contaminación química de el agua es un problema difícil.

Las aguas suelen recibir no solo materia orgánica sino también nitratos y fosfatos en cantidades cada vez mayores procedentes de abonos utilizados en la agricultura y lavados por el agua de riego y de lluvia.

Algunas bacterias pueden transformar aquellos nitratos en nitritos, de manera que éstos pueden ahora reaccionar con la hemoglobina, disminuyendo la capacidad de transporte de oxígeno y agravando su déficit.

Productos industriales y agrícolas mojan la tierra entrando en el agua en grandes cantidades y en formas que resisten la biodegradación. Muchos de estos químicos llegan a estar biológicamente concentrados en algunos de los organismos de la cadena alimenticia.

Un sorprendente ejemplo de contaminación industrial en el agua es el mercurio, usado en la manufactura de papel. El mercurio metálico permitido fluye en el canal de agua como desecho. Asumiendo que el mercurio era inerte y que podría permanecer segregado en los sedimentos. Sin embargo, las bacterias en los sedimentos convierten el mercurio en un compuesto químico soluble, metil mercurio, el cual es tomado de las aguas por peces e invertebrados. Cuando tales mariscos son parte substancial de la dieta humana, las concentraciones de mercurio pueden acumularse con efectos devastadores en el sistema nervioso. Otro ejemplo de contaminación química son los detergentes sintéticos desarrollados inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial. Estos rápidamente remplazaron muchos de los jabones entonces en uso. Estos nuevos detergentes no eran biodegradables, y se acumulaban en los canales de agua. Estos detergentes fueron reemplazados en 1964 por nuevas formulaciones biodegradables. Sin embargo, trajeron nuevos problemas, Por las cantidades substanciales de fosfatos que se les agregaban para mejorar su efectividad. Desafortunadamente, los fosfatos pasan virtualmente sin cambio a través de más sistemas de tratamiento de aguas residuales y pueden causar eutrofización (*eu buenos medios; troph medios*

nutritivos) de lagos y ríos, resultando un sobrecrecimiento de algas o cianobacterias y una eventual muerte de otros organismos.

La salud humana depende no solo de la cantidad, sino también de la calidad del agua que utiliza. La forma más peligrosa de contaminación del agua ocurre cuando las heces humanas entran en el suministro de agua. Se estima que a nivel mundial se producen 80,000 toneladas de heces humanas al día, lo cual representa una carga tremenda para el ambiente. La presencia de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua.

Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. Las poblaciones más vulnerables por esta situación son los niños, los ancianos, los mal nutridos y los que cursan con inmunodeficiencia, cuyas defensas corporales no son similares a las de los adultos sanos (10).

Esto quiere decir que cuando el agua, por el contacto con la tierra o con el hombre, ha modificado su composición, puede convertirse en un peligro y ocasionar grandes daños.

El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliforme que habitan normalmente el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación.

Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo de organismos coliformes para sobrevivir en agua; la cantidad también pueden emplearse para ver el grado de contaminación fecal (9). Muchas enfermedades son transmitidas por la ruta fecal-oral en la cual un patógeno vertido en las heces

humanas contaminan agua o alimentos y estos después son ingeridos. Son características las enfermedades como la tifoidea y cólera, las cuales son causadas por bacterias, y hepatitis A, la cual es causada por un virus. Una de las principales molestias es la diarrea causada por ingestión de quistes del protozoario *Giardia lamblia*. Este protozoario es un problema no solo en sistemas de agua municipal, también en arroyos de montañas, las cuales son contaminadas por castores y otros animales.

La cryptosporidiosis también es un problema reciente ya que antes se conocía sólo como parásito intestinal de muchos vertebrados tales como reptiles, aves y mamíferos y ahora se observan en el hombre. Los moluscos que se alimentan del agua tienden a traer concentraciones de virus y bacterias en sus tejidos, tales moluscos de agua contaminada pueden ser peligrosos para comer. No todos los patógenos tienen que ser ingeridos para causar enfermedad.

Por ejemplo la enfermedad helmítica esquistomiasis es esparcida entre personas que nadan o caminan en aguas contaminadas por desechos humanos, y penetran a través de la piel.

Tabla 2. Brotes de Enfermedades Acarreadas por el agua en Sistemas de Agua Pública, 1986 a 1988

AGENTE	NUMERO DE BROTES	NUMERO DE CASOS
<i>Shigella spp</i>	4	2733
<i>Salmonella spp</i>	2	70
<i>Campylobacter spp</i>	1	250
<i>Giardia lamblia</i> (cyst-forming protozoan)	9	1169
<i>Cryptosporidium spp.</i> (sporeforming protozoan)	1	13,000
Enfermedades gastrointestinales agudas de etiología desconocida	24	2975

Fuente: *Surveillance Summaries, MMWR 39:SS-1 (march 1990)*

2.1.3. Método para detectar el grado de contaminación bacteriológica del agua potable.

Las bacterias coliformes son un grupo heterogéneo. Existe poca evidencia que indique que estas bacterias coliformes pertenezcan a un solo género taxonómico.

La falta de certeza en cuanto a su filiación taxonómica y la imprecisa correlación entre los métodos recomendados para la detección de coliformes han generado problemas. El primero, es que *Escherichia coli* es aceptada como bacteria coliforme, la especie contiene variantes que no producen gas de la lactosa o lo hacen después de 48 horas. Segundo, la capacidad de fermentar la lactosa está frecuentemente asociada a genes localizados en plásmidos. Estos determinantes extracromosomales son fácilmente transferidos entre otras bacterias Gram negativas no relacionadas a las coliformes, que pueden, en consecuencia, ser recuperadas en la etapa inicial del análisis.

No obstante en la práctica, la técnica ha demostrado su efectividad.

El número de organismos se establece mediante la cuenta de unidades formadoras de colonias (NOM-113-SSA1-1994). Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa) o el uso de la técnica del número más probable. Esta última, también llamada técnica de dilución en tubo, proporciona una estimación estadística de la densidad microbiana presente con base a que la probabilidad de obtener tubos con crecimiento positivo disminuye conforme es menor el volumen de muestra inoculado.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el método microbiológico para estimar el número de coliformes presentes en productos alimenticios, por medio del cálculo del número más probable (NMP) después de la incubación a 35 ° C de la muestra diluida en un medio líquido.

Este procedimiento puede aplicarse a agua potable, agua purificada, hielo y alimentos procesados térmicamente, así como a muestras destinadas a

evaluar la eficiencia de prácticas sanitarias en la industria alimentaria. Este procedimiento debe seleccionarse cuando la densidad esperada es como mínimo de una bacteria en 10 ml de producto líquido o una bacteria por gramo de alimento sólido.

Cuando la densidad bacteriana es menor a la aquí citada y si la naturaleza del alimento lo permite, es mejor utilizar el método de filtrado en membrana. Si la densidad microbiana se espera sea mayor a 100 por mililitro o gramo de muestra, ampliar el intervalo de diluciones o utilizar el método en placa.

FUNDAMENTO

El método se basa en que las bacterias coliformes, fermentan la lactosa incubadas a $35 \pm 1^{\circ} \text{C}$ durante 24 a 48 horas, resultando una producción de ácidos y gas el cual se manifiesta en las campanas de fermentación

Los métodos que se usen para las investigaciones físicas , químicas y bacteriológicas anteriores serán los que fije la Secretaría de Salubridad y Asistencia o los que sugiera la Organización Mundial de la Salud.

3. Agua Residual

El agua limpia y el tratamiento de desechos humanos son esenciales para el control de una multitud de enfermedades infecciosas (10).

Después que el agua ha sido usada, se convierte en agua residual. Las aguas residuales incluyen toda el agua doméstica que es usada para el aseo personal y del hogar incluyendo también los desechos de excusados. El agua de lluvia que fluye por la calle y algunos desechos industriales. Las aguas residuales son principalmente aguas que contienen pequeñas partículas en suspensión tal vez solo 0.03%. Igual que en grandes ciudades esta porción sólida de residuos puede ser de más de 1000 toneladas de materia sólida por día (21).

3.1. Tratamiento del Agua Residual

Existen diversos procesos para el tratamiento del agua residual.

3.1.2. Clasificación de los tratamientos:

Para depurar el agua, generalmente es necesario combinar varios tratamientos elementales. Estos tratamientos pueden ser físicos, químicos o biológicos. Sus objetivos son eliminar en primer lugar la materia en suspensión y después sustancias disueltas (minerales u orgánicas).

3.1.2.1. Tratamientos Primarios:

El primer paso en el tratamiento del agua residual es el **tratamiento primario**. En este proceso, se elimina el material grande que flota, el agua residual llega directamente a cámaras para que se asienten, y así eliminar la arena y material arenoso, los espumaderos remueven aceite flotante y grasa, los escombros sobre nadantes son fragmentados. Después de este paso el agua residual pasa a través de tanques de sedimentación, donde la materia sólida se asienta. La colección de residuos sólidos en el fondo es llamado **lodo**; el lodo en este estado es llamado *lodo primario*. De 40% a 60% de los sólidos suspendidos son removidos del residuo por este tratamiento de asentamiento, y la

floculación química incrementa la remoción de sólidos. La actividad biológica no es importante en el tratamiento primario, aunque alguna digestión de lodo y disolución de materia orgánica puede ocurrir durante un largo tiempo de estancia. El lodo es removido en cada base continua o intermitente, y entonces el efluente (el líquido que fluye hacia afuera) se somete a tratamiento secundario.

En el tratamiento primario se remueve aproximadamente del 24% al 35% de la **demanda bioquímica de oxígeno (BOD)** del agua residual, la BOD es una medida de la degradación biológica de la materia orgánica en el agua y es determinada por la cantidad de oxígeno requerido para que las bacterias metabolizen la materia orgánica.

Dentro de la clasificación de los tratamientos primarios tenemos procesos físicos, cuyo principal objetivo es la separación de sólidos suspendidos, grasas y aceites, teniendo los siguientes procesos:

- * cribado
- * sedimentación
- * clarificación
- * flotación
- * filtración

Aunque estos métodos aparentemente sencillos, encuentran dificultades debido a la gran dispersión del tamaño de partículas. Mientras más pequeñas sean las partículas sólidas en suspensión más grande el tiempo de sedimentación, especialmente con partículas finas siendo necesario desestabilizar la suspensión (coagulación) y aglomerar coloides (floculación) o removerlas por sistemas de aire disuelto.

3.1.2.2. Tratamientos secundarios

Dentro de esta clasificación se encuentran los procesos biológicos, los cuales se emplean para destruir compuestos no volátiles en el agua, basándose en la utilización de microorganismos que emplean sustancias orgánicas disueltas, para convertirlas en nuevas células, agua y dióxido de carbono, pudiéndose llevar esta transformación en presencia o ausencia de oxígeno.

Las aguas residuales son depuradas parcialmente debido a que no todos los compuestos orgánicos pueden ser degradables, o bien, resultan tóxicos para el metabolismo de los microorganismos.

Después del tratamiento primario, la gran parte de la BOD que queda en el agua residual se encuentra en forma de materia orgánica disuelta.

El Tratamiento secundario principalmente es biológico, designado para remover la mayor parte de la materia orgánica y reducir la BOD. En este proceso, el agua residual experimenta fuerte aeración para fomentar el crecimiento de bacterias aeróbicas y otros microorganismos que oxidan la materia orgánica disuelta a dióxido de carbono y agua (21).

Las bacterias usan la materia orgánica como alimento, y la descomponen en compuestos más simples. Las bacterias saprofitas, subsisten sobre materia orgánica inerte y son usualmente inofensivas para el hombre, son principalmente las responsables en el proceso de degradación. Aunque las bacterias patógenas a menudo se presentan en caños y aguas contaminadas con aguas residuales, ellas proporcionan números que usualmente son pequeños y son factores insignificantes en la descomposición de la materia orgánica. La comida natural y medio ambiente de los patógenos es el cuerpo vivo de los hospederos.

Estas bacterias, sin embargo no se multiplican enseguida en aguas residuales, dependerá del tipo de contaminantes que posea el agua.

Los protozoarios y plancton también están presentes en agua residual o aguas superficiales, pero su proporción de crecimiento y población final es inferior al de las bacterias patógenas, su influencia directa sobre la proporción de descomposición de la materia orgánica es pequeño.

Su influencia, sin embargo se ve indirectamente a través de su depredación en la población bacteriana.

