



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

ANALISIS MICROBIOLOGICO EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA
P R E S E N T A :
JOSEFINA MONDRAGON GODINEZ

ASESOR: M. en C. CLARA INES ALVAREZ MANRIQUE



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AFINIA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijates
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Análisis Microbiológico en el

Tratamiento de Aguas Residuales
por Lodos Activados.

que presenta la pasante: Josefina Mondragón Godínez

con número de cuenta: 7956868-9 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.

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

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 26 de enero del 2001

PRESIDENTE

Q.F.I. Andres Becerril Osnaya

Andrés Becerril Osnaya

VOCAL

M. en C. Clara Inés Alvarez Manrique

Clara Inés Alvarez Manrique

SECRETARIO

I. A. Natividad Venegas Herrera

Natividad Venegas Herrera

PRIMER SUPLENTE

Dra. Susana F. Mendoza Elvira

Susana F. Mendoza Elvira

SEGUNDO SUPLENTE

Q.F.B. Leticia Bedillo Solís

Bedillo

A mi **Dios:**

Felicidad verdadera

*Feliz el hombre
Que no sigue el consejo de los
Malvados,
Ni va por el camino de los
Pecadores,
Ni hace causa común con los que
Se burlan de Dios,
Sino que pone su amor en la ley
Del Señor
Y en ella medita noche y día.
Ese hombre es como un árbol
Plantado a la orilla de un río
Que da su fruto a su tiempo
Y jamás se marchitan sus hojas.
¡Todo lo que hace, le sale bien!*

Salmo 1.

!! Gracias Dios por ser el dueño de mi existencia !!

Discurso de la Sabiduría

*Para ustedes los hombres
Van estas palabras mías.
Jóvenes inexpertos y necios,
¡aprendan a ser prudentes y entendidós!*

*Lo que voy a decir es la verdad;
no me gusta hablar mentira.
Todas mis palabras son justas;
no hay en ellas la menor falsedad.*

*Para el inteligente y entendido,
mis palabras son claras e irrefragables.*

*En vez de plata y oro fino,
adquieran instrucción y conocimiento.
Vale más sabiduría que piedras preciosas;
¡ni lo más deseable se le puede comparar!*

*Yo, la sabiduría, habito con la
inteligencia,
y sé hallar los mejores consejos.
Yo odio el orgullo y la altanería,
el mal camino y la mentira.*

*Yo amo a los que me aman,
y los que me buscan, me encuentran.*

*Yo doy riquezas y honra,
grandes honores y prosperidad.*

*Lo que yo doy es mejor que el
oro más refinado;
Lo que yo ofrezco es mejor que
la plata más fina.*

*Yo voy por el camino recto,
por las sendas de la justicia.
A los que me aman les doy su parte:
lleno sus casas de tesoros.*

*Y ahora, hijos míos,
escúchenme;*

*¡sigan mi ejemplo y serán felices.
Atiendan a la instrucción;
no rechacen la sabiduría.*

*Feliz aquel que me escucha,
y que día tras día se mantiene vigilante
a las puertas de mi casa.*

*Porque hallarme a mí es hallar la vida
y ganarse la buena voluntad del Señor,
pero apartarse de mí es poner la
vida en peligro;
¡odiarme es amar a la muerte!*

A mi madre:

Cuya sola presencia me dio la fortaleza necesaria para continuar adelante y sus consejos iluminaron mi camino en las noches más oscuras. Gracias por existir, pero sobre todo, ¡gracias por ser mi madre!

A mi esposo:

Gracias por ser el regalo más divino que Dios me dio. Me enseñaste a ser yo misma y a creer en mí, siempre me tuviste fé y a pesar de las circunstancias, compartiste mis momentos buenos y malos, mis sueños y mis esperanzas. Gracias por tu apoyo y comprensión. ¡Te amo!

A mis hermanos:

Que siempre creyeron que lo lograría, principalmente a mi hermana Griselda y a su esposo Arturo, cuyo apoyo y confianza fue primordial para este logro. Querida hermana, ¡Mujeres buenas hay muchas, pero como tú, ninguna!. ¡Que Dios te colme de bendiciones por toda la ayuda que me has dado!

A mis sobrinos:

Porque su existencia me dio la fuerza necesaria para continuar adelante y ser un ejemplo positivo a seguir. Oye lo que te digo, si quieres llegar, no te detengas a recoger las piedras del camino, tíralas y sígue adelante. No importa cuánto tardes, pero llega.

A mis tíos:

Por no permitirme olvidar mi meta. Principalmente a mi tío Gonzalo, cuya fe en mí no me permitió desfallecer. A mi tío Guillermo por llenar de bendiciones mi camino. A mi tío Félix, por ese orgullo que sentía por mí y que me obligó a no defraudarlo y a mis dos tías Natalia y Guadalupe porque siempre creyeron que lo lograría.

A mis primos:

Principalmente a José Luis, que no quitó el dedo del renglón hasta que no terminé.

A Mercedes:

Por ser la amiga que has sido y quien más ha creído en mí. Por escucharme y por decirme mis errores. ¡Gracias amiga mía!

A mis suegros:

Por compartir mis logros y alegrarse con mis triunfos.

A mi asesora:

Gracias Profesora Clarita por esa confianza infinita que depositó en mí para el logro de este trabajo y porque no sólo fue mi asesora, sino que además, fue un ángel enviado del Señor en los momentos más difíciles ¡Dios la bendiga eternamente!

A mis profesores:

Sin cuyo conocimiento no sería la Profesionista que hoy soy.

A la Universidad:

Gracias por alojarme todo este tiempo en tus aulas llenándome de conocimiento, y salir hoy convertida en una ser de provecho para la sociedad. Siempre estaré orgullosa de ser Universitaria.

INDICE

HIPOTESIS	I
JUSTIFICACIÓN	II
OBJETIVO GENERAL	III
OBJETIVOS PARTICULARES	IV
INTRODUCCION	V
ABREVIATURAS	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE GRAFICAS	X
GENERALIDADES	
1. Tratamiento de Aguas Residuales	1
2. Procesos Biológicos de Tratamiento.	5
3. El proceso Convencional de Lodos Activados.	14
MATERIALES Y METODOS	
1. Descripción y funcionamiento de la Planta	32
2. Diseño Experimental	41
3. Muestreo.	44
4. Métodos Analíticos	47
RESULTADOS	
1 Primera Etapa	54

2 Segunda Etapa	56
3 Tercera Etapa	65
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
CONCLUSIONES	88
ANEXOS	90
GLOSARIO DE TERMINOS	91
REFERENCIAS HEMEROGRÁFICAS	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96

HIPOTESIS

La eficiencia en el control de un Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales de tipo biológico, depende principalmente del conocimiento de la dinámica de población y los requerimientos de nutrientes de los diferentes microorganismos involucrados en dicho proceso.

JUSTIFICACIÓN

Los procesos Biológicos de tratamiento, son procesos basados en el fenómeno natural de autodepuración que llevan a cabo los microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales utilizan como nutrientes, las sustancias contaminantes del agua.

Los dispositivos para el tratamiento solamente localizan y limitan estos procesos a un área restringida y controlada, proporcionando las condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímica.

Son los procesos de tratamiento más usados para la depuración de las aguas residuales. Es por esta razón que para controlar el sistema, se requiere del conocimiento de la dinámica de población de los microorganismos que se suceden a lo largo del proceso, para que una vez determinado, pueda relacionarse con los parámetros fisicoquímicos y lograr de ésta manera, que un proceso biológico sea realmente eficiente, es decir, un proceso biológico no puede ser controlado midiendo únicamente los anteriores parámetros sin antes haber encontrado la relación existente entre éstos y los microorganismos que habitan en los flocúlos de los lodos activados, porque entonces se estaría olvidando la naturaleza biológica del proceso.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la importancia del análisis microbiológico como un recurso de control relacionado con parámetros fisicoquímicos de proceso y de biodegradación de materia orgánica, que permite tomar medidas de operación más reales y mantener un control más eficiente del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales por el Proceso de Lodos Activados.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar los principales parámetros usados en la Planta para el control del proceso de lodos activados por medio de análisis fisicoquímico
2. Determinar por análisis químico, los parámetros de proceso relacionados con el balance de nutrientes, tanto en el agua de entrada como en la de salida del sistema.
3. Establecer las predominancias relativas de los diferentes microorganismos encontrados durante el desarrollo del proceso a través de su conteo.
4. Relacionar las predominancias relativas con las variables fisicoquímicas de control del proceso y de biodegradación de materia orgánica.
5. Determinar la relevancia del control biológico de los Lodos Activados en la eficiencia de remoción y en la calidad del agua tratada.

INTRODUCCION

Entre los principales problemas que actualmente enfrenta nuestro país en materia de contaminación acuática se encuentran, por un lado, el de la degradación de la calidad de los cuerpos receptores de agua de Propiedad Nacional como lagos, lagunas y ríos, al utilizarse para arrastrar toda clase de desechos y de verter en ellos aguas residuales sin ningún tratamiento, viéndose imposibilitada la naturaleza para restaurar dicha calidad por sus propios mecanismos de autopurificación debido a las altas cargas de contaminantes que reciben, originando con esto, la contaminación acuática, la cual va eliminando todo vestigio de vida en muchos ríos y acaso termine con ella en el mar; y por el otro lado, el consumo y desperdicio del agua potable en actividades cuya agua de dicha calidad no es necesaria, haciendo una necesidad cada vez mayor, el tratamiento de éstas aguas denominadas residuales sea. El nivel de tratamiento dependerá de la concentración y tipo de contaminantes a remover y del uso requerido para el agua tratada.

El tratamiento biológico de las aguas residuales es un tratamiento a nivel secundario que remueve la mayor parte de materia orgánica, basado en el proceso en donde una población mixta de microorganismos utiliza como nutrientes sustancias contaminantes del agua. Este es el mecanismo por el cual las corrientes de aguas naturales, como los lagos y ríos, se autopurifican.

La forma más usual de este tipo de tratamiento es el Proceso de Lodos Activados. Dicho proceso es comparable a un gran sistema de cultivo continuo y

abierto con retroalimentación, cuya población característica de microorganismos está integrada principalmente por bacterias y protozoos.

El conocimiento exacto de todos los factores que intervienen en el rendimiento de una Planta de Tratamiento Biológico de Lodos Activados, no es posible aún, debido a la falta de datos microbiológicos suficientes para saber como el complejo ecosistema de flóculos se comporta en condiciones dinámicas.

El trabajo pretende una aproximación a este tipo de análisis al proponer determinaciones microbiológicas para evaluar el comportamiento de algunos microorganismos, que de forma rápida e inmediata, permitan ajustar las condiciones de operación, logrando de esta manera una buena eficiencia de remoción y una mejor calidad del agua tratada.

ABREVIATURAS.