El crecimiento y multiplicación de bacterias en agua depende sobre todo de la presencia de compuestos que contienen carbón y nitrógeno en una forma capaz de ser asimilada por las células y suministrarles energía.

Los dos métodos de tratamiento secundario comúnmente usados son: sistemas de lodo activado y filtros de goteo.

4. Lodo activado

Definición:

Es un cultivo de enriquecimiento microbiológico constituido de una mezcla grande e incontrolable de agrupaciones de micro y macro organismos que remueven del agua residual sustancias inorgánicas y orgánicas o la trasforman en formas ambientalmente aceptables (16). De las cuales aproximadamente el 95% son bacterias y el 5% son organismos superiores (protozoarios, rotíferos e invertebrados superiores).

El lodo activado difiere de otros lodos, en su aspecto, en sus caracteres físicos y en su composición biológica(16).

El lodo bien activado, tiene un olor peculiar a tierra y a moho, cuando está circulando en el tanque de aireación. A simple vista es un precipitado floculado, de color pardo claro, que se asienta rápidamente en su licor madre, dejando un líquido que es claro, incoloro, inodoro y brillante.

Los protozoarios y plancton también están presentes en agua residual o aguas superficiales, pero su proporción de crecimiento y población final es inferior a la de las bacterias patógenas, su influencia directa sobre la proporción de descomposición de la materia orgánica es pequeño.

Su influencia, sin embargo se ve indirectamente a través de su depredación en la población bacteriana.

El crecimiento y multiplicación de bacterias en agua depende sobre todo de la presencia de compuestos que contienen carbón y nitrógeno en una forma capaz de ser asimilada por las células y suministrarles energía.

Los dos métodos de tratamiento secundario comúnmente usados son: sistemas de lodo activado y filtros de goteo.

4. Lodo activado

Definición:

Es un cultivo de enriquecimiento microbiológico constituido de una mezcla grande e incontrolable de agrupaciones de micro y macro organismos que remueven del agua residual sustancias inorgánicas y orgánicas o la transforman en formas ambientalmente aceptables (16). De las cuales aproximadamente el 95% son bacterias y el 5% son organismos superiores (protozoarios, rotíferos e invertebrados superiores).

El lodo activado difiere de otros lodos, en su aspecto, en sus caracteres físicos y en su composición biológica(16).

El lodo bien activado, tiene un olor peculiar a tierra y a moho, cuando está circulando en el tanque de aireación. A simple vista es un precipitado floculado, de color pardo claro, que se asienta rápidamente en su licor madre, dejando un líquido que es claro, incoloro, inodoro y brillante.

Este cultivo se da a partir de "un lodo sedimentado de aguas negras, agitadas previamente en presencia de una cantidad abundante de oxígeno atmosférico" (3).

I. Diagrama típico de una planta de tratamiento de lodos activados(19).

DIAGRAMA SUCESIVO DEL PROCESO DE ACTIVACION DEL LODO (20)

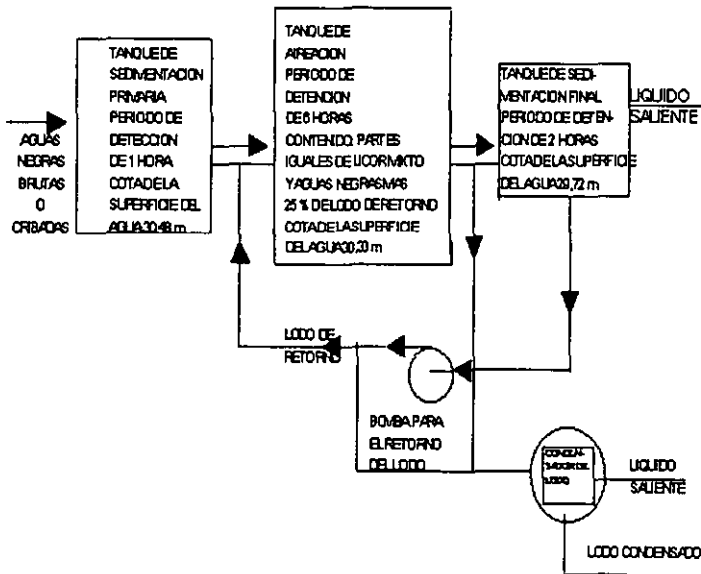


DIAGRAMA DEL RECORRIDO DE LOS LÍQUIDOS EN UNA INSTALACIÓN ORDINARIA DE ACTIVACIÓN DEL LODO DE LAS AGUAS NEGRAS. (MODIFICACIÓN DE UN DIBUJO DE Wm. TORPEY Y A. H. CHASTOK, S AND I W. NOVIEMBRE DE 1955, PAG. 1217). LAS COTAS DE LOS NIVELES DEL AGUA TAN SOLO RELATIVAS Y APROXIMADAS.

4.1 Proceso convencional de la activación del lodo.

En él, los microorganismos están completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual, de tal manera que la usan como alimento y así poder reproducirse. A medida que los microorganismos crecen, se agrupan y van formando flóculos para producir una masa activa de microorganismos llamada "lodo activado". El agua residual fluye continuamente dentro de un tanque de aireación, donde el aire es introducido para mezclar el lodo activado (en sistemas de difusión de aire) y proporcionar el oxígeno necesario para que los microorganismos remuevan con mayor rapidez la materia orgánica. La mezcla de lodo activado y agua residual en el tanque de aireación es llamada "licor mezclado", El licor mezclado fluye del tanque de aireación al clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. La mayor parte del lodo sedimentado es regresado al tanque de aireación para mantener una alta población de microorganismos y una remoción óptima. El volumen de lodo recirculado al tanque de aireación es típicamente del 20-50 % del flujo del influente (14).

Debido a que durante el proceso se va generando más lodo del requerido es necesario desechar una determinada cantidad al sistema de manejo de lodos para su tratamiento y disposición.

Los sistemas de lodos activados remueven de 75% a 95% de la BOD del agua residual (21). El efluente de las plantas de tratamiento secundario puede ser usado para irrigación, reduciendo la demanda en un abastecimiento de agua escaso.

4.2 Ventajas e inconvenientes de los Lodos Activados.

Entre las ventajas del proceso figuran, un efluente claro, brillante, no expuesto a putrefacción; ausencia de olores desagradables durante el funcionamiento; un grado de nitrificación, graduable entre ciertos límites; naturaleza del líquido

saliente variable, de acuerdo con la cantidad y las características del agua de dilución disponible; eliminación de más del 90% de las bacterias; eliminación de un 90% aproximadamente de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos sedimentables; un costo de instalación relativamente bajo, en comparación con los filtros de goteo; y un cierto valor comercial que se le podría dar al lodo. Es muy útil la posibilidad de regular el grado de nitrificación, pues, en ciertos casos, los nitratos que contiene el líquido saliente pueden crear trastornos en la masa de agua que lo recibe, a causa del desarrollo de algas.

El proceso de activación del lodo, no es aplicable cuando no se disponga de personal que pueda atenderlo de un modo constante y con competencia, debido al equipo mecánico que hay que hacer funcionar y conservar, y a la naturaleza química, física y biológica del proceso, que hay que conocer bien. La cantidad de carga hidráulica consumida y el área superficial requerida son menores que los necesarios en cualquier otro proceso que pueda dar resultados iguales o mejores. La calidad del líquido saliente puede regularse, dentro de ciertos límites, durante el desarrollo del proceso.

El volumen de lodo producido es mayor que el que se obtiene en cualquier otro proceso, salvo quizá en el tratamiento químico, y el lodo es difícil de tratar. Sin embargo, puede venderse, para compensar una parte del costo de su tratamiento (3).

4.3. Organismos aislados del sedimento activado

(Según Curds y Hawkes, 1975)

Un ingrediente especialmente importante del lodo es la especie de bacteria *Zoogloea*, la cual forma masas floculantes (floculos) en los tanques de aireación.

Cuando la fase de aireación es completada, el flóculo (lodo secundario) se deja asentar en el fondo, (como el lodo primario). Inicialmente la materia orgánica es asimilada por bacterias formadoras de limos, bacterias filamentosas y hongos

filamentosos. Esos organismos sirven de alimento a los protozoos que son muy activos en la película y éstos son a su vez comidos por animales pluricelulares, de tal modo que en la película se da una cadena alimenticia en miniatura. Esta cadena alimentaria tiene gran importancia en la eliminación efectiva de la materia orgánica puesto que en cada paso de la cadena una parte de la materia orgánica es convertida en CO_2 por procesos respiratorios, y al cabo de un tiempo la materia orgánica es completamente eliminada.

La oxidación de la materia orgánica en la película conduce a la desaminación de los compuestos de nitrógeno orgánico y a la liberación de NH_3 , que es convertido después en nitratos por las bacterias autótrofas nitrificantes. De modo similar, por descomposición de los compuestos orgánicos que contienen azufre, se produce H_2S , y éste es convertido en SO_4^{2-} por los oxidadores autótrofos del azufre.

En la película se forma también fosfato inorgánico por la hidrólisis de los ácidos nucleicos y de otros compuestos que contienen fósforo.

Esas sustancias inorgánicas oxidadas, NO_3^- , SO_4^{2-} y PO_4^{3-} , eliminadas en el efluente, son excelentes nutrientes para el desarrollo de algas, especialmente en los ríos que reciben efluentes de plantas de tratamiento de residuos (2).

A continuación se da una lista de Organismos aislados del sedimento activado.

Bacterias

Pseudomonas

Nitrosomas

Nitrobacter

Zoogloea

Sphaerotilus

Beggiatoa

Azotobacter

Achromobacter

Chromobacterium

Flavobacterium

Arthrobacter

Mycobacterium

Bdellovibrio

Escherichia

Leucothrix

Nocardia

Bacillus

Protozoos

11 géneros de fitoflagelados

7 géneros de zooflagelados

13 géneros de amebas

4 géneros de actinópodos

59 géneros de ciliado(35 % de las especies:peritrichida)

Hongos

Arthrobotrys

Zoophagus

Cephalosporium

Geotrichum

Pullularia

Penicillium

Cladosporium

Alternaria

Candida

Trichosporium

Rotíferos

5 géneros, principalmente *Bdelloidea*

4.3.1. Bacterias filamentosas

Dentro de las bacterias acuáticas encontramos al género *Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Haliscomenobacter spp.*, que son bacterias detectadas en el lodo activado.

Estas bacterias tienen la característica de formar vainas, la presencia de la vaina se da como consecuencia de las condiciones nutricionales y ecológicas de este grupo de organismos. Esto implica particularmente su crecimiento lento en corrientes de agua bajas en nutrientes, donde la presencia de una vaina permiten a la bacteria sujetarse ella misma a superficies sólidas. La vaina protege a los organismos contra parásitos y depredadores (23)

4.3.1.2. Descripción y características de las Bacterias Filamentosas

Las investigaciones que se han hecho acerca de los organismos filamentosos encontrados en lodos activados no son suficientes para identificar a los tipos de microorganismos filamentosos que se encuentran en las plantas de tratamiento. Regularmente se ha encontrado *Sphaerotilus natans* y aunque ahora se sabe que existen 20 diferentes microorganismos filamentosos en lodo activado y que cada uno de estos puede conducir a problemas diferentes. El trabajo de D.H Eikelboom en Holanda(16) provee una base racional para identificar los diferentes organismos filamentosos en lodos activados.

Este sistema de identificación está basado en las características de los filamentos vistas al microscopio de contraste de fases en muestras vivas (in situ) y dos simples reacciones de tinción (la tinción de Gram y la tinción de Neisser) (18). Cada organismo filamentoso puede ser clasificado usando un código de cuatro números dígitos evitando problemas de falta de especificidad genuina de nombres.

Esto es importante, ya que muchos de los organismos filamentosos encontrados en lodos activados no han sido aislados en cultivos puros y por lo

tanto su identificación aún no se sabe. Cuando estos organismos filamentosos se aíslan y son propiamente nombrados reemplazándose por nombres genéricos en el código de cuatro números dígitos queda un híbrido entre números y nombres de género (16).

El método Eikelboom's fue usado para caracterizar a los microorganismos filamentosos en lodo activado (para identificar tipo, más que especie). Las características de interés fueron la presencia de ramificaciones, motilidad, gránulos de sulfuro, u otras inclusiones; forma del filamento (recto, ligeramente doblado, rizado o enrollado) y localización (sobresaliente del flóculo o flotando libremente); color (con el interruptor de contraste de fases apagado) y opacidad; la presencia de una vaina, con paredes transversales, y ligadas a unicelulas de otra bacteria; diámetro, longitud; y medida de la célula, forma.

Forma y longitud del filamento

Los filamentos pueden ser largos, cortos, ligeramente curvado, enrollado, irregularmente curvado, recto, o empaquetado.

Forma de la célula individual.

La bacteria filamentosa está constituida de una cadena de células. La forma individual de las células es la característica que puede ayudarnos a identificar los diferentes tipos de bacterias filamentosas. La forma de la célula puede ser redonda, cuadrada, rectangular, oval, o discoide.

Célula septada.

La célula septada es la "línea" que separa cada célula individual la cual hace la bacteria filamentosa.

El septo se ve claramente en algunos filamentos y es muy difícil verla en otros. Algunos septos son "identificadas" y algunas otras no.

Motilidad.

La motilidad es la habilidad de un organismos para producir movimiento o para moverse.

Gránulos intercelulares.

Algunos filamentos almacenan productos como gránulos intercelulares (principalmente gránulos de sulfuro).

Los gránulos de sulfuro pueden ser muy claros bajo la fase de contraste y son encontrados usualmente en desechos sépticos. Los gránulos de sulfuro son comúnmente encontrados en *Beggiatoa*, *Thiothrix* y tipo 021N.

Ramificaciones.

Las ramificaciones pueden ser "verdaderas" o "falsas". Si un filamento tiene ramificaciones verdaderas en el fluido intercelular podría fluir libremente por todas las ramificaciones del filamento. Los fluidos intercelulares no pueden fluir a través de las falsas ramificaciones. En las falsas ramificaciones los filamentos están simplemente asidos simulando una rama.

Hay solo dos filamentos que exhiben ramificaciones; una tiene ramificación verdadera y otra falsa. *Nocardia spp* tiene ramificaciones verdaderas y *Sphaerotilis natans* exhibe falsas ramificaciones

Vaina.

Las células de algunos organismos filamentosos están contenidos en vaina estrecha. El camino más fácil para detectar una vaina es por observación de "espacios perdidos" entre las células.

Algunos filamentos que tienen vaina son *Haliscomennobacter hydrosis*, *Sphaerotilis natans*, tipo 1701, tipo 0041, y tipo 675.

Forma de crecimiento.

Algunos filamentos tienen células bacterianas asidas a lo largo, perpendicular al filamento.

Hay tres filamentos en los cuales comúnmente sucede. Tipo 0041, tipo 0675, y tipo 1701.

4.3.1.2.1. Bacterias filamentosas frecuentes en lodo activado, según clasificación de D.H. Eikelboom's(18)

Tipo 1701

Nocardia Spp

Tipo 0041

Tipo 0231N

Tipo 0092

Haliscomenobacter hydrossis

Microthrix parvicella

Tipo 0581

Tipo 1851

Sphaerotilus natans

4.3.1.2.1.2. Problemas ocasionados por el descontrol sobre las bacterias filamentosas.

Los organismos filamentosos (principalmente bacterias, pero también hongos) pueden conducir a problemas operacionales si no son controlados.

Dos de los problemas más comunes son abultamiento y espuma (16). En el efecto de abultamiento se notan dos características importantes: 1) Formación de un flóculo por puente interflocular. Donde los filamentos se extienden de la superficie del flóculo atrapando partículas y se desintegra.

2) Abultamiento por apertura de la estructura del flóculo. Los filamentos, crecen principalmente dentro del flóculo y este crece alrededor unido a los filamentos. Aquí el flóculo se hace grande, de forma irregular, y contiene

espacios interiores vacíos. Este último tipo de abultamiento es a menudo pasado por alto por el observador inexperto.

Adicional a los problemas microbiológicos que ocurren se incluye también: crecimiento disperso o de floculación; desarrollo de flóculos contraídos; crecimiento de una capa de lodo; y formación de limo. Sin embargo una cierta cantidad de organismos filamentosos pueden ser benéficos para el proceso de activación del lodo. Una carencia de organismos filamentosos pueden conducir a pequeños flóculos fácilmente dispersables que se asientan bien pero ocasionan posteriormente una turbidez en el efluente.

La hipótesis que se tiene con respecto a los organismos filamentosos es que sirven como columna vertebral de la estructura del flóculo, permitiendo la formación de flóculos grandes y resistentes.

Se sabe que la variedad de nutrientes presentes en las aguas de desecho industrial y doméstico crean excelentes condiciones para el crecimiento de varias bacterias unicelulares y filamentosas (22). Además debido a que las plantas de tratamiento de lodo activado son operadas de diferente forma en varias partes del mundo y el desarrollo de los filamentos depende fuertemente de las condiciones de operación por ejemplo *Microthrix parvicella* es reportada como la causa de la prevelecia de masa en Europa.

Los lodos activados espumosos, causados por organismos filamentosos también son frecuentes.

Los organismos filamentosos causantes de espuma en lodos activados son primariamente *Nocardia Spp* (Fig. 1) y menos común *M. parvicella*. Estos organismos filamentosos pueden causar el desarrollo de espuma viscosa estable, coloración parda que dificulta el rompimiento mecánico usando roseadores de agua y no responden a la adición de antiespumantes químicos. La espuma de los lodos activados puede ser solamente una molestia o puede provocar serios problemas.

En tiempo de frío puede congelarse, en tiempo caluroso esta espuma se hace olorosa, la espuma puede llegar al efluente tratado, causando una violación en los estándares de descargas de las plantas de tratamiento. Adicionalmente varias especies de *Nocardia* y *Mycobacterium* han sido aislados de espumas de lodos activados que pueden ser patógenos oportunistas del humano. Así la espuma de lodos activados no debe ser tomada a la ligera(16).



Fig. 1 Nocardia 1000x

Organismo con ramificaciones verdaderas

Sphaerotilus natans, responde a altas concentraciones de nutrientes donde el oxígeno administrado a menudo es bajo. *Leptothrix spp* no responde a la agregación de nutrientes orgánicos, por lo tanto se encuentra en agua poco contaminada.

M. parvicella y 0581 crecen también en baja carga orgánica.

El tipo 1701 es el organismo filamentososo que más comúnmente causa abultamiento en un lodo activado en los Estados Unidos. Es responsable de aproximadamente el 30% de abultamiento de 270 plantas de lodo activado y es encontrado en plantas de tratamiento doméstico, industrial y en mezcla de desechos doméstico e industrial. Aunque los desechos industriales fomentan la proliferación de éste, generalmente contiene compuestos de carbón rápidamente degradables, como el encontrado en desechos de frutas y alimentos procesados como fabricación de cerveza, procesado de papel, leches y carnes.



Fig. 2 *Microthrix parvicella* 1000x
Filamento enrollado, célula no septada.

S. natans es observado principalmente como causante de abultamiento de plantas de tratamiento de desechos domésticos. Esta bacteria se conoce como causante de abultamiento desde el inicio de los lodos activados en 1914.

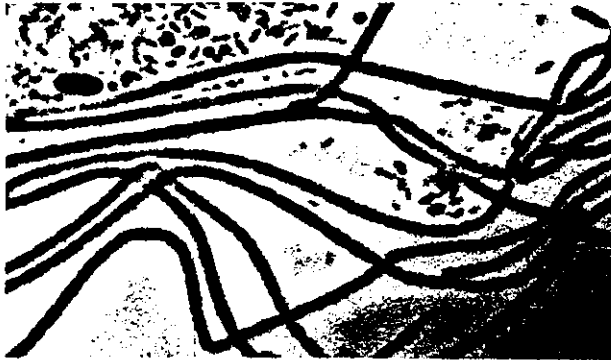


Fig. 3 *Sphaerotilus natans* 1000x
Organismo envainado con falsas ramificaciones

Aunque en el pasado han sido propuestas numerosas especies de *Sphaerotilus*, solo una especie (*S. natans*) es reconocida comúnmente en el Manual Bergey's (8ava. edición 1974).

Descripción de *S. natans* y el Tipo 1701 observado en lodos activados:

Sphaerotilus natans. Los filamentos irradian fuera de la superficie del floculo y causa interferencia en la sedimentación de lodo por la formación de puentes interfoculares.

En el tipo 1701, los filamentos se encuentran predominantemente entrelazados dentro del floculo con filamentos cortos extendiéndose dentro de la masa, dando lugar a una estructura flocular abierta y difusa. Ocasionalmente difundiéndose hacia el exterior del floculo en la solución abultada. En este caso, el tipo 1701 crece bastante rápido aún sin colonizarse por bacterias(18). Los organismos filamentosos responsables de los problemas en los procesos de lodos activados fueron identificados y colocados usando el sistema Eikelboom's.

La mayoría de tipos de filamentos pueden ser identificados en grupos basados en las condiciones en las cuales fueron asociados. Los dos principales grupos están constituidos de los Tipos 1701, 021N, *S. natans* y 1863, indicativos de abultamiento en baja mezcla de licor DO, y los tipos 0041,0092, *M.parvicella* y 0581, indicativo de abultamiento a baja carga orgánica.

Con el uso de estos grupos, es posible determinar el tipo de abultamiento basado en los tipos de filamentos presentes. Esto representa un paso práctico para el acceso al control del abultamiento(18).

Cinco de las causas específicas del crecimiento filamentoso se mencionan a continuación:

Tabla 3.

TIPOS DE FILAMENTOS DOMINANTES COMO INDICADORES DE CAUSAS DE ABULTAMIENTO EN LODOS ACTIVADOS.

CONDICIONES DE LAS CAUSAS	TIPOS DE FILAMENTOS INDICATIVOS
Bajo oxígeno disuelto(por aplicación de carga orgánica)	1701, <i>S.natans</i> , <i>H. hydrossis</i>
Baja proporción de carga orgánica.	<i>M.parvicella</i> , <i>Nocardia Spp</i> , <i>H. hydrossis</i> , Tipos 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 y 0803.
Desagües sépticos/sulfuros	<i>Thiothrix spp</i> , <i>Beggiatoa spp</i> , Tipo 021N
Deficiencia de nutrientes (N y/o P)	<i>Thiothrix spp.</i> , Tipos 021N, 0041 (Solo desechos industriales) y 0675
Bajo pH (menor de 6.0)	Hongos

Esta información es usada como herramienta para determinar la causa del crecimiento, y ésta a la vez sirve para hacer una identificación temprana de filamentos en un caso de abultamiento, para detectar desde el inicio a los organismos causales.

4.3.1.2.1.3. Importancia de la detección de los organismos filamentosos en lodos activados:

"La identificación de los tipos de filamentos problemáticos y la asociación de éstos con las condiciones específicas de operación y las características del influente fueron los primeros pasos importantes, para poder establecer métodos específicos de control"(4).

(1) Para establecer que un problema de asentamiento o de espuma es debido a crecimiento de filamentos.

(2) Comparar el filamento o filamentos causantes observados en episodios separados de abultamiento en una planta: son los mismos o diferentes los filamentos responsables a diferentes tiempos.

(3) Relacionar el tipo(s) de filamentos observados para sugerir condiciones causales para evaluar acciones correctivas.

(4) Evaluar el efecto de cambios operacionales realizados en los tipos y cantidad de filamentos presentes (para ver si las medidas que se tomaron han sido las acciones de remedio apropiadas) y

(5) Proveer operadores y personal de laboratorio con conocimientos en microbiología de lodo activado.

Es importante hacer la identificación temprana del tipo de filamentos en los episodios de abultamiento, para observar desde el inicio los organismos causantes.

Si continua la masa, el trastorno del proceso puede conducir a la proliferación de varios tipos de filamentos lo cual puede llevar a una confusión en el diagnóstico de la causa real(16).

4.3.2. Descripción de los protozoarios

Los protozoarios en el proceso de activación del lodo se encuentra dentro de las clases: amoeba, flagelados, y ciliados (nadadores libres, rastreros, y con tallo).

Phylum protozoa

Animales microscópicos cuyo cuerpo consta de una célula que está diferenciada en distintos organelos que llevan a cabo la mayoría de las funciones de los órganos multicelulares de organismos superiores. La gran diversidad en la morfología, locomoción y método de obtener su alimento permite clasificarlos.

Todos los protozoarios parásitos del hombre son microscópicos.

Los protozoarios tienen muchas estructuras especializadas y complejas que les sirven para alimentarse o moverse.