AM	<i>Relación Alimento/Microorganismos</i>
DBO	<i>Demanda Bioquímica de oxígeno.</i>
DQO	<i>Demanda Química de Oxígeno.</i>
IVL	<i>Índice volumétrico de lodos</i>
N-NH ₃	<i>Nitrógeno Amoniacal</i>
N-Org	<i>Nitrógeno Orgánico</i>
N-NO ₃	<i>Nitratos</i>
OD	<i>Oxígeno Disuelto</i>
Q	<i>Caudal o gasto de entrada.</i>
SSVLM	<i>Sólidos Suspendidos Volátiles del Licor Mezclado</i>
SS30'	<i>Sólidos Suspendidos de treinta minutos.</i>
tr	<i>Tiempo de retención</i>
TRL	<i>Tiempo de residencia de los lodos.</i>
VSZ	<i>Velocidad de Sedimentación por Zonas</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesado Biológico de las Aguas residuales	6
Figura 2. Comparación del metabolismo aerobio y anaerobio	8
Figura 3. Curva de crecimiento basada en el número de microorganismos.	12
Figura 4. Curva de crecimiento basada en masa de microorganismos	13
Figura 5. Proceso de biodegradación de la materia orgánica	15
Figura 6. Proceso Convencional de Lodos Activados.	17
Figura 7. Relación entre las fases de crecimiento y el abastecimiento de nutrientes en un sistema aireado.	18
Figura 8. Dinámica de población de microorganismos en Lodos Activados.	21
Figura 9. Número relativo de microorganismos contra calidad de lodo.	23
Figura 10. Correlación entre IVL y VSZ con la relación A/M	26
Figura 11. Diagrama esquemático de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec.	33
Figura 12. Tratamiento de aguas residuales a nivel secundario con desinfección.	34
Figura 13. Reactores Biológicos. a). Unidad I, b) Unidad II	36
Figura 14. Sedimentadores Secundarios. a) Unidad I, b) Unidad II	37
Figura 15. a) Tanque de Contacto de Cloro. b) Tanque de Almacenamiento	39
Figura 16. a) Bombas distribuidoras. b) Bosque de Chapultepec.	40
Figura 17. Puntos de muestreo en Planta Chapultepec	46
Figura 18. Espuma en la superficie de los tanques.	57
Figura 19. Lodos en la prueba de 30 min durante la Segunda Etapa	60
Figura 20. Velocidad de Sedimentación de los lodos. Segunda Etapa	63
Figura 21. Características físicas de los lodos antes y después de las purgas.	68
Figura 22a. Microorganismos observados al microscopio en Lodos Activados.	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Organismos vehiculados por el agua	2
Tabla 2. Tipos De Tratamiento De Aguas Residuales	4
Tabla 3. Sistemas Biológicos de Tratamiento de Aguas Residuales	5
Tabla 4. Organismos aislados en lodos activados.	19
Tabla 5. Depuración biológica de <i>E. Coli</i>	20
Tabla 6. Efecto de los protozoos en la calidad del efluente.	22
Tabla 7. Microorganismos filamentosos.	28
Tabla 8. Protocolo de Muestreo.	45
Tabla 9. Volumen de muestra requerido	47
Tabla 10. Análisis fisicoquímicos. Primera Etapa	55
Tabla 11a. Determinaciones fisicoquímicas. Segunda Etapa.	59
Tabla 11b. Balance de nutrientes y carga orgánica. Segunda Etapa.	59
Tabla 11c. Determinaciones biológicas. Segunda Etapa.	62
Tabla 12a. Análisis fisicoquímicos Tercera Etapa.	66
Tabla 12b. Análisis microbiológico Tercera Etapa.	69
Tabla 13. Sumas de cuadrados y productos cruzados. Segunda Etapa	90
Tabla 14. Sumas de cuadrados y productos cruzados. Tercera Etapa	90

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.. Diagrama de Flujo de la Metodología General	50
Gráfica 2. Diagrama de Flujo de la Primera Etapa	51
Gráfica 3. Diagrama de Flujo de la Segunda Etapa.	52
Gráfica 4. Diagrama de Flujo de la Tercera Etapa.	53
Gráfica 5. Predominancia relativa de protozoarios, rotíferos y bacterias.	74
Gráfica 6. Relación Parámetros de proceso y microorganismos.	75
Gráfica 7. Relación Parámetros de control y microorganismos.	76
Gráfica 8. Predominancia relativa de protozoarios.	82

GENERALIDADES

1. Tratamiento de Aguas Residuales.

El desarrollo de los suministros de agua potable a las poblaciones, el consumo y desperdicio en actividades que no requieren agua de ésta calidad y su uso para arrastrar todo tipo de desechos caseros e industriales, hizo necesario encontrar métodos para disponer de los desechos y del agua portadora, cuyo principal objetivo es prevenir y evitar la contaminación de las corrientes naturales.

1.1. Autodepuración Biológica y Contaminación.

La contaminación es el resultado de descargar aguas residuales sin tratar en una extensión de agua sana, dando lugar a cambios radicales y nocivos en el tipo, número y actividades de los microorganismos del medio ambiente acuático.

Una corriente contaminada en un punto dado, volverá a un estado similar al de antes de la contaminación como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante hasta sales inorgánicas estables que llevan a cabo microorganismos presentes en el agua durante el fenómeno de **autopurificación**.

Al verter sustancias tóxicas con las aguas residuales se matan estos microorganismos y los contaminantes no se descomponen, acumulándose y llegando a alcanzar altas concentraciones que impiden restablecer la población microbiana. El agua queda permanentemente contaminada.

1.2. Composición microbiológica de las Aguas Residuales.

Las aguas residuales contienen incontables microorganismos vivos (Tabla 1). Su presencia es de suma importancia pues son uno de los motivos para el tratamiento, y el éxito de éste, incluyendo la degradación y descomposición de la materia orgánica, depende de sus actividades

Contienen desde 5×10^5 hasta 30×10^6 de bacterias por mililitro, con un promedio de alrededor de 4×10^6 / ml. El grupo de coliformes se encuentra alrededor de 1×10^6 / ml. Cuentan con la presencia de microorganismos patógenos para los animales y las plantas que causan enfermedades cuando los cultivos de frutas y verduras se riegan con aguas superficiales. Pero el peligro de infección es todavía mayor si se utilizan aguas residuales con ese fin.

Tabla 1. Organismos vehiculados por el agua

Bacterias		Virus	Protozoos y metazoos
• <i>Escherichia</i>	• <i>Proteus</i>	• Enterovirus	• <i>Entamoeba</i>
• <i>Salmonella</i>	• <i>Bacillus</i>	• Hepatitis A	• <i>Acanthamoeba</i>
• <i>Shigella</i>	• <i>Staphylococcus</i>	• Adenovirus	• <i>Giardia</i>
• <i>Vibrio</i>	• <i>Aerobacter</i>	• Coxsackie A y B	• <i>Hartmanella</i>
• <i>Leptospira</i>	• <i>Zooglea</i>	• Reovirus	• <i>Giardia</i>
• <i>Mycobacterium</i>	• <i>Sphaeroothilus</i>	• Parvovirus	• Schistosoma
• <i>Francisella</i>	• <i>Thibacillus</i>		• <i>Ascaris</i>
• <i>Pseudomonas</i>	• <i>Leptothrix</i>		• <i>Trichuris</i>
• <i>Myxococcus</i>			• <i>Taenia</i>

FUENTE Microbiología Ambiental W·D· Grant, p 186

1.3. Clasificación de los Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

El Tratamiento de las Aguas Residuales es la serie de operaciones y procesos unitarios a que se sujetan dichas aguas para impartir determinada calidad de acuerdo al uso requerido.

Las aguas residuales se definen como: *conjunto de descargas líquidas hechas en el sistema de drenaje provenientes de las aguas de abastecimiento y de precipitaciones pluviales, que tras haber sido utilizadas, han perdido las características que las hacían potables.*¹

Una clasificación convencional de los procesos de tratamiento (Tabla 2) es. a) Tratamiento Primario remueve sólidos suspendidos de elevado peso molecular y material flotante; b) Tratamiento Secundario de tipo biológico elimina materia orgánica y reduce sólidos en suspensión o disueltos, así como la demanda bioquímica de oxígeno y, c) Tratamiento Terciario, elimina los contaminantes no removidos por los procesos biológicos.

Nuevas alternativas son las teorías de biodesalación y bioabsorción..² así como el reactor anaerobio de flujo ascendente de manto de lodos.³

1.4. Reusos del Agua Tratada.

El reuso ó reutilización del agua, se define como *el empleo del agua utilizada previamente en otros propósitos o para otros fines como el abastecimiento de agua potable. uso industrial, comercial, etc*⁴

¹ Manual de Operación para trabajadores de las Plantas de Tratamiento D G C O H , p 12

² Rico Martínez, VI Congreso Nacional, Saneamiento Ambiental, el gran Reto p 5-9

³ Rodríguez G Sergio, VI Congreso Nacional, Saneamiento Ambiental, el gran Reto. p 73

⁴ Jonguitud Flacón Vicente, Tratamiento de aguas residuales. municipales, industriales y reusos P 2

Tabla 2. Tipos De Tratamiento De Aguas Residuales

TRATAMIENTO PRIMARIO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamizado ▪ Sedimentación ▪ Flotación ▪ Separación de grasas y aceites ▪ Igualación ▪ Neutralización
TRATAMIENTO SECUNDARIO (Procesos Biológicos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proceso de Lodos Activados ▪ Proceso de aireación extendida ▪ Estabilización por contacto ▪ Otras aplicaciones de Lodos Activados: <ul style="list-style-type: none"> airación gradual, airación paso a paso completamente mezclado ▪ Lagunas aireadas ▪ Laguna de estabilización ▪ Filtros biológicos ▪ Tratamiento anaeróbico
TRATAMIENTO Terciario (Tratamiento Avanzado)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microtamizado ▪ Precipitación y coagulación ▪ Adsorción (carbón activado) ▪ Osmosis inversa ▪ Electrodialisis ▪ Procesos de remoción de nutrientes ▪ Cloración y ozonización ▪ Proceso de sozonización

FUENTE. Tratamiento de aguas residuales *R.S Ramalho*, p.9

Cuando se requiera el reuso de agua residual, será necesario emplear una forma de tratamiento. El nivel primario, acondiciona el agua residual para descargarla a una corriente natural o para un posterior tratamiento secundario; el agua tratada a nivel secundario es usada en. riego de parques, jardines y áreas verdes, llenado de lagos recreativos, suministro de agua para sanitarios de escuelas, compactación de suelos en diferentes construcciones, riego de campos agrícolas (Lagunas de Estabilización⁵) y uso industrial entre otros; por último, el agua tratada a nivel terciario se emplea en la recarga de mantos acuíferos y eventualmente agua potable.

⁵ Rico, *op. Cit.*, p 5

2. Procesos Biológicos de Tratamiento.

Procesos bioquímicos basados en su gran mayoría en la autopurificación de una corriente sana. Los dispositivos solo localizan y limitan a un área restringida y controlada este fenómeno, proporcionando condiciones favorables para la aceleración de las reacciones físicas y bioquímicas. Se dividen en aerobios, anaerobios y lagunas de estabilización (Tabla 3).

Tabla 3. Sistemas Biológicos de Tratamiento de Aguas Residuales

1) SISTEMAS AEROBIOS	a) Microorganismos en suspensión	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos Activados <ul style="list-style-type: none"> - Proceso convencional - Completamente mezclado - Aireación por etapas - Estabilización por contacto - Aireación extendida - Zanjias de Oxidación - Aireación con demanda - Oxígeno puro - Carrusel - Kraus • Lagunas Aereadas
	b) Microorganismos adheridos a un medio fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros rociadores <ul style="list-style-type: none"> - Baja tasa - Alta tasa • Biodiscos
	c) Combinación	<ul style="list-style-type: none"> - Medio Granular Fluidizado - Torres de Madera Resistente - Lodos Activados con Medio Fijo
2) SISTEMAS ANAEROBIOS	a) Microorganismos en suspensión:	<ul style="list-style-type: none"> - Contacto anaerobio
	b) Microorganismos adheridos a un Medio Filtro anaerobio	<ul style="list-style-type: none"> - Medio Granular Fluidizado - Lagunas anaerobias
	c) Combinación	<ul style="list-style-type: none"> - Tanques Imhoff - Fosas Sépticas
	d) Sistemas Estratificados	<ul style="list-style-type: none"> - Fosas Sépticas
3) LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	a) Lagunas Facultativas	
	b) Lagunas aerobias	
	c) Lagunas de Maduración	

FUENTE Jonguitud Falcón Tratamiento de aguas residuales, industriales y reusos P 33

Los procesos aerobios requieren de oxígeno disuelto para estabilizar la materia orgánica; los anaerobios ausencia total del mismo y las lagunas de estabilización que usan la energía proveniente de la fotosíntesis. La Figura 1 ilustra el mecanismos de dos de estos procesos.

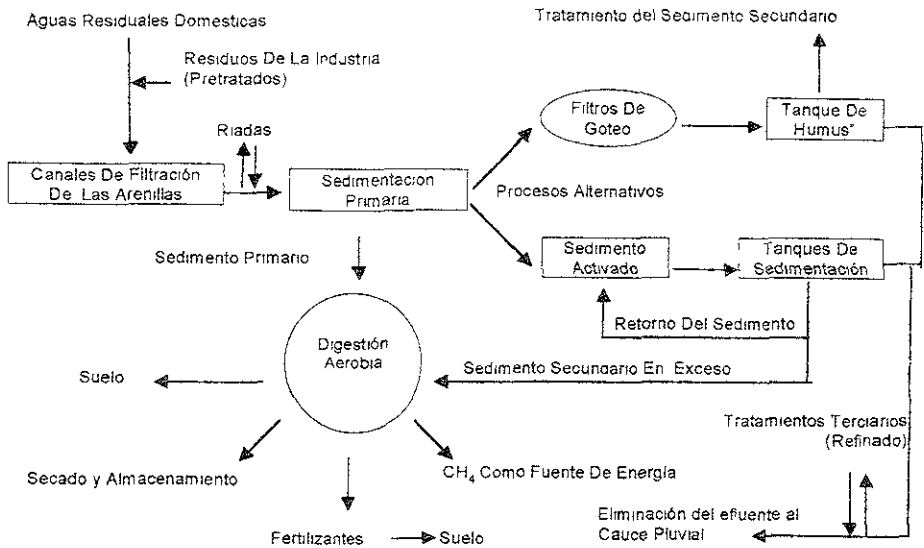


Figura 1. **Procesado Biológico de las Aguas residuales**

FUENTE Microbiología Ambiental W D Grant. Pag 20

Actualmente se propone el método de Aireación a Contracorriente como alternativo al de Lodos Activados.⁶

⁶ Nieto J M , VI Congreso Nacional. Saneamiento ambiental, el Gran Reto, Artículo 9

2.1. Descomposición bacteriana de la materia orgánica en las aguas

La descomposición de materia orgánica en agua y aguas residuales se debe a bacterias saprófitas que la degradan a compuestos simples los cuales pueden ser retornados al medio ambiente sin peligro.

El metabolismo heterótrofo se lleva a cabo en casi todos los procesos de tratamiento aerobio. Se debe a enzimas o fermentos que actúan como catalizadores orgánicos y son específicas en las reacciones que promueven

Los cambios mediante los cuales los constituyentes orgánicos de las aguas negras entran en el proceso metabólico de la vida bacteriana se denomina **biólisis**. La primera fase de la biólisis se caracteriza por la rápida desaparición del oxígeno presente al oxidar parcialmente, urea, amoníaco y otros productos. La segunda fase es la putrefacción; en la cual se descomponen las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los jabones. La tercera fase es la oxidación o nitrificación de los productos resultantes de la putrefacción a formas estables como nitritos o nitratos.

Esta estabilización se efectúa por una combinación de dos procesos metabólicos; oxidación y síntesis. El metabolismo es el proceso bioquímico (series de reacciones de oxidación y reducción) realizado por los organismos vivos para producir la energía utilizada en síntesis, movimiento, respiración y en general, para sobrevivir. Se divide en dos fases: catabolismo y anabolismo. Durante el catabolismo (respiración celular, respiración celular anaerobia y fermentación Fig 2), moléculas nutritivas complejas y relativamente grandes (glúcidos, lípidos y proteínas), se

degradan para producir moléculas más sencillas. El anabolismo es la fase constructiva o biosintética, en la cual tiene lugar la biosíntesis enzimática de componentes moleculares de las células como ácidos nucleicos, proteínas, polisacáridos y lípidos a partir de sus precursores sencillos.

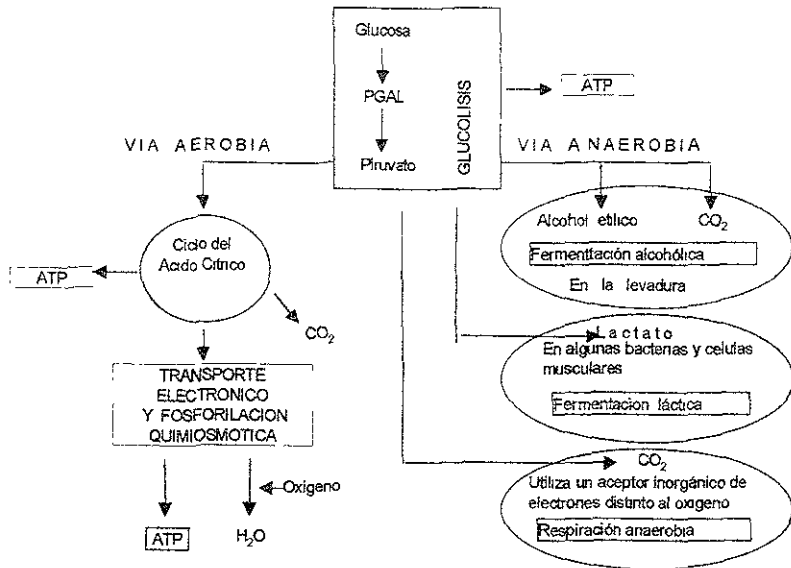


Figura 2. Comparación del metabolismo aerobio y anaerobio

FUENTE Biología *Ville Claude A.* p 156

2.2. Microorganismos de importancia en Tratamientos Biológicos

Las poblaciones de los organismos responsables de la purificación de las aguas residuales son grandes y variadas. En los siguientes párrafos, se describen brevemente los microorganismos más importantes en el tratamiento biológico.

2.2.1. Organismos Procariontes.

Los procariontes no tienen núcleo verdadero y el grupo más importante para el tratamiento de las aguas residuales son las bacterias.

Se encuentran en todo el medio ambiente y se clasifican por su forma de vida en **bacterias parásitas** si viven normalmente a expensas de otro organismo vivo llamado huésped y no se desarrollan fuera del cuerpo de éste, y en **bacterias saprófitas** que se alimentan de materia orgánica muerta y descomponen los sólidos orgánicos para obtener los nutrientes necesarios, son las de mayor importancia en los procesos de tratamiento de aguas negras.

De acuerdo con su fuente de carbono son **autótrofas** si utilizan el dióxido de carbono como única fuente de carbono y **heterótrofas** si el carbono proviene de la materia orgánica. Si obtienen energía a partir de la luz se denominan **fotosintéticas** y si la obtienen de la oxidación y reducción orgánica son **quimosintéticas**.

Son **aerobias** si usan el oxígeno disuelto del agua y si no crecen en presencia del mismo son **anaerobias**. Ciertas aerobias se adaptan a vivir sin oxígeno disuelto (aerobias facultativas). Por el contrario, hay anaerobios que pueden adaptarse y desarrollarse en presencia de oxígeno disuelto (anaerobias facultativas). Las que no utilizan el oxígeno en ninguna circunstancia son anaerobias estrictas.

De acuerdo con su rango de temperatura pueden ser **criófilas** si crecen a temperaturas de -3-30 °C; **mesófilas** si se desarrollan a temperaturas de 20-45 °C

y **termofílicas** si vive dentro del ámbito de 45-70 °C. El pH es también un factor limitante del crecimiento de las bacterias. El valor óptimo se encuentra generalmente en un rango de 6.5-7.5; el valor mínimo y el valor máximo están entre 4.9 y 9.5.

2.2.2. Organismos Eucariontes

Organismos microscópicos unicelulares o multicelulares, con pared celular rígida y núcleo verdadero. Los grupos importantes en el tratamiento de aguas son:

1. Hongos: Organismos protistas multicelulares heterótrofos, no fotosintéticos, usan la materia orgánica como fuente de energía y carbón. Modifican el pH por sí mismos y tienen un bajo requerimiento de nitrógeno, lo que los hace importantes en el tratamiento biológico de las aguas y en el composteo de sólidos orgánicos.

2. Algas: Organismos unicelulares o multicelulares autótrofos que tienen la capacidad de producir oxígeno por medio de la fotosíntesis. En ausencia de luz, utilizan oxígeno disuelto para la respiración.

3. Protozoarios: Microorganismos unicelulares móviles. Heterótrofos aerobios aunque existen algunos anaerobios. Más grandes que las bacterias y por lo tanto consumidores de ellas, por ello, actúan como pulidores de los efluentes en los tratamientos biológicos. Se dividen en cinco grupos:

a) *Sarcodina (amoeba)*. Los más sencillos, de forma irregular, desnudos o dotados de cubiertas, unicelulares o coloniales.

b) *Mastigóforos (flagelados)*. Con pared celular definida, se presentan en forma irregular o como colonias, desnudos o dentro de cubiertas celulósicas. Se dividen en *Fitomastigóforos* los cuales utilizan la materia orgánica en forma soluble,

son pigmentados y similares a las plantas, y los Zoomastigóforos que se alimentan de partículas, son como los animales y sin pigmentación

c) *Esporozoas*. Organismos parásitos caracterizados por la formación de esporas como un estado de su ciclo de vida.

d) *Ciliados*. Protozoos más importantes en los sistemas de tratamiento y autopurificación de corrientes. Tienen apéndices en forma de cabellos y se presentan en forma individual o como colonias. Se dividen en dos grupos: los anclados y los nadadores libres. Los nadadores libres se mueven rápidamente a través del líquido metabolizando la materia orgánica sólida tan rápido como pueden, debido a ello, consumen gran cantidad de energía. Los ciliados anclados están unidos a flóculos por medio de un tallo, capturan su alimento cuando pasa por el sitio donde se encuentran anclados y como su movimiento es limitado, requieren menos energía y por lo tanto, menos alimento.

d) *Suctoría*. Tienen dos fases en su ciclo de vida, como ciliado libre y la segunda, en su estado adulto, como anclado.