La clase Mastigophora o flagelados. Se mueve mediante estructuras especializadas llamadas flagelos. El flagelo es una prolongación del citoplasma en forma de hilo trenzado que funciona como medio de propulsión para el protozoario. Es muy variable el número y posición de los flagelos en las diferentes especies, y a menudo en relación con ellos, se pueden observar muchas estructuras que sirven de soporte y para otras funciones, y confiere el aspecto característico de cada especie. Otros flagelados (*zoomastigina*), usualmente de tamaño más pequeño, no tienen pigmentos y su alimentación depende de materia orgánica. Aunque la mayoría de los flagelados son nadadores libres, existen algunas formas coloniales en las que los individuos están fijos en un tallo común.

Algunos flagelados (*phytomastigina*) se parecen a las algas flageladas pues tienen pigmentos que permiten llevar a cabo la fotosíntesis, ej Euglena.

La mayoría de los flagelados absorbe nutrientes disueltos. Dentro de poco comienzan a desaparecer las *amoebas* y mientras lentamente aumentan las concentraciones de alimento soluble. Los flagelados y las bacterias ambos se alimentan de nutrientes orgánicos del agua residual hasta que el nivel de nutrientes baja tiene dificultades para competir con las bacterias por el alimentos soluble, su número también disminuye.

Grandes cantidades de flagelados están presentes en etapas tardías del desarrollo del lodo activado esto usualmente indica que el agua residual contiene grandes cantidades de nutrientes orgánicos solubles (24).

La Clase Sarcodina. Contiene a aquéllas formas que se mueven mediante protusiones citoplásmicas llamadas pseudópodos. Incluye todas las amibas en estado libre y a las simbióticas del intestino y de otras partes del organismo. Bajo condiciones adversas las células pueden tomar una forma esférica y secretar una cubierta protectora externa para formar un quiste ej. *Amoeba*.

Ellas frecuentemente están, presentes en el influente crudo, y su presencia es corta en el tanque de aireación. *Amoeba* puede solo multiplicarse cuando hay abundancia de nutrientes en el tanque de aireación. Se mueven lentamente y esto les dificulta para competir por su alimento por lo que la cantidad disponible de alimento les esta limitada.

Ellas solo dominan en el tanque de aireación por poco tiempo.

Se alimentan de pequeñas partículas orgánicas. Cuando *amoeba* está presente en grandes cantidades en el tanque de aireación esto usualmente indica que la planta ha sido sometida a algunas pequeñas descargas. Su presencia puede indicar que hay una baja D. O. En el medioambiente del tanque de aireación, porque ellas pueden tolerar muy bajas cantidades de D.O. (24)

Algunos organismos de esta clase poseen una coraza protectora con una estructura característica, como *Diffugia* y *Arcilla*.

La Clase Sporozoa. En esta clase hay un ciclo biológico en el que se alternan generaciones sexuales y asexuales. Cuatro especies de Plasmodium son principalmente parásitos sanguíneos del hombre y originan el paludismo.

La Clase Ciliata. Contiene una gran variedad de especies en estado libre y simbióticas. La locomoción la llevan a cabo mediante cilios, que son hilos muy cortos de citoplasma. Algunos ciliados son multinucleados en tanto otros no tienen más de dos núcleos, uno grande o macronúcleo y otro pequeño o micronúcleo.

Los ciliados se nutren de bacterias, no de materia orgánica disuelta. Mientras las bacterias y flagelados compiten por nutrientes disueltos, los ciliados compiten con otros ciliados y rotíferos por bacterias. La presencia de ciliados indica un lodo bueno, porque ellas dominan después que el flóculo se ha formado y después que la mayoría de nutrientes orgánicos han sido removidos.

- Ciliados nadadores libres – Estos ciliados aparecen cuando los flagelados comienzan a desaparecer. Cuando la población bacteriana aumenta una porción de bacterias dispersadas están disponibles como alimento y mientras aparecen flóculos ligeramente dispersados, los ciliados nadadores libres comienzan a dominar y alimentarse del incremento de bacterias.
- Los ciliados rastreros – partículas del flóculo se extienden y estabilizan, los ciliados rastreros se encuentran sobre las partículas del flóculo. Estos ciliados compiten por fuera con los ciliados nadadores libres por el alimento porque ellos pueden encontrar el alimento dentro del flóculo.
- Ciliados con tallo – los ciliados con tallo aparecen en el lodo maduro. Dentro del lodo maduro los ciliados rastreros y de tallo. Compiten por dominar.

La presencia de un particular tipo de protozoarios está relacionada a la calidad del efluente y al funcionamiento de la planta. Los protozoarios juegan un secundario pero importante rol en la purificación aeróbica del agua residual (24).

4.3.3 Descripción de los nematodos

Phylum aschelminthes (clase nemátoda)

Los nemátodos o gusanos redondos son cilíndricos y alargados, con frecuencia achatados en sus extremos. Tienen una cutícula rígida, la cual puede suavizarse o extenderse para formar una gran variedad de estructuras, en particular en los extremos posterior y anterior. Los sexos están separados y el macho suele ser más pequeño que la hembra. Tiene aparato digestivo bien formado. Muchos nematodos se encuentran en estado libre pero otros parasitan al hombre, animales y plantas. Se necesitan huéspedes intermediarios para la maduración de las larvas de algunas especies. Los parásitos del hombre incluye especies que habitan en el intestino y otros tejidos.

Los parásitos producen gran cantidad de huevos, los cuales salen en las heces de los hospederos, por lo que debe considerarse su posible diseminación en los lodos. Las formas de vida libre son usualmente pequeñas, con longitud promedio de 1mm sus movimientos son en forma de S, debido a la curvatura del cuerpo, el cual permanece con diámetro constantes.

4.3.4. Descripción de los rotíferos

Phylum rotifera

Son animales microscópicos no segmentados caracterizados por la presencia de una estructura ciliada en la parte anterior (la corona), la cual es utilizada en la alimentación y la locomoción. En muchos rotíferos la corona tiene forma de dos discos aplanados. La mayoría de las especies vive en agua dulce y son capaces de resistir la desecación formando quistes, siendo dispersados por el viento en esta forma.

Además de presentar reproducción sexual normal, los huevos pueden desarrollarse sin haber sido fertilizados, un fenómeno conocido como partenogénesis. En una familia, la cual incluye el género común Rotifer, no se

han encontrado machos, y en otros, los machos son pequeños y están degenerados.

Los rotíferos raramente se encuentran en grandes cantidades en el proceso de tratamiento del agua residual. El principal papel de los rotíferos es de remoción de bacterias y del desarrollo del flóculo. Los rotíferos contribuyen a la remoción de la turbidez del efluente por remoción de bacterias no floculadas. La mucosa secretada por los rotíferos le sirve para obtener su alimento y ayuda en la formación del flóculo. Los rotíferos requieren de grandes períodos de tiempo para comenzar a establecerse el proceso de tratamiento. Los rotíferos indican aumento de la estabilización de los desechos orgánicos.

3.1.2.3. Tratamientos terciarios:

Los tratamientos terciarios son procesos que se designan para alcanzar una gran calidad en el efluente.

Como se vio, los tratamientos primario y secundario del agua residual no remueven toda la materia orgánica biológicamente degradable.

El efluente de las plantas de tratamientos secundarios contienen algo de BOD residual. También contiene cerca de 50% de el nitrógeno original y 70% de el fósforo original el cual puede afectar grandemente a los ecosistemas de los lagos(21).

El tratamiento terciario es designado para remover esencialmente toda la BOD, nitrógeno y fósforo y depende menos del tratamiento biológico y más de los tratamientos físicos y químicos. Algunos sistemas fomentan la desnitrificación bacteriana para formar gas nitrógeno volátil. El fósforo es precipitado para combinarse con químicos tales como calcio, alumbre, y cloruro férrico. Los filtros de arena fina y carbón activado remueven pequeñas partículas de materia y químicos disueltos. Finalmente, es agregado cloro a el agua purificada para matar o inhibir algunos microorganismos que quedan y para oxidar algo de lo que permanece del olor producido por las substancias.

El tratamiento terciario provee agua que es adecuada para tomar, pero el proceso es extremadamente costoso. El tratamiento secundario es menos costoso, pero el agua que ha experimentado solo tratamiento secundario contiene muchas sustancias que contaminan el agua. Se han hecho trabajos para designar plantas de tratamiento secundario en los cuales el efluente puede ser usado para irrigación. Esta designación puede eliminar una fuente de contaminación de agua, proveyendo nutrientes para el crecimiento de las plantas, y reduce la demanda en un abastecimiento de agua escaso.

El suelo puede actuar como un filtro de goteo que remueve químicos y microorganismos antes que alcance el agua subterránea. El agua de desecho con coliformes abajo de 2.2/100 ml es usada para irrigar cosechas de alimentos, huertos, y pasto, el agua con conteo de coliformes abajo de 23/100 ml es usada para irrigar jardines y áreas recreativas(21).

Algunas comunidades han desarrollado sin embargo plantas de tratamiento terciario. El lago Tahoe en la Sierra Nevada, está rodeado por grandes desarrollos, es el sitio de uno de los mayor conocidos sistemas de tratamiento terciario.

Dentro del proceso de tratamiento terciario tenemos:

- * Remoción de sólidos suspendidos
- * Adsorción con carbón activado (remoción orgánica)
- * Intercambio iónico
- * Osmosis inversa
- * Electro diálisis
- * Oxidación química (cloración y ozonización)
- * Remoción de nutrientes

OBJETIVO GENERAL

Observar la relación de las bacterias filamentosas con la activación de un lodo y la remoción bacteriana. Teniendo en cuenta los problemas observados en un reactor biológico aerobio como abultamiento y espuma con relación a ciertos tipo de bacterias filamentosas. Y con la ayuda de la técnica de NMP determinar que cantidad de bacterias coliformes existen en el agua residual antes de que se lleve a cabo el tratamiento del agua residual y después para ver la diferencia de bacterias coliformes después del tratamiento.

OBJETIVOS PARTICULARES

Aislar Bacterias Filamentosas de un Lodo Activado usando medios de cultivo específicos, medio de enriquecimiento, y medios nutritivos.

Observar Macro y microscópicamente las características del lodo en presencia de estas bacterias, partiendo de agua residual y condiciones similares a las de un reactor biológico aerobio.

Evaluar la eficiencia del lodo con cada bacteria filamentosa aislada en su capacidad de remover las bacterias coliformes presentes en el agua residual, evaluando ésta de manera indirecta con la ayuda de la técnica del NMP.

5. METODOLOGIA

Para llevar a cabo este trabajo se llevó a cabo la siguiente metodología tomando en cuenta en principio los diferentes medios de cultivo para el aislamiento de las bacterias filamentosas, pero para esto fue necesario probar varios medios de cultivo, tales como de cultivo de prueba y específicos, tomando en cuenta que: El aislamiento de microorganismos filamentosos, producido en un lodo activado, no es fácil tarea debido a la presencia de

grandes números de bacterias no filamentosas que crecen rápidamente en los flocos (12).

5.1. MEDIOS DE CULTIVO DE PRUEBA

AGUA RESIDUAL ESTERIL-AGAR SOYA

AGUA RESIDUAL ESTERIL-AGAR NUTRITIVO

Para ambos medios de cultivo:

Se esterilizaron 200 ml de agua residual, por 1 hora.

Se preparó siguiendo las especificaciones del marbete del medio con la variante de suspender en el agua residual estéril en lugar de agua destilada.

5.2. MEDIOS DE CULTIVO ESPECIFICOS

Para lograr el aislamiento de las bacterias filamentosas fue necesario utilizar medios de cultivo específicos con el fin de promover su crecimiento, teniendo en cuenta el conocimiento de que la condición nutricional de un medio pobre limita el desarrollo de colonias de bacterias indeseables y permite grandes áreas para los organismos filamentosos (7).

LOS MEDIOS USADOS FUERON LOS SIGUIENTES:

Medio de Rouf y Stokes (*Leptothrix*)

Medio de Winogradsky's (*Nocardia* y *Rhodococci*)

Medio de Agar Glicerol (*Nocardia* y *Rhodococci*)

Medio de Stokes (*S. Natans*)

Medio de Glucosa Sales Minerales (GMB)

Medio de enriquecimiento de paja de alfalfa.

5.3. Toma de Muestras

El muestreo se llevó a cabo en la planta de tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec (Reactor Biológico) mismo que opera con el proceso convencional de Lodos Activados.

El estudio microbiológico, se realizó en el "Laboratorio de Aguas del Centro de Asimilación Tecnológica" (CAT) y Laboratorio de Bacteriología de Postgrado en Campo-1

La toma de muestras se realizó en el reactor biológico (Tanque de aireación).