2.2.3. Otros Organismos

a) **Rotíferos:** Animales heterótrofos multicelulares. Su presencia en el efluente de procesos de tratamiento indica una eficiente estabilización de la materia orgánica, ya que sólo pueden habitar en ambientes con bajos niveles de energía.

b) **Gusanos y Larvas:** Animales multicelulares comunes en los lodos y limos biológicos, encontrándose nemátodos en los lodos activados y en los filtros rociadores. Tienen requerimientos aerobios definidos y pueden metabolizar materia orgánica no fácilmente degradable por otros microorganismos.

2.3. Cinética del Crecimiento Biológico.

Si una población muy pequeña de microorganismos se inocula en un medio de cultivo bacteriológico, la curva de crecimiento basada en el número de microorganismos está normalmente dividida en siete fases y es la más estudiada por microbiólogos en bacterias y protozoarios. (Fig 3)

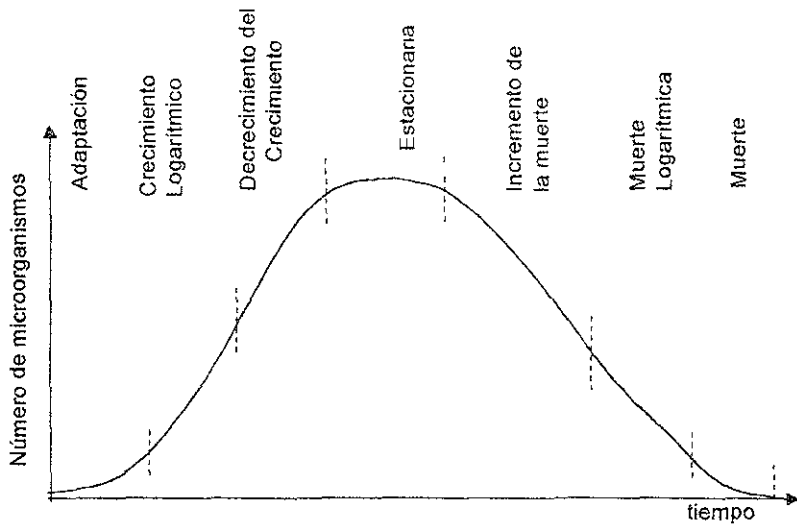


Figura 3. Curva de crecimiento basada en el número de microorganismos.

FUENTE Tratamiento de Aguas Residuales *Jonguitud Falcón V.*, p 23

Para el caso del tratamiento biológico de las aguas residuales, la curva más representativa de la cinética de estos procesos es la curva basada en masa de microorganismos (Fig. 4) cuyas fases son:

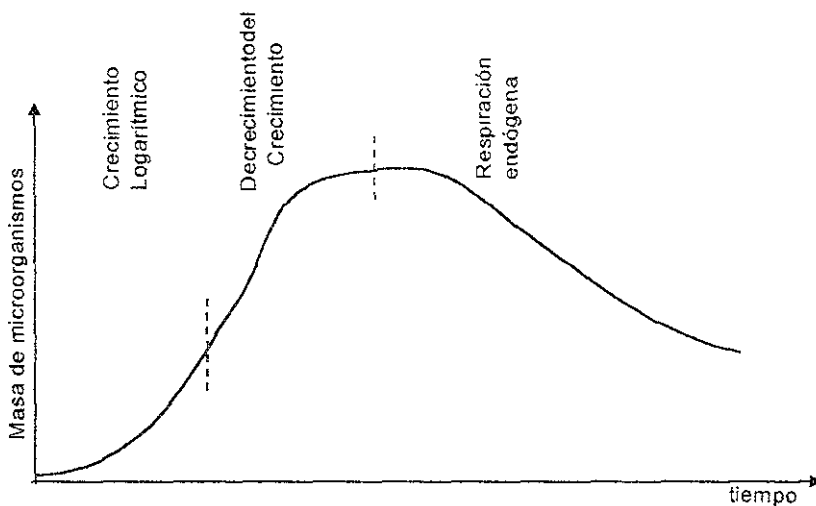


Figura 4. Curva de crecimiento basada en masa de microorganismos

FUENTE Tratamiento de Aguas Residuales *Jongtutud Falcón V.*, p 24

1. Fase de crecimiento logarítmico: Se inicia tan pronto como los organismos entran en contacto con el sustrato. La masa celular se incrementa antes de que tenga lugar la fisión binaria, por lo tanto, cubre la fase de adaptación y la de crecimiento logarítmico de la curva en número de microorganismos. Durante esta fase, siempre hay exceso de nutrientes alrededor de los microorganismos, la velocidad de reproducción es exponencial y las tasas de metabolismo y crecimiento dependen de la capacidad de los microorganismos para procesar el sustrato. Las células permanecen dispersas y el material orgánico es sintetizado en nuevo material celular y biodegradado a CO_2 y agua.

2. Fase de decrecimiento: A medida que se desarrollan los microorganismos, se reduce la concentración de sustrato convirtiéndose en la limitante, originando

disminución en la tasa de crecimiento, cambio en la población bacteriana; las colonias de bacterias empiezan a formar flocúlos biológicos capaces de sedimentar. Es la fase más utilizada en los sistemas de tratamiento.

3. Fase de respiración endógena: En esta fase, la concentración de nutrientes se encuentra en el límite inferior, cesando el crecimiento. La poca cantidad de materia orgánica se encuentra en equilibrio con los microorganismos, pero a medida que requieren más comida, se ven forzados a metabolizar su propio protoplasma, las bacterias se vuelven "caníbales" alimentándose de otras y de la materia celular muerta, ocasionando de nuevo una dispersión grande y disminuyendo la sedimentación de los flocúlos biológicos en el sistema.

3. El proceso Convencional de Lodos Activados.

El Proceso de Lodos Activados es uno de los procesos aerobios con microorganismos en suspensión (Sección 2), usado para tratamiento secundario y completo de las aguas residuales.

3.1 Descripción del Proceso

El principio básico consiste en poner en contacto en un sistema aireado y agitado en forma de suspensión floculenta, las aguas residuales con una población microbiana mixta. La materia en suspensión y coloidal se eliminan rápidamente por adsorción y aglomeración en los flocúlos de lodos activados. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen por metabolismo microbiano en el proceso de

estabilización. Parte del sustrato se oxida a sustancias más simples en el proceso de mineralización y otra se convierte en materia nueva celular microbiana durante la fase de asimilación. Los microorganismos que alcanzan el fin de su ciclo vital se descomponen durante la respiración endógena. El proceso de oxidación suministra la energía necesaria para los procesos de adsorción y asimilación (Fig. 5)

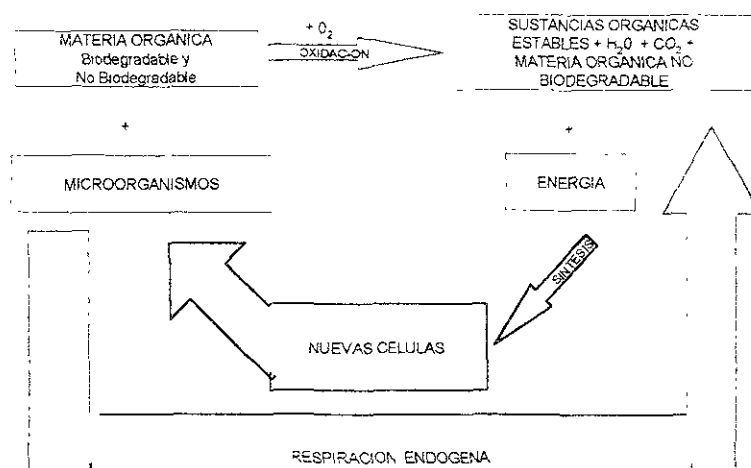


Figura 5. Proceso de biodegradación de la materia orgánica

FUENTE Tratamiento biológico de las aguas de desecho *Winkler Micheal*, p. 87

El Proceso remueve del 90 al 95% de la DBO, opera con lodos en la fase estacionaria (Sección 2.3), y con aproximadamente 10 hrs en el tiempo de retención; 6 hrs para la remoción de la DBO y el adicional para la nitrificación. El balance de nutrientes es de 0.03 a 0.06 de nitrógeno y 0.007 a 0.1 kg de fósforo por kg de DBO, expresado como una relación DBO:N:P de 100:6:1.

Durante este proceso (Fig 6), los desechos líquidos son alimentados continuamente, pasando por una etapa preliminar para separar cualquier tipo de material que pudiese obstruir, dañar las bombas o interferir con las etapas subsecuentes del tratamiento. Posteriormente se distribuyen a un tanque de sedimentación primaria, donde la DBO se reduce de un 25-40% al separar la mayor cantidad de sólidos suspendidos (40-60%) mediante asentamiento. Pasa por gravedad a un tanque aireado o reactor biológico para el mezclado con los lodos activados en donde los microorganismos metabolizan y biológicamente flocculan los compuestos orgánicos por medio de la aireación y agitación, a este contenido se le denomina *licor mezclado*. El nivel de sólidos suspendidos es de 2500 a 4000 mg/l. Una vez alcanzado el grado de tratamiento deseado, la masa microbiana flocculenta ó *lodo activado* se separa por sedimentación durante la etapa de clarificación, asentamiento o sedimentación. El sobrenadante clarificado es el agua tratada y debe estar libre de lodos. El líquido saliente debe ser claro, brillante, incoloro, rico en oxígeno disuelto, pobre en DBO, e inodoro o con olor no desagradable, con un contenido de 10 a 20 mg/l de sólidos suspendidos y entre 8 y 18 mg/l de DBO.

Como la generación de los lodos o flocúlos es lenta y la cantidad formada es insuficiente para un tratamiento rápido y eficaz, la mayor parte del lodo asentado se regresa a la etapa de aireación para mantener la concentración de los lodos en el tanque, alcanzar un tratamiento efectivo y para que actúe como inóculo microbiano. Estos lodos se conocen como *lodos recirculados*. Parte de ellos son desalojados del sistema por medio de purgas, llamándoseles *lodos desechados*.

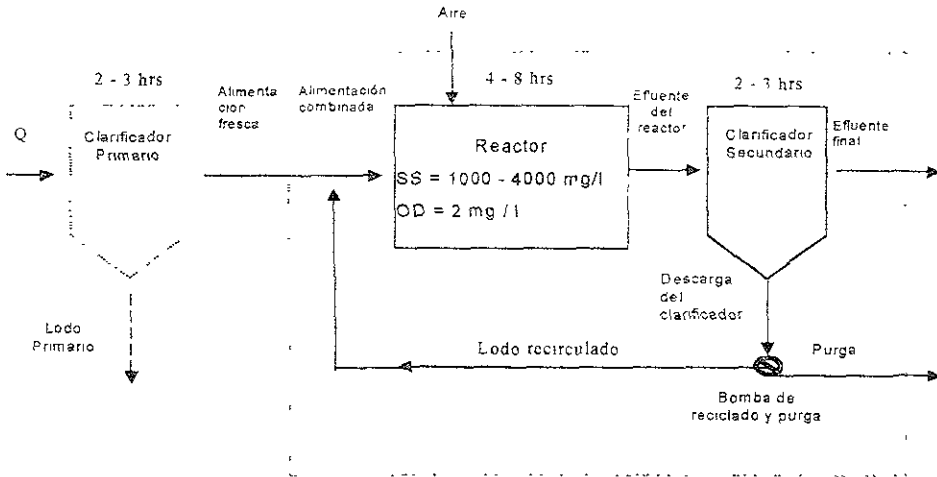


Figura 6. Proceso Convencional de Lodos Activados.

FUENTE Tratamiento de aguas residuales *R.S. Ramalho*, p 254

El proceso reduce o elimina la toxicidad de una gran variedad de contaminantes en los flocúlos por la capacidad de biosorción de cepas específicas para metales.⁷ Se opera de modo que el flujo sea continuo de acuerdo con un nivel de carga especificado en la planta expresado en parámetros claves como.

- a). Contenido o concentración de nutrientes orgánicos (DBO_5)
- b). Concentración de lodos. (SSVLM)
- c). Tiempo de residencia de los lodos (T:R L.)
- d). Tiempo de retención (t r.)

e). Nivel de carga de la planta. (Relación A/M). En la Figura 7 se grafica ésta relación de modo que correspondan a los límites aproximados entre la fase de

⁷ Silverstein Joann, *Activated sludge Research Journal W.P:C:F: 62(4)*, pp 398-399

crecimiento logarítmico, la fase de decrecimiento del crecimiento y la fase de respiración endógena.

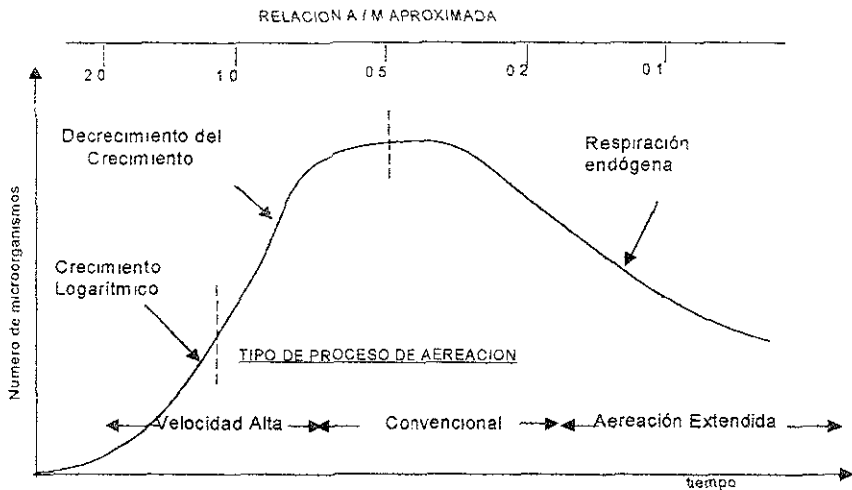


Figura 7. Relación entre las fases de crecimiento y el abastecimiento de nutrientes en un sistema aireado.

FUENTE: Manual del agua *Kemmer Frank N.*, p 23-5

3.2. Microorganismos en Lodos Activados

El sistema de depuración por Lodos Activados es un ecosistema artificial en donde los organismos vivos (biocenosis), representados por microorganismos, constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí (Tabla 4) y con el medio físico que les rodea en la planta depuradora (biotopo).

La bacteria es el microorganismo de mayor importancia, son gram-negativo e incluyen miembros de diversos géneros. Las bacterias intestinales disminuyen mucho y apenas participan en los procesos de degradación La Tabla 5, indica la

gran disminución que sufre la especie *Escherichia coli* como consecuencia de la depuración biológica.⁸ La concentración cística de *Giardia lamblia*, disminuye casi totalmente en el efluente secundario.⁹

Tabla 4. Organismos aislados en lodos activados.

BACTERIAS	-	<i>Pseudomonas</i>	-	<i>Beggiatoa</i>	-	<i>Mycobacterium</i>
	-	<i>Nitrosomas</i>	-	<i>Azotobacter</i>	-	<i>Bdellovibrio</i>
	-	<i>Nitrobacter</i>	-	<i>Achromobacter</i>	-	<i>Escherichia</i>
	-	<i>Zooglea</i>	-	<i>Chromobacterium</i>	-	<i>Leucothrix</i>
	-	<i>Sphaerotilus</i>	-	<i>Flavobacterium</i>	-	<i>Nocardia</i>
	-	<i>Thiothrix</i>	-	<i>Arthrobacter</i>	-	<i>Bacillus</i>
PROTOZOOS	-	11 géneros fitoflagelados		-	4 géneros de actinópodos	
	-	7 géneros de zooflagelados		-	59 géneros de ciliados	
	-	13 géneros de amebas		-	(35% de las especies Peritrichida)	
HONGOS	-	<i>Arthrotrichum</i>	-	<i>Penicillium</i>		
	-	<i>Zoophagus</i>	-	<i>Cladosporium</i>		
	-	<i>Cephalosporium</i>	-	<i>Alternaria</i>		
	-	<i>Geotrichum</i>	-	<i>Candida</i>		
	-	<i>Pullularia</i>	-	<i>Trichosporium</i>		
ROTIFEROS	-	5 géneros, principalmente Bdelloidea				

FUENTE Microbiología de las aguas Rheinheimer Gerhard, p 250

La correlación entre la densidad de coliformes totales y fecales, la concentración de *Giardia*, con el conteo de Partículas y turbiedad, puede indicar la eficiencia del tratamiento.¹⁰

⁸ García Lara Jorge, *Effect of previous conditions on the starvation-survival of E. coli* Pp 1425 - 1431

⁹ Casson L. W (1990), *Giardia in wastewater-effect of treatment*, 670-675

¹⁰ Le Chevallier Mark W, *Examining relationships between particle counts and Giardia, cryptosporidium, and turbidity*, pp 54-60

Tabla 5. Depuración biológica de *E. Coli*

	<i>E. Coli</i> , NMP ml ⁻¹	<i>E. coli</i> %
Aguas residuales sin tratar	30 000	100
Aguas residuales depuradas mecánicamente	27 000	90
Aguas residuales depuradas biológicamente	1 000	5

FUENTE Microbiología de las aguas *Rheinheimer Gerhard*, p 250

3.2.1. Dinámica de Población.

Los sistemas empleados para el tratamiento biológico son *Ecosistemas* altamente especializados y las comunidades que los habitan también. El funcionamiento del ecosistema tiene lugar a través de la dinámica de las comunidades microbianas que lo integran y se refleja en la evolución de dichas comunidades *en el espacio*: (los microorganismos se organizan formando una cadena alimenticia), y *en el tiempo* (la sucesión se mantiene en una etapa en la que el rendimiento de depuración sea máximo y exista un equilibrio entre el lodo producido, purgado y recirculado).

La dinámica de población en lodos activados (*Figura 8*), se puede resumir así: al empezar el funcionamiento del sistema, la concentración de alimento es alta y las poblaciones de cualquier tipo de microorganismos es pequeña, por lo que tanto bacterias como amebas y flagelados del tipo *Phytomastigina* logran crecer juntos. El pequeño tamaño de las bacterias y sus bajos requerimientos metabólicos, les permite obtener una mayor parte de la materia orgánica conforme aumentan en número. Los protozoarios de la clase *Rhizopoda* y *Phytomastigina*, deben competir con ellas por el sustrato soluble y nunca salen victoriosos. Los Zooflagelados son más exitosos que los Fitoflagelados pues utilizan a las bacterias como alimento pero

deben esperar su incremento para tener el alimento necesario. Así, el número de protozoarios siempre se retrasará al de bacterias en relación con sus fases de crecimiento. Pero los Zooflagelados no son tan eficientes en atrapar las bacterias y tienen que cederles el terreno a los ciliados libres. Cuando la población de bacterias se reduce, la demanda de energía de éstos es tan alta que deben dar paso a los ciliados anclados. La menor demanda de energía permite que sobrevivan aún cuando las poblaciones de bacterias sean muy pequeñas. Eventualmente el sistema llega a ser tan estable que no pueden obtener energía suficiente para sobrevivir. Los rotíferos y otros animales mayores son los últimos microorganismos que sobreviven

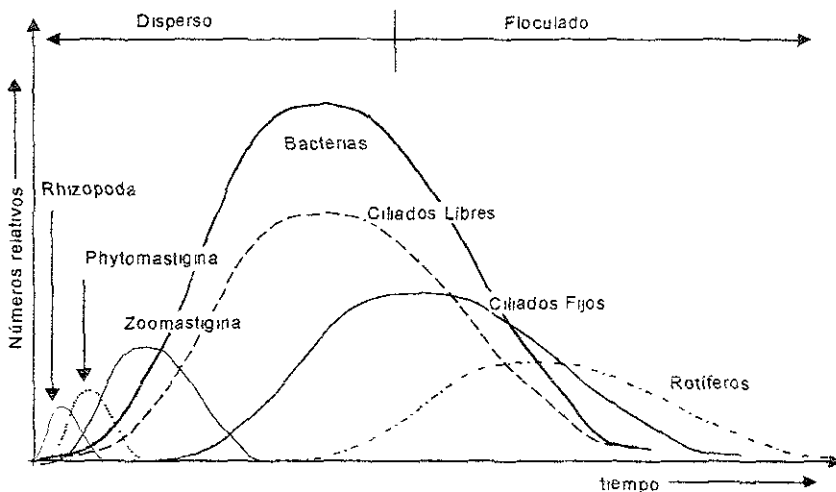


Figura 8. Dinámica de población de microorganismos en Lodos Activados.

FUENTE Tratamiento de aguas residuales *Jonguitud Falcón* V., p. 24

3.2.2. Importancia de los protistas y sucesión en lodos activados.

El predominio de los protozoarios sigue un modelo más fielmente en Lodos Activados que cualquier otro tipo de microorganismos. Son indicadores valiosos del ciclo biológico y llegan a alcanzar cifras hasta de 50,000 ind/ml en los reactores constituyendo aproximadamente el 5% del peso seco de los SSVLM. Su principal papel es reducir la turbidez, el nivel de DBO del efluente, y la población bacteriana.

Incluyen grupos representativos como Rhizopodea, Actinopodea, Ciliata, Phytomastigophora y Zoomastigophora con 33 especies diferentes.¹¹ Cada uno de estos grupos desempeña una función concreta en el sistema. Lodos activados que carecen de protozoos obtienen efluentes de menor calidad¹². (Tabla 6)

Tabla 6. Efecto de los protozoos en la calidad del efluente.