Al efectuar el muestreo es muy importante que ninguno de los componentes del agua se pierda o se agregue durante la colección y manejo de la muestra, por esta razón los equipos de muestreo como los recipientes usados para su manejo fueron de material inerte como vidrio o polietileno.

La muestra se colectó del reactor biológico al final del canal colector, ya que en este punto existe una buena mezcla de los cuatro diques del reactor, la muestra se tomó debajo de la superficie, para excluir la espuma.

El muestreo se hizo cada tercer día durante cuatro meses.

5.3.1. Muestreo (Reactor Biológico)

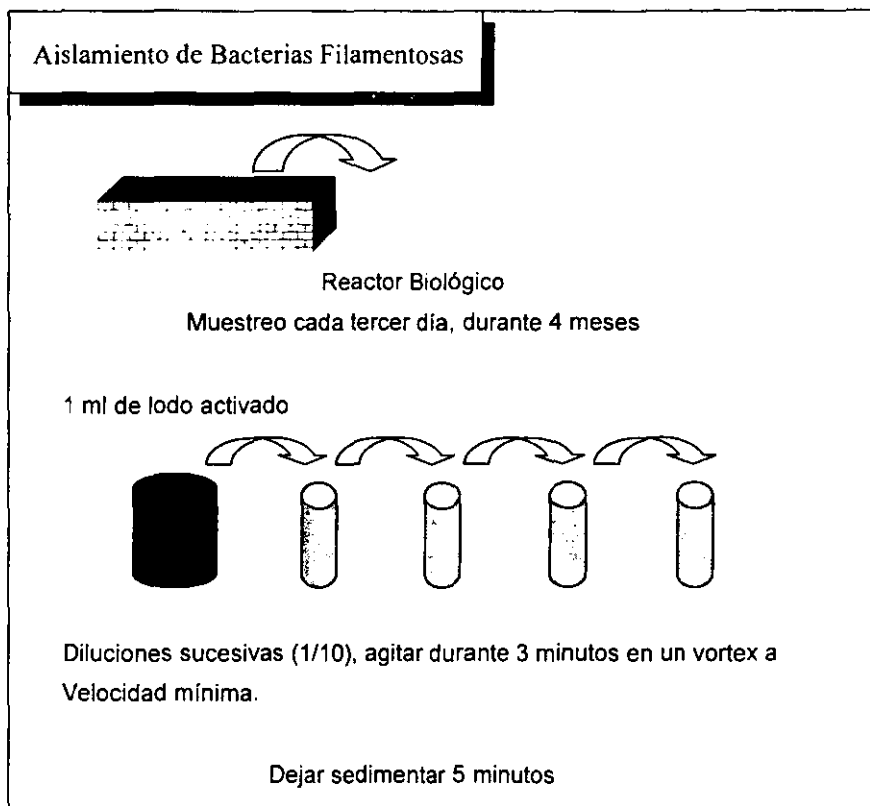
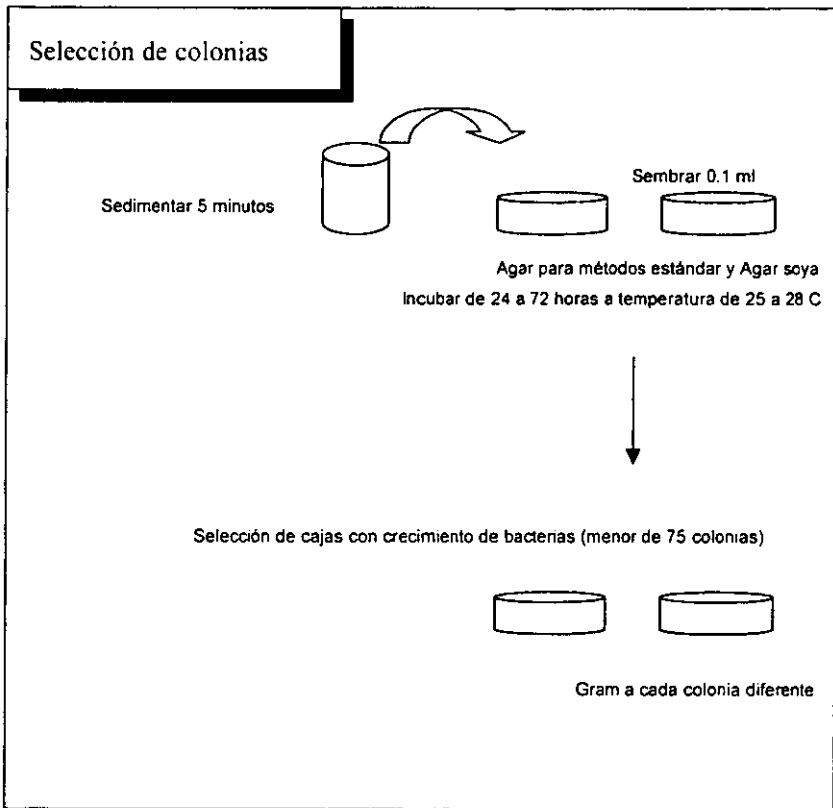


FIGURA 1 Toma de muestras en el reactivo aerobio.

Se hacen diluciones sucesivas con el fin de tener menor cantidad de bacterias y poderlas observar y aislar.

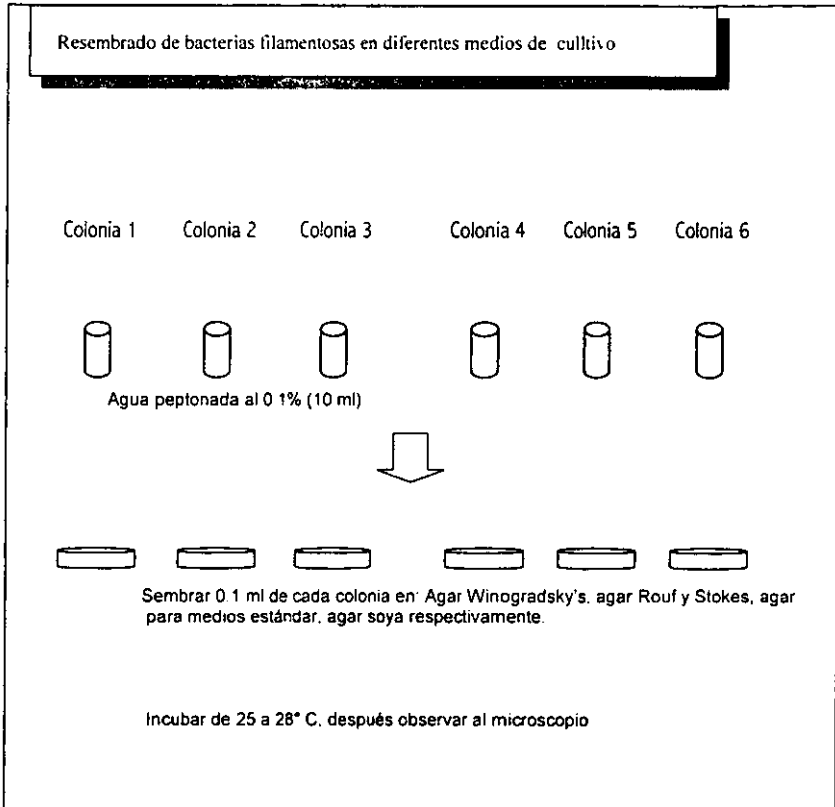
FIGURA 2 Selección y aislamiento de Bacterias filamentosas.



Se sembró lodo activado en medios nutritivos

Para iniciar el aislamiento de las bacterias filamentosas.

FIGURA 3 Purificación de bacterias filamentosas



Se resembraron las colonias de bacterias filamentosas que se mantenían en agua peptonada para tener cultivos puros y también se resembró en diferentes medios de cultivo, con la finalidad de ver su desarrollo y morfología tanto de las colonias como de las células en cada medio

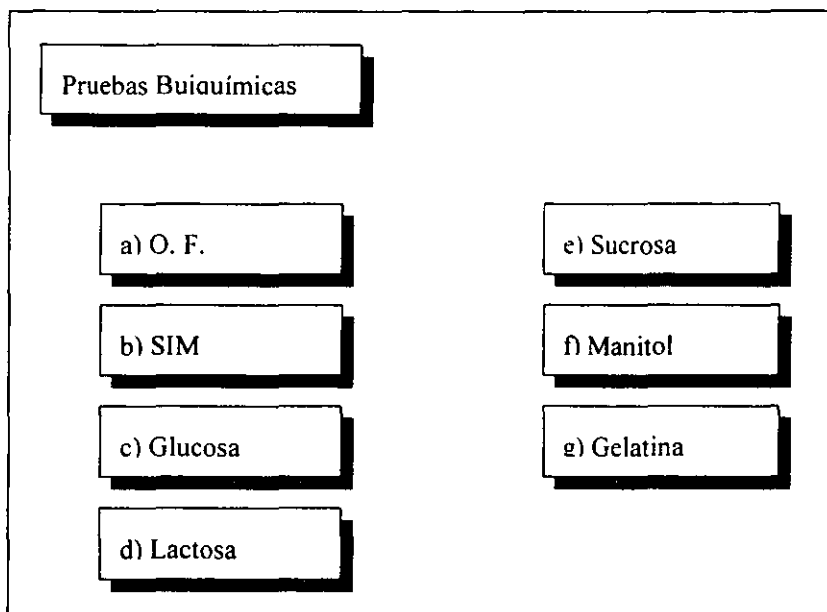


FIGURA 4
Pruebas bioquímicas realizadas para la identificación de Bacterias filamentosas.

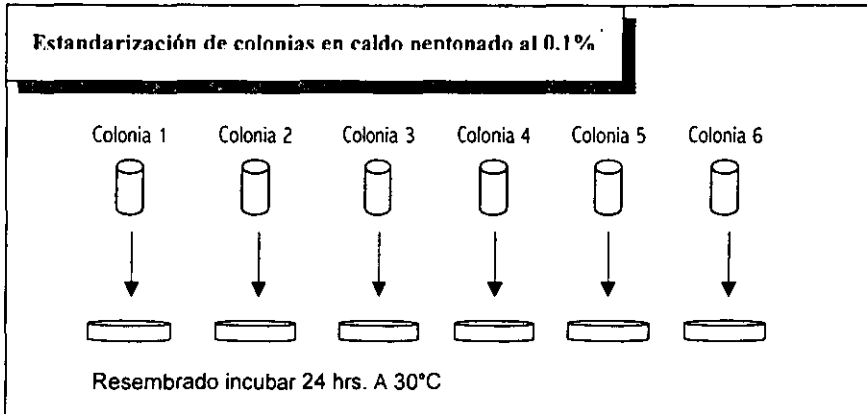
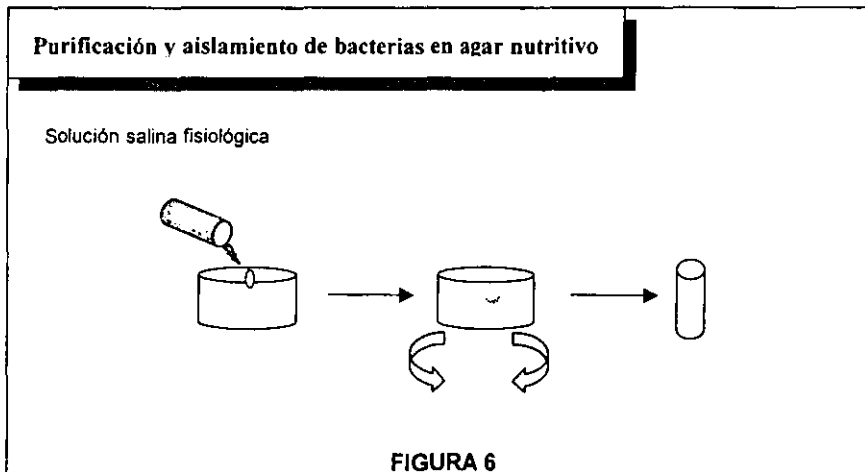


FIGURA 5 Estandarización de colonias filamentosas.

Se resiembran nuevamente las bacterias en agar nutritivo (A. Soya) para posteriormente hacer un lavado de las colonias y poder determinar su densidad óptica.



Purificación y aislamiento de bacterias filamentosas para adicionarlas al reactor aerobio.