ANÁLISIS DEL EFLUENTE	Sin ciliados	Con ciliados
BOD (mg/l)	53 – 70	7 – 24
COD (mg/l)	198 – 250	124 – 142
Valor permanganato (mg/l)	83 – 106	52 – 70
Nitrógeno orgánico (mg/l)	14 – 21	7 – 10
Sólidos suspendidos (mg/l)	86 – 118	26 – 34
Densidad óptica a 620 nm	0.95 – 1.42	0.23 – 0.34
Recuento de gérmenes viables (millones/ ml)	106 - 160	1 - 9

FUENTE: Microbiología de las aguas *Rheinheimer Gerhard*, p 207

¹¹ Madoni Paolo, *Comparative analysis of the activated sludge microflora in several sewage treatment works*. 27(9), pp 1485-1491

¹² Varma Man M (1975), *Population dynamics of protozoa in wastewater* J W P C F, 47(1), 85-92

Una guía general de la predominancia relativa de protozoarios y la eficiencia en un sistema de lodos activados (fig. 9) puede establecerse como sigue

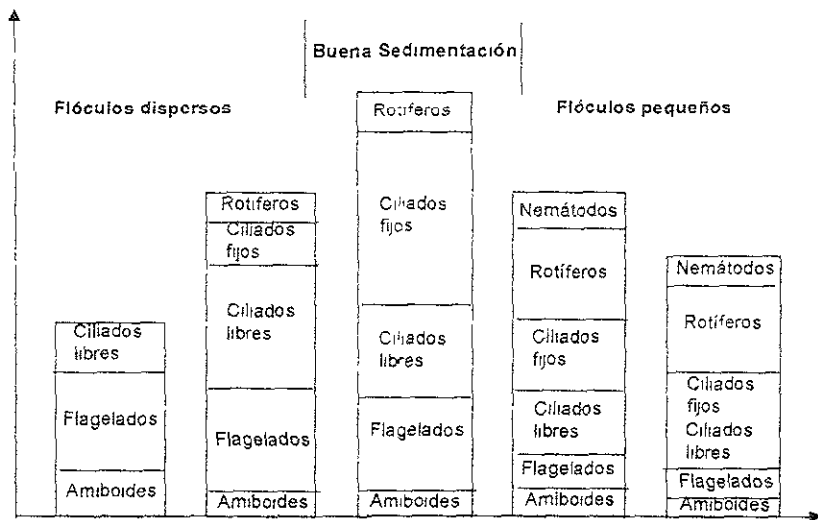


Figura 9. Número relativo de microorganismos contra calidad de lodo.

FUENTE Manual de Operación y Control de calidad DGCQH, p 168

1.- **Rhizopoda.** Predominan muy rara vez y sólo en sistemas que están empezando su operación normal ó aquellos que se encuentran en recuperación.

2.- **Flagelados.** Su presencia excesiva indica baja oxigenación o exceso de carga orgánica. Los flagelados del tipo *Phytomastigina* predominan a bajas eficiencias y los del tipo *Zoomastigina* indican un sistema más eficiente

3.- **Amebas.** Las amebas desnudas están relacionadas con altas cargas orgánicas y las testáceas con buena nitrificación y carga orgánica baja

4.- **Ciliados** Se pueden clasificar en dos grandes categorías en función a su relación con el flóculo

a). *Ciliados no asociados al flóculo* Son los ciliados nadadores que se encuentran libres entre los flóculos. Pueden indicar alta o baja eficiencia, la clave está en los otros tipos de protozoarios presentes.

b). *Ciliados asociados al flóculo*. La presencia de ciliados fijos indica un lodo activado cuyo efluente tiene bajos valores de DBO y reflejan la eficiencia con considerable precisión.

5 **Metazoos** Su presencia en los lodos es menor que la de los protozoos:

a). *Nemátodos*. La mayoría son predadores de bacterias dispersas y protozoos, pero también pueden aparecer algunas formas saprozoicas capaces de alimentarse de la materia orgánica disuelta e incluso de la materia del flóculo.

b). *Rotíferos*. Los rotíferos eliminan bacterias dispersas y protozoos. Algunas especies contribuyen a la formación del flóculo por secreción de mucus.

3.3. Flóculos en Lodos Activados

La unidad ecológica del lodo activado es el flóculo y son su estructura y condición biológica las que determinan la eficiencia general de dicho proceso. Es un sistema ecológico formado por diferentes tipos de microorganismos junto con materiales inertes, orgánicos e inorgánicos. Se forma espontáneamente como resultado de la combinación de la actividad biológica y fuerzas físicas cuando el agua residual es aireada. Durante su desarrollo es colonizado por depredadores de bacterias como protozoarios ciliados, rotíferos y nemátodos.

El lodo bien activado tiene un olor peculiar a tierra y 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 claro, incoloro, inodoro, y brillante. Al microscopio no se observa forma regular específica, sin embargo, sus bordes tienen un contorno aproximadamente circular o elíptico. Su tamaño es función recíproca de la turbulencia debida a la aireación.¹³ La distribución de su tamaño está representada por flóculos de $5 \mu\text{m}$ ¹⁴, y su promedio de 10-70 μm , la densidad de 1.015-1.034 g/ml, el área superficial específica entre 100-200 m^2/g y el contenido de carbohidratos entre 6-8 %¹⁵

Para ser eficiente, el flóculo debe satisfacer dos condiciones distintas. 1). ser capaz de remover el desecho del agua y, 2). ser fácilmente separado del agua tratada por sedimentación. Las características de sedimentación se evalúan utilizando dos parámetros:

a) *Velocidad de sedimentación por zonas (VSZ)*. Un lodo fácilmente sedimentable presenta una VSZ de aproximadamente 6 m/h

b) *Índice volumétrico de lodo (IVL)*. Los valores para lodos con concentraciones de 800–3500 mg/l de SSVLM y buenas características de sedimentación están comprendidos entre 35–150.

¹³ Galil Noah, *The influence of mixing on the physical characteristics of biological flocs*. 63(5), pp 768-772

¹⁴ Li Dahong, (1991), *Size distribution of activated sludge flocs*, 63(5), 806-814

¹⁵ Abdreadakis A. D., *Physical and Chemical properties of activated sludge floc* 27(12), pp 1707-1714

Relacionado las características de decantación del lodo (VSZ e IVL) con la relación A/M, (figura 10), se puede observar que un lodo con condiciones óptimas de sedimentación, debe presentar una VSZ elevada y un IVL bajo y la mejor relación A/M. Esto corresponde al máximo de la curva VSZ y al mínimo de la curva IVL. El valor óptimo de la A/M se encuentra entre los valores: $0.6 > A/M > 0.3$.

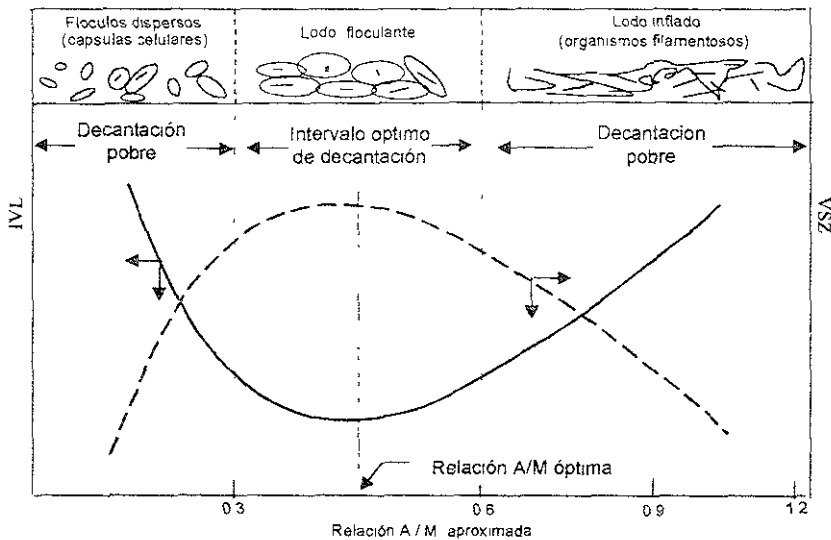


Figura 10. Correlación entre IVL y VSZ con la relación A/M

FUENTE Tratamiento de aguas residuales R. S. Ramalho, p 295

1. Para relaciones de A/M bajas el lodo tiene características muy pobres para su decantación, en estas condiciones corresponde a floculos dispersos.
2. A relaciones elevadas de A/M hay predominio de microorganismos filamentosos. Las colonias no decantan bien permaneciendo en suspensión. Este tipo de lodo se denomina *lodo abultado*

3. A valores de A/M comprendidos entre estos dos extremos, el lodo tiene buenas características de sedimentación.

3.4. Problemas de los lodos

Los problemas que ocurren en los lodos son los que afectan su separación de las aguas residuales tratadas, siendo los principales:

1. Abultamiento de Lodos.

Fenómeno por el cual los sólidos no se separan del líquido al no sedimentar, ocupando demasiado volumen después del tiempo normal de sedimentación. Un lodo abultado tiene un valor alto de IVL. Está asociado con bacterias filamentosas y a un gran número de protozoarios ciliados con tallo.

a) *Microorganismos filamentosos:*

Las bacterias se envainan como protección contra los predadores, para almacenar suministros alimenticios y para favorecer la transferencia de oxígeno. Los microorganismos filamentosos se identifican por sus características morfológicas.¹⁶ Los tipos más identificados son una treintena en todo el mundo. Unos se denominan por medio del género, en otros se incluye especie y en muchos se usa una denominación alfanumérica.¹⁷ (Tabla 7). Muchos no se han identificado y no están en el Manual Bergey o en otras fuentes porque crecen lentamente en los lodos y en el laboratorio muy pobremente o no, sobre los medios de evaluación. Para aislarlos e

¹⁶ W L Van Veen, *Bacteriology of activated sludge, in particular the filamentous bacteria*, pp. 189-205

¹⁷ [http://www Geocities.com](http://www.Geocities.com), p.4

identificarlos, se requieren de varias semanas o meses. El método más recomendado es el de Eikelboom, el cual diferencia estos microorganismos por su tipo, características morfológicas y fotografías. En este método la tinción de Gram no es confiable y se sugiere como tinción confirmatoria la Tinción de Neisser.¹⁸

Tabla 7. Microorganismos filamentosos.

Cianobacterias	<i>Bacillus</i>	Tipo 0675
<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	<i>Beggiatoa</i>	Tipo 0803
<i>Microthrix parvicella</i>	<i>Flexibacter</i>	Tipo 0914
<i>Nostocoida limicola I, II y III</i>	Tipo 0041	Tipo 0961
<i>Streptococcus</i>	Tipo 0092	Tipo 1702
Hongos filamentosos	Tipo 021N	Tipo 1852
<i>Nocardia amarae</i>	Tipo 0211	Tipo 1701
<i>Sphaerotilis natans</i>	Tipo 0411	Tipo 1851
<i>Thiothrix I y II</i>	Tipo 0581	Tipo 1863

FUENTE. www.geocities.com/RainForest/Canopy/1285/filament.html. p. 4

b) Causas del abultamiento:

Son numerosas y están relacionadas a varias condiciones, incluyendo: concentración de OD por debajo de 1 g/m; relación A/M muy bajas; cargas orgánica menores de 0.2 kg DBO/kg sólidos de lodos por día; edad del lodo; IVL: arriba de 400 m!//; desbalance de nutrientes; temperaturas por encima de 30 °C; régimen de flujo; problemas microbiológicos; desfloculación; lodo séptico; lodo flotante o dispersión de floculos; y malas condiciones de operación entre otras. Microorganismos filamentosos de los tipos 1701, 021N, 1863 y *S. natans*, indican un abultamiento debido a bajas concentraciones de OD; los Tipos 0041, 0092, 0581 y *M. parvicella* un abultamiento por baja carga orgánica.

¹⁸ Sttom P. F, *Identification and significance of filamentous microorganism in activated sludge*. P.449-450

c) Característica del abultamiento.

Las características del abultamiento de los lodos son.

- sedimentación del lodo con sobrenadante claro, y un IVL mayor a 150 ml/g.
- baja concentración de los lodos de recirculación y,
- un manto de lodos muy grande en el clarificador secundario.

El abultamiento puede ser eliminado reduciendo la relación A/M y clorando los lodos de recirculación, incrementar la edad de los lodos, añadir nitrógeno y fósforo, incrementar la tasa de recirculación y aumentar la cantidad de aire; uso de peróxido de hidrógeno en la recirculación o el uso de una cámara selectora antes del reactor biológico que permita disminuir la edad del lodo ¹⁹ Una vez que se presenta el abultamiento severo, es muy difícil de eliminar. ²⁰

2. Desfloculación

Es la ruptura de los flóculos en pequeñas partículas que no sedimentan correctamente provocando un efluente turbio. Se debe a desechos tóxicos ó ácidos, condiciones anaerobias, sobrecarga orgánica, suministro inadecuado de nitrógeno o fósforo, o bien, turbulencia hidráulica y bajos niveles de oxígeno. Resulta en una fuerte pérdida de microorganismos en el efluente tratado, de manera que el sistema se acerca a una condición de "lavado"²¹. Esto puede conducir a la pérdida completa de los lodos del sistema.

¹⁹ Salameh M F , *The effects of sludge selector configuration on the control of filamentous bulking in the activated sludge process*, 61(9), pp. 1510-1522

²⁰ [www.geocities.com/Rain Forest/Canopy/1285/filamen: html](http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/1285/filamen.html) p.2

²¹ Pipes Wesley O , *Actinomycete scum production in activated sludge processes*, pp 628-634

3. Floculos punta de alfiler

Cuando la edad de los floculos es mayor de 6 días, se producen floculos pequeños llamados floculos "punta de alfiler" que no sedimentan fácilmente. Este tipo de lodos se han observado en sistemas con carga orgánica baja.

4. Lodo ascendente

Si el nivel de OD en el afluente del clarificador secundario no es suficiente se produce la desnitrificación. Durante ella, los organismos aeróbicos liberan oxígeno a partir de los nitratos para permanecer vivos provocando una mala sedimentación de los lodos. El oxígeno asociado con los nitratos se consume y el nitrógeno gaseoso remanente se eleva hacia la superficie del tanque arrastrando consigo a los sólidos.

5. Formación de espuma espesa

A veces se produce una espuma dura y espesa con un alto contenido de materia orgánica semejante a la crema batida de chocolate en la textura y color. Permanece en la superficie del tanque y pasa a través de la etapa de separación para ser descargada junto con el efluente tratado. Está asociada a factores ambientales y de operación,²² y con la presencia de ciertos actinomicetos, principalmente los del género *Nocardia* (*Nocardia amarae*²³ y *Nocardia pinensis*.²⁴), *Rhodococcus* y *Microthrix*. Se puede controlar disminuyendo el MCRT y los SSLM en la recirculación.

²² Fahmy T George, *Characterization of Activated Sludge Foams from two plants*. 116(5), pp 991-997

²³ Dhaliwal Bhupinder S. *Nocardia Amarae and activated sludge foaming*, 51(2), pp 344-350

²⁴ Blackall Linda L, *Continuous culture studies with Nocardia amarae from activated sludge and their implications for Nocardia foaming control*, 63(1), pp. 44-49

3.5. Factores que afectan el Proceso

Las variables que permiten un ambiente adecuado a los microorganismos, mejor eficiencia del proceso y que requieren un control cercano, son:

1). **Nutrientes.**, además de materia carbonácea, nutrientes como nitrógeno en forma de N y fósforo como P en proporción de 5 partes de N por 1 parte de P por cada 100 partes de DBO. en el agua residual

2). **Oxígeno.** Mantener la concentración de OD por encima de 2 mg/l El peróxido de hidrógeno puede ser una fuente suplementaria de oxígeno ²⁵

3). **Temperatura.** La temperatura puede afectar el coeficiente de producción de biomasa, la tasa de decaimiento, los grupos de organismos dominantes y la disponibilidad de nutrientes, alterando la respuesta cinética.

4). **Eliminación de desechos tóxicos o no biodegradables.** Las acumulaciones de compuestos tóxicos provocan disminución en la eficiencia La remoción de contaminantes químicos por adsorción es mayor a tiempos de retención bajos.²⁶ La presencia de detergentes provoca intoxicación en el sistema biológico ²⁷

²⁵ Chin Carl, *Bio-oxygen stabilization using hydrogen peroxide.*, 45(2), pp 283-291

²⁶ Jacobsen Bo N, et al (1993) *Removal of organic micropollutants in laboratory activated sludge reactor under various operating conditions: sorption*, 27(10), pp 1505 - 1510

²⁷ Espinoza V R., *Efecto de los detergentes en la población bacteriana de un sistema de Lodos Activados*, artículo 3

MATERIALES Y METODOS

1. Descripción y funcionamiento de la Planta

El estudio se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec de la Ciudad de México, perteneciente a la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G C O.H.) del Departamento del Distrito Federal. Se encuentra ubicada en Camino Bosque de Chapultepec s/n Col. Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo.

Primer Planta construida en el Distrito Federal. Está diseñada para tratar 160 litros por segundo en dos Unidades, aunque normalmente opera a 60 l/s en cada una. El agua de ingreso a la Planta proviene de una derivación del drenaje principal que recoge las aguas negras de las colonias, Bosgos, Tres Casitas, Lomas de Chapultepec, etc. Consta de un desarenador, dos Unidades (una circular y la otra rectangular) y un Tanque de Almacenamiento (*Figura 11*).

El Proceso es de tipo Biológico a Nivel Secundario, siendo el Convencional de Lodos Activados (Sección 3) (*Fig. 12*), con las etapas de

- a) Pretratamiento
- b) Tratamiento Primario
- c) Tratamiento Secundario
- d) Desinfección

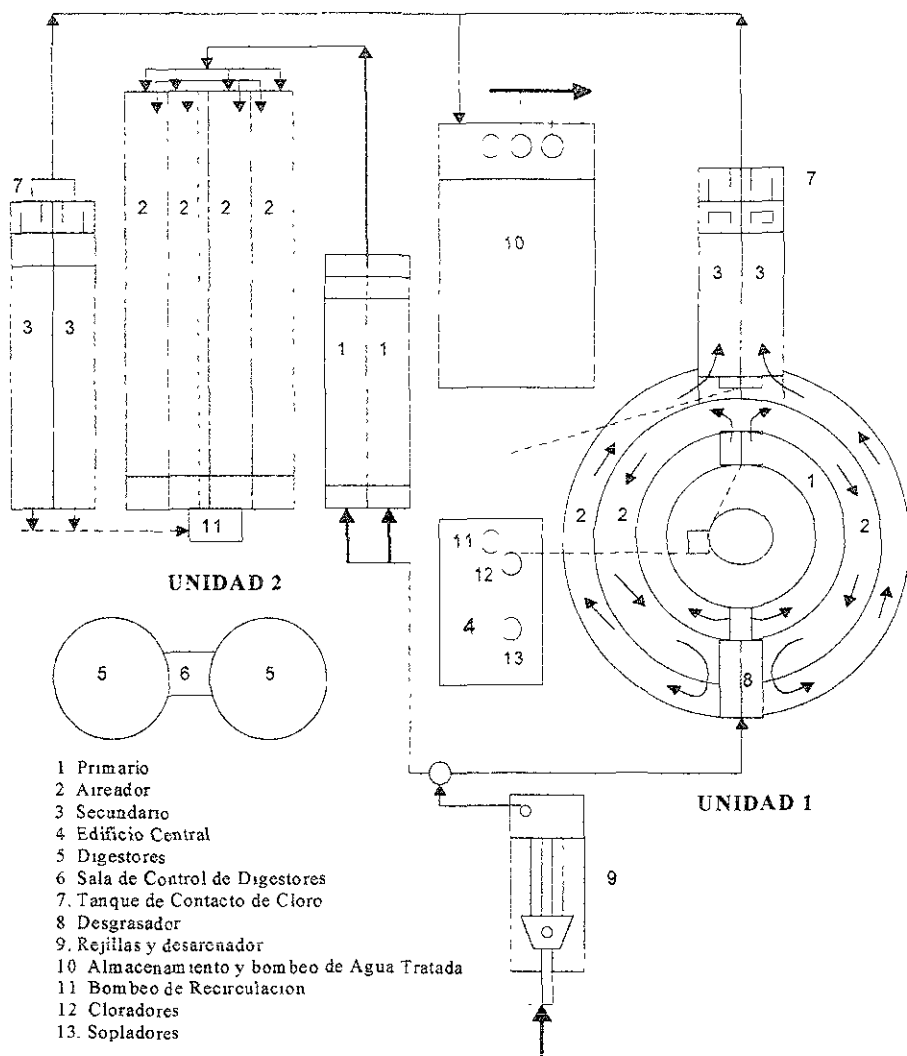


Figura 11. Diagrama esquemático de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec.

FUENTE DGCOH, p 51

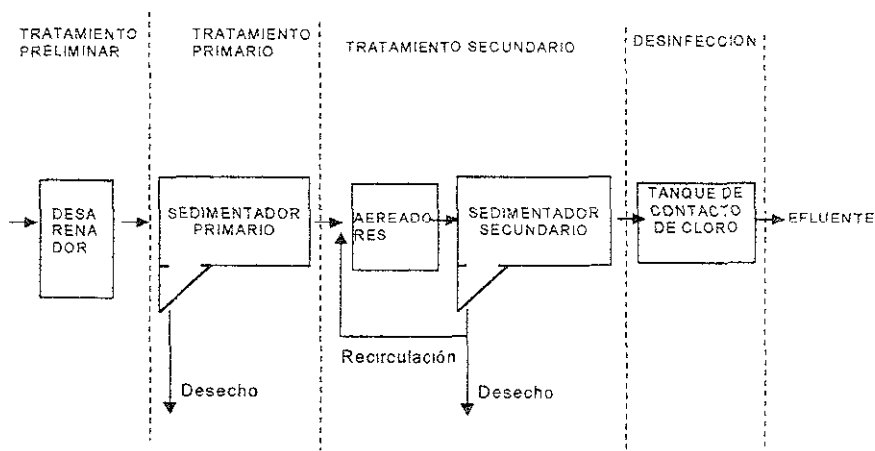


Figura 12. Tratamiento de aguas residuales a nivel secundario con desinfección.