Estandarizar cada cultivo a Densidad Óptica de 11.4% de transmitancia a 590 nm.

5.3.2 CONTEO COLIFORMES POREL METODO DE NUMERO MAS PROBABLE.

FIGURA 7 Conteo por coliformes (por el método del número más probable (NMP)) del agua residual al inicio para ver la cantidad de coliformes presentes en la muestra.

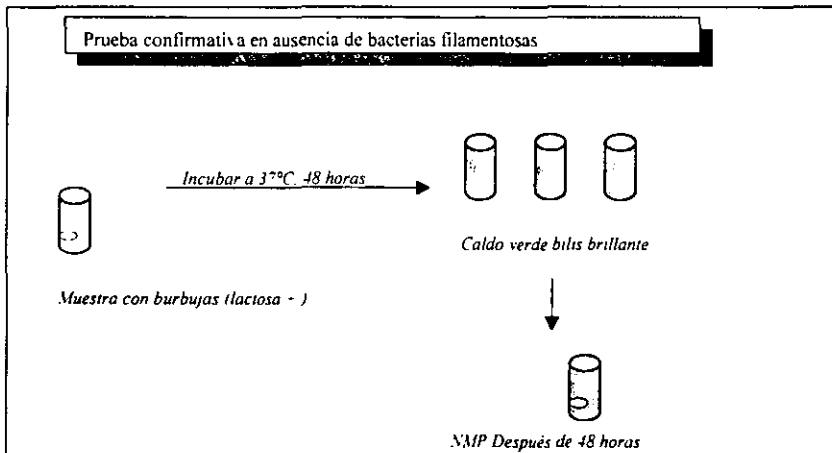
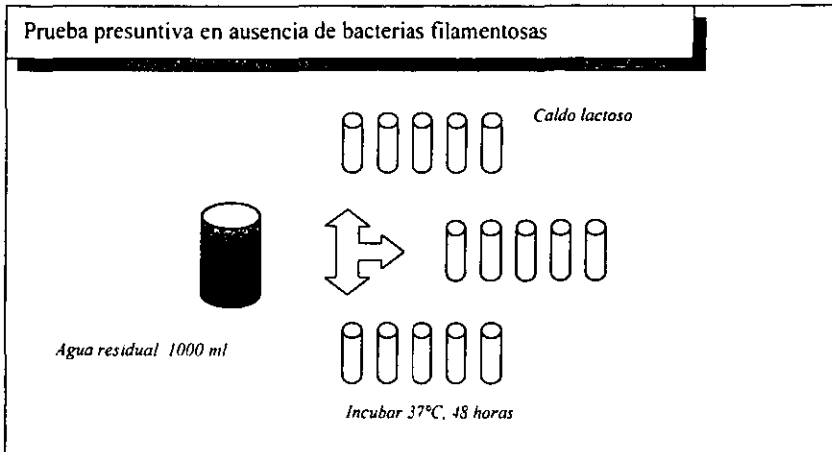
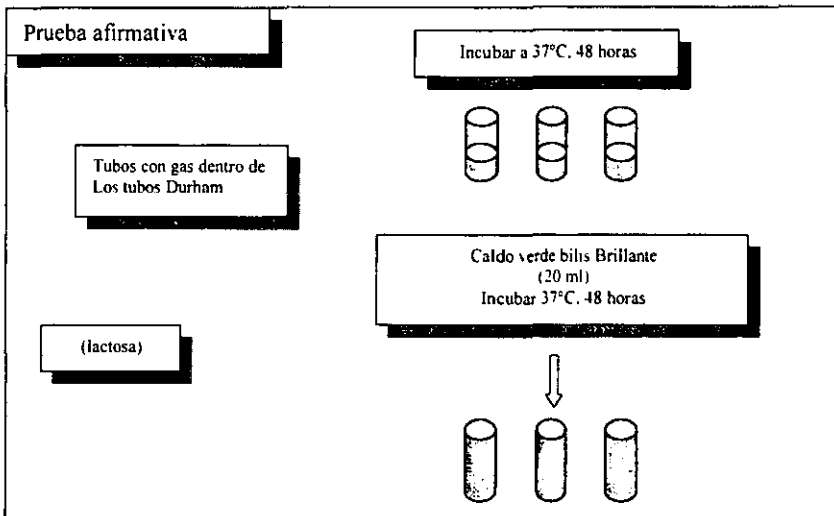
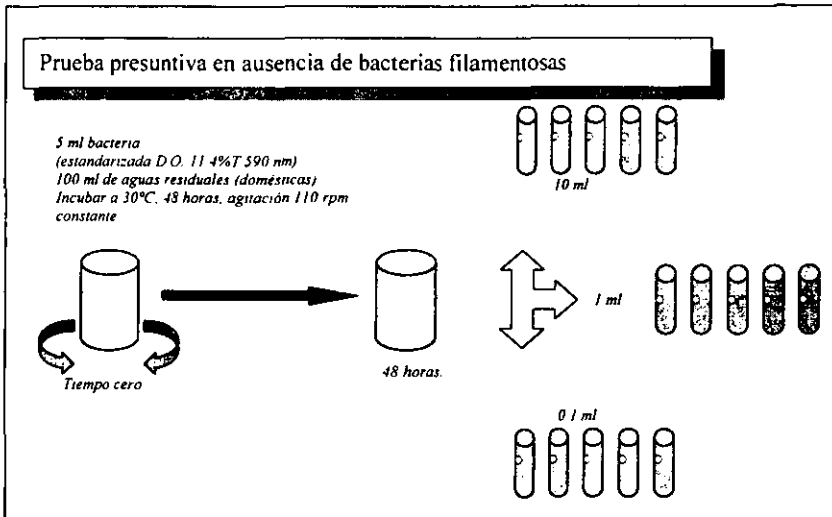


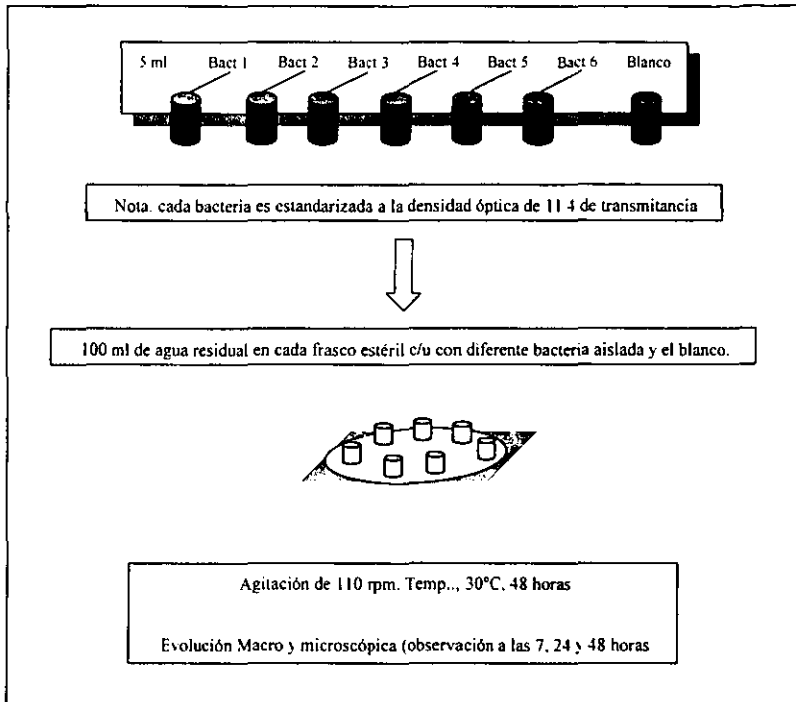
FIGURA 8 Prueba presuntiva y confirmativa para la detección de bacterias coliformes a las 48 horas de adicionar bacterias filamentosas (Normas Oficiales).



Esta prueba se hizo para ver la remoción bacteriana, después de agregar bacterias filamentosas al agua residual.

5.3.3. Observación macro y microscópica de la formación del floculo activado.

FIGURA 9 Observación Macro y microscópica de la formación del floculo activado.



6. RESULTADOS

6.1 Aislamiento de las cepas filamentosas

Las bacterias que presumiblemente se aislaron de acuerdo a sus características morfológicas y bioquímicas fueron:

Sphaerotilus, Microthrix parvicella, Tiothrix, y tres variedades de Haliscomenobacter.

En las tablas 4,5 se notan claramente las características morfológicas de las bacterias y colonias, y podemos ver que son diferentes, entre una y otra bacteria filamentosas notándose esta diferencia también en los resultados de las pruebas bioquímicas.

En las tablas 7,8,9 la característica principal observada es la evolución del lodo, sobretodo en el color y la cantidad o tamaño del floculo, al inicio se ve disperso y poco a poco se va compactando (con la mayoría de cepas), a la vez se nota también considerablemente la influencia del agua residual(carga orgánica y bacteriana).

Con respecto a la apariencia microscópica del floculo(ver tablas 10-12) se ven también cosas interesantes como la consistencia que fue adquiriendo poco a poco características arenosas. La cantidad de filamentos fueron disminuyendo porque se fueron integrando al floculo y las vorticelas fueron aumentando, lo cual indica que las características ambientales fueron cambiando, por eso proliferaron y en cambio las bacterias("otras")fueron disminuyendo conforme pasaba el tiempo.

Con respecto al gráfico 1 Se observa que las bacterias filamentosas influyen en la remoción bacteriana, y que nuevamente aquí también se observa la influencia de la concentración de materia orgánica del agua residual y Contaminantes químicos que en ese momento hubieran estado en la muestra de agua residual.

6.2 Morfología y pruebas bioquímicas de las bacterias filamentosas aisladas de Lodo Activado.

Tabla 4.
CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE LAS BACTERIAS FILAMENTOSAS.

No. Cepa	Forma	Agrupación	Tamaño	Grosor	gram
1	Filamento recto	Bacilos de 2 en 2 con espacio	Corto	Ancho	-
2	Filamento semicurvado	Bacilos con espacios poco claros	Corto	Ancho	-
3	Vainas cortas y esparcidas	Bacilos de 2 en 2 con espacios	Corto	Ancho	-
4	Filamentos largos	Bacilos de 2 en 2 con espacios poco perceptibles	Corto	Delgado	+
5	Filamentos(huellas digitales)	Bacilos de 2 en 2 con espacios	Corto	Ancho	+
5a	Filamentos rectos	Bacilos de 2 en 2 con espacios separados	Corto	Delgado	-
6	Filamento curvado	Bacilos de 2 en 2 con espacio corto	Corto	Ancho	+

Tabla 5.
CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS DE LAS COLONIAS AISLADAS DE LODO ACTIVADO.

No. Cepa	Color	Tamaño	Borde	Elevación	Aspecto
1	Crema	Mediano	Redondo	Plano	Grumoso- Opaco
2	Crema	Grande	Irregular	Centro ligeramente elevado	Grumoso Opaco (rehiletos)
3	Crema	Grande	Irregular	Plano	Grumoso-Opaco
4	Amarillento	Mediano	Redondo	Centro ligeramente elevado	Brillante transparente
5	Crema	Mediano	Redondo	Elevado	Grumoso-brillante
5a	Crema	Grande	Irregular	Centro ligeramente elevado	Grumoso-opaco
6	Perla	Mediano	Redondo	Elevado	Grumoso

Tabla 6.
PRUEBAS BIOQUIMICAS

Prueba	Cepa No.1	Cepa No.2	Cepa No.3	Cepa No. 4	Cepa No.5	Cepa No.6
O.F	+	+	-	+	+	+
SIM	-/(M-)	-/(M+)	-/(M-)	-/(M-)	-/(M-)	-/(M-)
NITRATOS	+	+	+	+	+	-
GLUCOSA	+	+	+	Dudoso	+	+
LACTOSA	-	-	-	Dudoso	Dudoso	+
SUCROSA	-	-	Dudoso	-	Dudoso	+
MANITOL	Dudoso	-	-	Dudoso	-	+
GELATINA	-	+	+	+	+	+

6.3 Efecto de las bacterias filamentosas en la formación del floculo activado.

Tabla 7: Influencia de las cepas filamentosas en la evolución física del floculo (1er muestra)

**APARIENCIA FISICA DEL FLOCULO
(7Hrs.)**

No. Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	4	Paja	Esponjosa con partículas	Fragmentos hialinos
2	4	Paja	Esponjosa con partículas	Fragmentos hialinos
3	4	Paja	Esponjosa con partículas	Semicompacto
4	1	Café	Esponjosa	Semicompacto
5	3	Café claro	Esponjosa	Semicompacto
5*	4	Paja obscuro	Esponjosa-hialina	Semicompacto
6	3	Paja obscuro	Esponjosa-hialina	Semicompacto
Blanco	2	Café obscuro	Esponjosa-hialina	Semicompacto

(24 Hrs.)

No. Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	3	Café	Esponjosa	Compacto
2	4	Café	Esponjosa	Semicompacto
3	4	Café	Esponjosa	Compacto
4	2	Café obscuro	Esponjosa	Compacto
5	4	Café	Esponjosa	Semicompacto
5*	4	Café	Esponjosa	Semicompacto
6	2	Café	Esponjosa (2 fases)	Compacto
Blanco	1	Café obscuro	Esponjosa	Compacto

(48 Hrs.)

No. Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	2	Café claro	Esponjosa	Semicompacto
2	3	Café claro	Esponjosa	Dispersa
3	3	Café laro	Esponjosa	Dispersa
4	1	Café	Esponjosa	Compacto
5	4	Café claro	Esponjosa	Semicompacto
5*	3	Café	Esponjosa	Semicompacto
6	3	Café	Esponjosa	Semicompacto
Blanco	1	Café obscuro	Esponjosa	Semicompacto

Tabla 8: Influencia de las capas filamentosas en la evolución física del floculo (2da Muestra)

**APARIENCIA FISICA DEL FLOCULO
(7Hrs.)**

No Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	0	Sin floculo	Agua turbia	Ninguna
2	5	Crema	Agua turbia	Disperso
3	1	Crema	Agua turbia	Disperso
4	2	Café claro	Malla hialina con particulas	Semicompacto
5	3	Café claro	Malla hialina con particulas	Semidisperso
5*	4	Crema	Agua turbia	Semidisperso
6	2	Café claro	Malla hialina con particulas	Semidisperso
Blanco	1	Café claro	Esponjoso en malla hialina	Compacto

(24 Hrs.)

No. Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	0	Crema	Esponjosa	Disperso
2	0	Crema	Esponjosa	Disperso
3	3	Café	Esponjosa-hialina	Semicompacto
4	0	Crema	Esponjosa	Disperso
5	0	Crema	Esponjosa	Disperso
5*	4	Café claro	Esponjosa	Compacto
6	4	Café claro	Esponjosa	Compacto
Blanco	1	Café	Esponjosa	Compacto

(48 Hrs.)

No Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	4	Crema	Esponjosa	Semicompacto
2	2	Crema	Esponjosa	Semicompacto
3	0	Crema	Esponjosa	Disperso
4	1	Café claro	Esponjosa en malla hialina	Compacto
5	2	Café claro	Esponjosa	Compacto
5*	3	Café claro	Esponjosa con particulas	Compacto
6	1	Café claro	Esponjosa	Semidisperso
Blanco	1	Café	Esponjosa	Compacto

Tabla 9: Influencia de las capas filamentosas en la evolución física del floculo (3er.Muestra)

**APARIENCIA FISICA DEL FLOCULO
(7Hrs.)**

No Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	0	Crema	Flóculos débiles	Semicompacto
2	5	Crema	Flóculos débiles	Semidisperso
3	1	Sin floculo	Sin floculo	Disperso
4	2	Café claro	Esponjoso	Compacto
5	3	Café claro	Hialino	Disperso
5*	4	Café claro	Flóculos ligeramente débiles	Compacto
6	2	Café claro	Hialina	Semicompacto
Blanco	1	Café	Esponjoso	Compacto

(24 Hrs.)

No. Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	5	Crema	Esponjoso con capa hialina	Semicompacto
2	4	Crema	Esponjoso-filamentos hialinos	Semidisperso
3	2	Crema	Esponjoso	Disperso
4	2	Café claro	Esponjoso con capa hialina	Compacto
5	3	Crema	Esponjoso-filamentos hialinos	Disperso
5*	4	Crema	Esponjosa-hialino y partículas	Compacto
6	4	Café claro	Esponjoso	Semicompacto
Blanco	1	Café	Esponjoso	Compacto

(48 Hrs.)

No Cepa	Cantidad	Color	Apariencia	Consistencia
1	5	Amarillento	Esponjosa	Semidisperso
2	2	Crema	Esponjosa	Disperso
3	1	Crema	Esponjosa	Disperso
4	3	Café claro	Esponjosa con capa hialina	Compacto
5	3	Amarillento	Esponjosa con capa hialina	Semicompacto
5*	4	Café claro	Esponjosa con capa hialina	Compacto
6	1	Crema	Esponjosa	Disperso
Blanco	1	Café	Esponjosa	Compacto

Tabla 10: Influencia de las cepas filamentosas en la evolución del floculo (1er. Muestra)

APARIENCIA MICROSCOPICA DEL FLOCULO

(7Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Disperso	4	0	2
2	Disperso	3	0	2
3	Disperso	3	1	2
4	Semicompacto	1	0	2
5	Semicompacto	2	0	2
5a	Semicompacto	3	0	3
6	Semicompacto	3	0	4
Blanco	Compacto	2	0	4

(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Semicompacto	3	0	1
2	Semidisperso	3	0	1
3	Arenoso semicompacto	2	0	2
4	Arenoso semicompacto	1	0	2
5	Arenoso semidisperso	2	0	1
5A	Arenoso semicompacto	3	0	1
6	Arenoso semidisperso	3	0	3
Blanco	Arenoso	1	0	1

(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Arenoso Semicompacto	2	1	3
2	Arenoso Semicompacto	3	2	2
3	Arenoso disperso	3	3	2
4	Arenoso Semicompacto	3	2	1
5	Arenoso Semicompacto	2	2	2
5a	Arenoso Semicompacto	2	3	3
6	Arenoso Semicompacto	2	3	2
Blanco	Arenoso compacto	2	3	1

Tabla 11: Influencia de las cepas filamentosas en la evolución del floculo (2da. Muestra)

APARIENCIA MICROSCOPICA DEL FLOCULO

(7Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Disperso	4	0	1
2	Disperso	3	0	1
3	Semicompacto	4	0	1
4	Semidisperso	2	0	2
5	Semicompacto	3	0	3
5a	Semicompacto	3	0	2
6	Semicompacto	3	0	2
Blanco	Arenoso	2	0	2

(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Semicompacto	3	0	1
2	Semidisperso	3	0	1
3	Semicompacto	2	0	2
4	Arenoso compacto	1	0	2
5	Arenoso semidisperso	2	0	1
5A	Arenoso semicompacto	3	0	1
6	Arenoso semidisperso	3	0	3
Blanco	Arenoso	1	0	1

(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Semidispersa	3	1	1
2	Arenosa semidispersa	2	3	1
3	Arenosa compacta	0	2	1
4	Arenosa	0	2	1
5	Semidisperso	2	0	1
5a	Arenoso semidisperso	3	1	1
6	Arenoso semidisperso	3	2	1
Blanco	Arenoso	2	3	1

Tabla 12: Influencia de las cepas filamentosas en la evolución del floculo
(3er. Muestra)

APARIENCIA MICROSCOPICA DEL FLOCULO
(7Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Disperso	4	0	1
2	Semidisperso	4	0	1
3	Compacto	0	0	0
4	Arenoso	0	0	1
5	Semicompacto	4	0	1
5a	Compacto	2	0	2
6	Arenoso compacto	4	0	3
Blanco	Arenoso	0	0	4

(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Arenoso semicompacto	3	1	2
2	Disperso	3	0	1
3	Arenoso semidisperso	3	0	1
4	Arenoso disperso	0	0	2
5	Arenoso semidisperso	1	0	1
5A	Arenoso semidisperso	1	1	1
6	Arenoso semicompacto	2	1	2
Blanco	Arenoso semicompacto	2	1	1

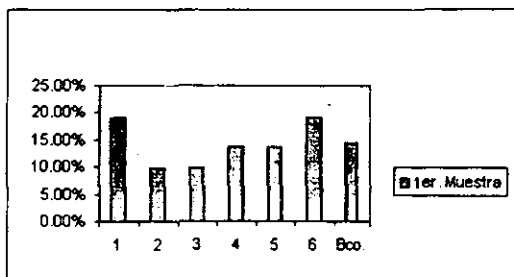
(24 Hrs.)

No. Cepa	Consistencia	Filamentos	Vorticelas	Otros
1	Arenoso semidisperso	4	1	1
2	Arenoso semicompacto	4	2	1
3	Arenoso semidisperso	3	1	1
4	Arenoso compacto	1	3	1
5	Arenoso semicompacto	1	3	1
5a	Arenoso semidisperso	1	1	1
6	Arenoso semicompacto	1	3	1
Blanco	Arenoso semicompacto	1	3	1

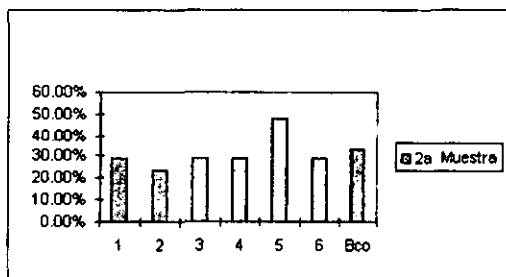
6.4 Efecto de las bacterias filamentosas en la remoción de bacterias coliformes
Gráfico 1

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES CON CADA
CEPA FILAMENTOSA AISLADA DE LOSO ACTIVADO

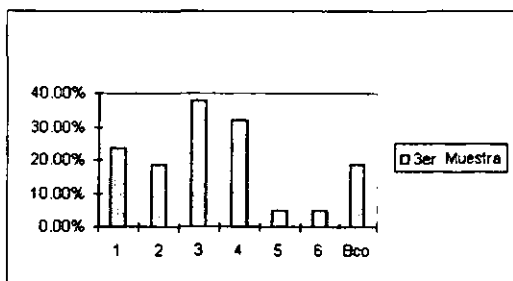
No. Cepa	1er. Muestra
1	19.15%
2	9.72%
3	9.72%
4	13.55%
5	13.55%
6	19.15%
Bco.	14.33%



No. Cepa	2a. Muestra
1	28.79%
2	23.92%
3	28.79%
4	28.79%
5	47.83%
6	28.79%
Bco	33.00%



No. Cepa	3er. Muestra
1	23.36%
2	18.64%
3	37.84%
4	32.05%
5	5.03%
6	5.03%
Bco	18.63%



7. DISCUSIÓN

En las plantas de tratamiento de agua residual más importantes del Distrito Federal (Planta Chapultepec, Cerro de la Estrella), actualmente no combinan los conocimientos Microbiológicos y Técnicos o de Ingeniería, para la solución a los problemas de abultamiento y espuma que frecuentemente se presentan en estas plantas de tratamiento y sobretodo debido a la falta de información y comunicación del personal del laboratorio y el equipo técnico operador de la planta, si ambos conocimientos se conjuntaran resultaría a favor de obtención de agua tratada de mejor calidad. Algunos autores como Casey T. G. (4), Strom P. F. (20), Veen V. W. (22) solo mencionan a las bacterias filamentosas como causantes de abultamiento o formación de espuma, pero otros autores como Richard M. Ph (16), toma en cuenta factores que pueden provocar el abultamiento como: edad del lodo, tóxicos (como metales pesados, etc.), descargas de lodo, falta o abundancia de ciliados activos, exceso de surfactantes, es por esto que en este trabajo se recopiló información actualizada de la influencia que tiene la descarga orgánica del influente, tipos de filamentos y efecto de cada uno de estos en la activación del lodo, y demostrar la importancia de estos microorganismos en una planta de tratamiento, para que sean tomados más en cuenta, ya que estos además de ser indicadores del proceso, también son parte importante en la formación del floculo.

Aislamiento de bacterias filamentosas.

El aislamiento de estas bacterias fue con el fin de dar a conocer las características morfológicas de las bacterias filamentosas comúnmente encontradas en un reactor biológico (planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec). Tabla 5, para que el químico encargado del proceso, pueda en un caso dado reconocer las bacterias filamentosas que en ese momento están presentes en el proceso y con esto revisar cada una de las partes de que consta el proceso y poder tener mejor control de él, ya que se sabe que "cierta cantidad de microorganismos filamentosos pueden ser benéficos para activar el

proceso de lodos. Una carencia de organismos filamentosos puede producir pequeños floculos". (16)

Para el aislamiento preliminar de bacterias filamentosas resultó muy útil usar medio de enriquecimiento de paja de alfalfa descrito por Stokes (23), pero preparado con agua residual, en lugar de usar solamente agar nutritivo.

Los mejores medios de cultivo fueron; Agar soya tripticasa y Agar nutritivo posiblemente en función a que contiene las condiciones nutritivas adecuadas para el buen desarrollo de éstas bacterias (19). Tortora G. J. (21) afirma que la condición nutricional de un medio pobre, limita el crecimiento de colonias indeseables, y permite el crecimiento de los organismos filamentosos, pero se facilitó el aislamiento en medio no selectivo por ser abundante su crecimiento a pesar de favorecer el crecimiento de otras.

Influencia de las bacterias filamentosas en la formación del floculo y en la remoción de bacterias coliformes.

Se aislaron seis bacterias filamentosas diferentes, y se analizó macro y microscópicamente la influencia de cada una de ellas en el agua residual para la formación del floculo activado (Tablas 7 – 12), notándose lo siguiente: Que la presencia de cada una de las bacterias filamentosas le confiere características diferentes al floculo y por consecuencia también diferente remoción bacteriana como se vio en las tres (muestras), dependiendo en gran medida de los nutrientes que hay en el agua residual y en la aireación proporcionada durante el proceso de activación; también se notó que en el "blanco" se dio un proceso de activación, por estar sometido al mismo movimiento que poseían las muestras como cepas filamentosas y "el movimiento mejora la calidad del agua y ayuda en la degradación de nutrientes contaminantes" (21) y por ende también hay remoción bacteriana (gráfico 1) pero en diferente proporción lo muestra su NMP (para estudiar la capacidad del lodo de disminuir la carga bacteriana antérica del agua residual se llevó a cabo en cada corrida una determinación del número de coliformes totales en el proceso empleando la técnica del NMP (1); aunque en esta muestra (blanco) siempre se obtuvo un

flóculo pequeño compacto y oscuro desde las primeras 7 horas de mezclado (en los tres muestreos), con esto podemos ver que los organismos filamentosos sirven como columna vertebral de la estructura del flóculo permitiendo la formación de flóculos grandes y resistentes (22).

Comportamiento de las bacterias filamentosas en carga orgánica elevada.

En relación a la segunda muestra vimos que el NMP inicial del agua residual fue más elevado que el de la primera y tercera muestras (gráfico 1), y sabemos que "grandes cantidades de microorganismos en un cuerpo de agua generalmente indica altos niveles de nutrientes en el agua" (15) y crecimiento de bacterias filamentosas en condiciones de bajo oxígeno disuelto por aplicación de carga orgánica (20), como las bacterias del Tipo 1701, *S. Natans*, *H. hydrosis*. Por lo anterior y los resultados de la apariencia física y microscópica del flóculo con las cepas 1, 2 y 3 (tabla 8, 11), podemos ver que lo más conveniente hubiera sido proporcionar mayor agitación durante el proceso, para lograr mayor aireación y por ende mejor calidad de lodo, evitando la proliferación de estas bacterias que como podemos ver afectan negativamente el proceso de activación del lodo.

También podemos notar que en apariencia las cepas 1 y 3 son la misma por las características morfológicas de estas bacterias, pero las pruebas bioquímicas (tabla 6) nos indican que no corresponden a la misma bacteria, aunque su comportamiento sea muy semejante en el proceso de activación del lodo. De aquí la importancia de la activación del lodo. De aquí la importancia de la identificación de los tipos de filamentos problema y la asociación de éstos con las condiciones específicas de operación y características del influente son los primeros pasos importantes hacia el establecimiento de métodos específicos de control.

Para identificar las bacterias filamentosas también existen los siguientes métodos: Mediante el uso del manual de Eikelboom's, y para identificación más fina, el uso de la microscopía electrónica que demuestra las diferencias reales entre las cepas aisladas. Otro método usado para identificación es mediante el

uso de cebadores genómicos y análisis de la secuencia del DNA 16S ribosomal (19).

8. CONCLUSIONES

1. Se lograron aislar seis bacterias filamentosas diferentes, las cuales se identificaron como bacterias filamentosas por las características morfológicas y bioquímicas.
2. Las características que presentan la evolución del floculo activado en presencia de cada una de estas bacterias filamentosas son diferentes, como en el caso de la bacteria número 5 que favorece la activación del lodo a alta carga orgánica y por otra parte también tener cuidado con la bacteria número 3 que es más sensible a los cambios de carga orgánica y aireación que pueden favorecer o afectar el proceso de activación en un momento dado.

Por lo que se concluye que es importante adicionar algunas bacterias filamentosas para acelerar el proceso de activación de un lodo que se emplee en el tratamiento del agua residual.

3. La calidad del agua tratada se ve influenciada también por la presencia de las bacterias filamentosas notándose en el por ciento de remoción con respecto a la muestra "blanco" que no contenía bacterias filamentosas previamente cultivadas.

9. APÉNDICE

- Medios de cultivo específicos para aislar bacterias filamentosas.

MEDIO DE ROUF Y STOKES (Leptothrix)

(Composición en g/litro de agua de grifo)

Peptonada	5
Citrato de amonio férrico	0.15
MgSO ₄ 7 H ₂ O	0.2
CaCl ₂	0.05
MnSO ₄ H ₂ O	0.05
FeCl ₃ 6H ₂ O	0.01
Agar	12

MEDIO DE WINOGRADSY'S NITRITO (Nocardia y Rhodococci)

NaNO ₂	2 g
Anhidro	1 g
Na ₂ CO ₃	
K ₂ HPO ₄	0.5 g
Agar	15 g
Agua destilada	1 litro

MEDIO DE AGAR GLICEROL (Nocardia y Rhodococci)

Peptonada	5 g
Estracto de carne	3 g
Glicerol	7 %
Agar	15 g
Extracto de tierra	1,000 ml
PH	7

El extracto de tierra es preparado por autoclaveo de 1,000 g de Tierra secada por aire y tamizada en malla No. 9, puesta en 2,400 ml de agua de grifo a 12°C por 60 minutos decantando y filtrando con papel filtro

MEDIO DE STOKES (S. natans)

Glucosa	1.0
Peptonada	1.0
MGso ₄ 7h ₂ o	0.2
CaCl ₂	0.05
FeCl ₃ 6H ₂ O	0.01
Agar	12.5
En agua de grifo	

MEDIO DE GLUCOSA SALES MINERALES (GMB)^a

Soluciones Stock

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (g/ml)
Glucosa	0.1
NH ₄ Cl	0.24
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1
CaCl ₂	0.01
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.002
EDTA	0.003
K ₂ HPO ₄	0.1
KH ₂ HPO ₄	0.1
Cianocobalamina	5 Mg
Agua destilada	

^a Todas las soluciones son esterilizadas por autoclave separadamente excepto FeCl₃·6H₂O y EDTA (juntos), K₂HPO₄ (juntos), vitamina B₁₂ (se esteriliza por filtración).

Medio de enriquecimiento

"Cuando la bacteria envainada aparece en poca cantidad en lodo activado o muestras de agua no contaminada, el uso de cultivos de enriquecimiento puede facilitar el éxito del aislamiento de Shaeritos * (6).

Enriquecimiento de paja de alfalfa

1. Lavar la alfalfa
2. Cortar en trozos de aproximadamente 1 pulgada.
3. Dejar sacar al aire libre.
4. Pesar 2 g de alfalfa seca.
5. Realizar tres extracciones por ebullición (para remover la mayor parte de materia orgánica) *
6. El extracto de alfalfa se distribuye en dos matraces de 125 ml con un volumen de extracto de paja de 80 ml. Cada matraz inocularlo con 10 ml de agua residual.
7. Dejarlo reposar a temperatura ambiente, durante una semana y observar a intervalos.
8. Tomar una muestra y ver al microscopio.

Nota: * La extracción es al 1 % con agua de grifo.

9. CONCLUSIONES

1. Se lograron aislar seis bacterias filamentosas diferentes, las cuales se identificaron como bacterias filamentosas por las características morfológicas y bioquímicas.
2. Las características que presenta la evolución del flóculo activado en presencia de cada una de estas bacterias filamentosas son diferentes, como en el caso de la bacteria número 5 que favorece la activación del lodo a alta carga orgánica y por otra parte también tener cuidado con la bacteria número 3 que es más sensible a los cambios de carga orgánica y aireación que pueden favorecer o afectar el proceso de activación en un momento dado.

Por lo que se concluye que es importante adicionar algunas bacterias filamentosas para acelerar el proceso de activación de un lodo que se emplee en el tratamiento de agua residual.

3. La calidad del agua tratada se ve influenciada también por la presencia de las bacterias filamentosas notándose en el porcentaje de remoción con respecto a la muestra "blanco" que no contenía bacterias filamentosas previamente cultivadas.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. BAKER F.J, BREACHER, M.R. 1990. Manual de Técnicas de Microbiología Médica, S.A. Zaragoza, España.
2. BROCK T.A. 1978 Biología de los Microorganismos. Omega s.A. Barcelona.
3. Babbit H. E. alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras. 619-621
4. CASEY T.G, EKAMA G.A, 1995. FILAMENTOUS ORGANISM BULKING IN NUTRIENT REMOVAL ACTIVATED SLUDGE SYSTEMS. JOURNAL WATER S.A. Vol. 21 No. 3 231-238
5. Ciencia y Desarrollo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. "El Abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México hasta el año 2000 y posibles soluciones". Sep-Oct. 1983. No. 52. año IX.
6. COLLINS C.H. 1989 Métodos Microbiológicos. 5ª. Edición, Zaragoza. Acribia. España.
7. COWAN S.T., STEEL K.J. 1974 MANUAL FOR IDENTIFICACIÓN OF MEDICAL BACTERIA. 2a. Edition. Cambridge University Press. Great Britain.
8. Diario Oficial (1° Seccion). Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA 1-1994. Bienes y Servicios. Determinación de Bacterias Coliformes. Técnica de Número Más Probable. Jueves 19 de Octubre de 1995.
9. Diario Oficial. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-42-1987. Calidad de Agua-Determinación del Número Más Probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecalesd (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva. 22 de junio de 1987.
10. Ecología Humana y Salud. Vol. XV (1,2) 1996.
11. GRANT W.D, LONG P.E. 1989 Microbiología Ambiental. Acribia. S. A. España.
12. LAU, A. STROM P.F, JENKINS D. January 1984. GROWTH KINETICS OF SPHAEROTILUS NATANS AND A FLOC FORMER IN PURE AND DUAL CONTINUOS CULTURE. Journal Water Pollution Control Federation 56: 1-112.
13. Manual de Saneamiento. Agua. Centro Regional de ayuda técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. 1964.

14. II MODULO. AGUAS RESIDUALES, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS. Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad del Valle de México.
15. PHEINHIMER G, 1987. Microbiología de las Aguas. Acribia S.A. España.
16. RICHARD. M, PH.D. 1986 THE BENCH SHEET MONOGRAPH ON ACTIVATED SLUDGE MICROBIOLOGY. Ther Water Pollution Control Federation.
17. Richard Michael, Ph.D of The Sear-Brown Group, Fort Collins, Colorado (970/482-5922).
<http://www.lbcc.cc.or.us/process2/filament/richard/richard.html>
18. SALAMEH M.F, MALINA J. F. Jr. September. 1989. The Water Pollution Control Federation. Vol. 61, No. 9 1510-1522.
19. SIERIN PL, GHIORSE W.C. 1996. Phylogeny of the Sphaerotilus-Leptothrix group inferred from morphological coparisons, genomic fingerprinting, and 16s ribosomal DNA sequence analyses. J. Bacteriology. Vol 46. No. 1 173-182.
20. STROM. P.F, JENKINS. D. 1984 IDENTIFICACION AND SIGNIFICANCE OF FILAMENTOUS MICROORGANISMS IN ACTIVATED SLUDGE. Journal WPCF. Vol. 56 No. 5.
21. TORTORA G.J, FUNKE B.R. 1992. Aquatic Microbiology and Stewage Treatment. The Benjamin Cumminas Publishing California.
22. VEEN V, W.L. 1973 BACTERIOLOGY OF ACTIVATED SLUDGE IN PARTICULAR THE FILAMENTPOUS BACTERIA. J. Microbiol Serol. 39: 189-205.
23. VEEN V MULDER G, DEINEMA M. June 1978. THE SPHAEROTILUS-LEPTOTHRIX GROUP OF BACTERIA. Microbiological Reviews 42: 321-356.