FUENTE DGCOH, p 43

1.1 Pretratamiento

En Planta Chapultepec se emplea la desarenación como tratamiento preliminar. Las cámaras desarenadoras son grandes canales en los cuales se disminuye la velocidad de flujo de manera que pueda controlarse a 30 cm/seg. Vierten a un mismo canal de donde se distribuye el gasto a las dos Unidades.

1.2 Tratamiento Primario.

Se lleva a cabo en tanques de Sedimentación Primaria. El Sedimentador Primario de la Unidad 1 es circular, su forma es la de un cono Imhoff en donde los sólidos sedimentados resbalan por las paredes hacia el fondo de donde son eliminados. En la Unidad II su forma es rectangular, los sólidos sedimentados son recolectados en tolvas localizadas en el fondo y al principio del tanque por medio de un equipo mecánico (rastras sinfín) de donde son descargados continuamente.

Tienen un vertedor de salida para que el agua pase por gravedad al tanque de aireación. El periodo de retención es de 2 hr

1.3 Tratamiento Secundario

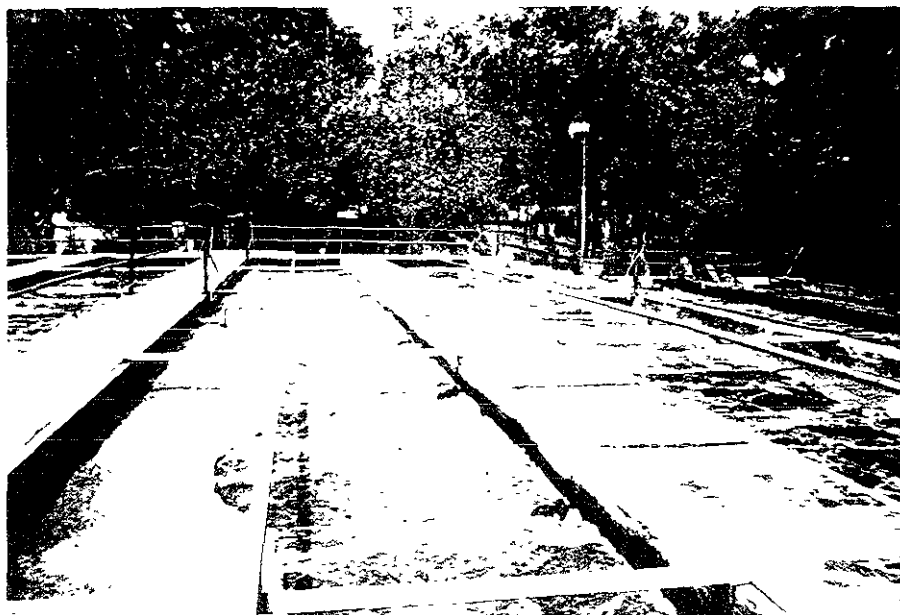
Se lleva a cabo en dos etapas; aireación de los lodos con las aguas residuales a tratar en los Reactores Biológicos y separación de los lodos por sedimentación de las aguas ya tratadas.

1. Reactores Biológicos El reactor biológico de la Unidad I son dos vasos de forma semicircular, separados en dos secciones comunicadas. En la Unidad II, los reactores son cuatro vasos rectangulares. (Fig 13) Sus fondos son planos y el aire se agrega por difusión mediante sopladores. En la entrada se encuentra la línea de descarga de los lodos recirculados del Sedimentador Secundario. Después de estar en aireación y agitación (aprox. 6 hr), el licor mezclado pasa por gravedad al Sedimentador Secundario.

2. Sedimentador Secundario. Son rectangulares en ambas Unidades y dos en cada una de ellas. Permiten la sedimentación de los lodos al disminuir la velocidad del agua de entrada a través de una mampara. Cuentan con tolvas en el fondo y un sistema de rastras sumergidas de forma inclinada que recolecta el lodo sedimentado y lo acarrea hacia las tolvas de donde son recirculados al tanque de aireación o eliminados del sistema. Casi a la salida del tanque se encuentran vertedores sobre la superficie (Fig 14) que van a recolectar el agua ya tratada para conducirla a la desinfección. El tiempo de retención aproximado es de 2 horas y la cantidad de lodos recirculados es el 30% del gasto de entrada.



a



b

Fig. 13. Reactores Biológicos. a), Unidad I, b) Unidad II

FUENTE Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec

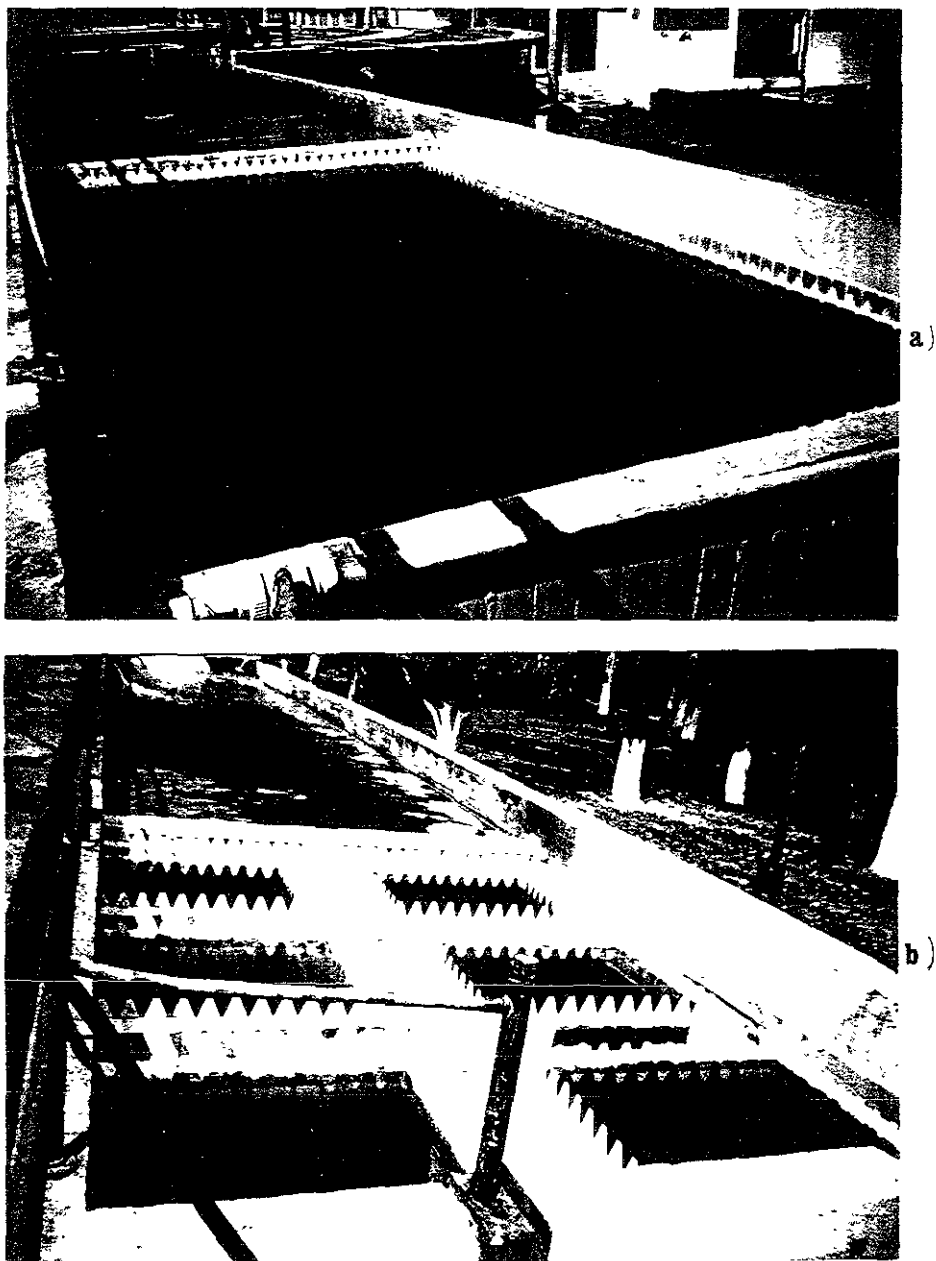


Fig. 14. Sedimentadores Secundarios. a) Unidad I, b) Unidad II

FUENTE Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec

1.4 Desinfección

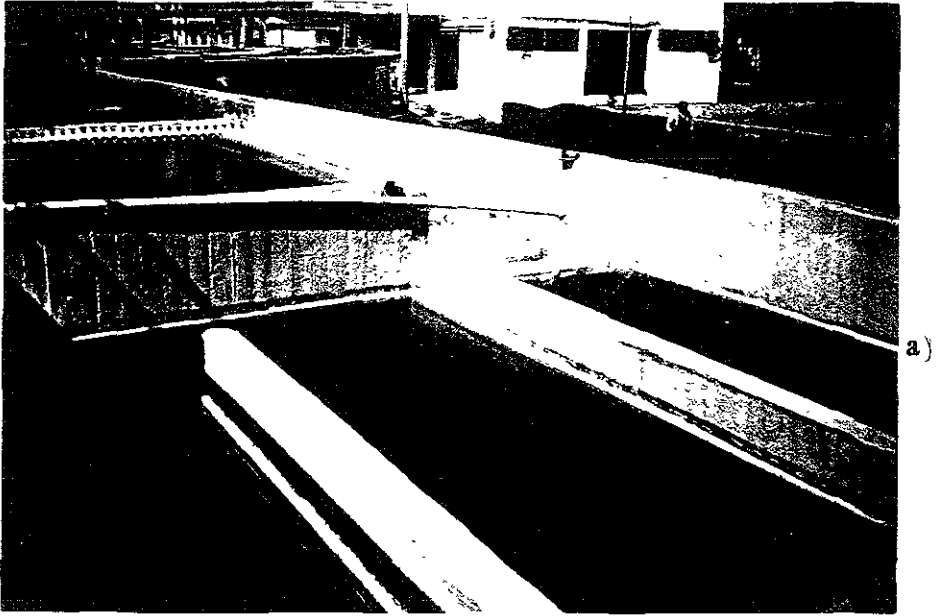
Es la última etapa del proceso, y va a permitir disminuir la población bacteriana hasta una concentración inocua. El proceso de desinfección usado en Planta Chapultepec, es la cloración.

El cloro se aplica en forma de gas y la cantidad dosificada se regula mediante aparatos especiales llamados cloradores, los cuales cuentan con dispositivos para hacer una solución acuosa del cloro gaseoso e inyectar esta solución al agua tratada

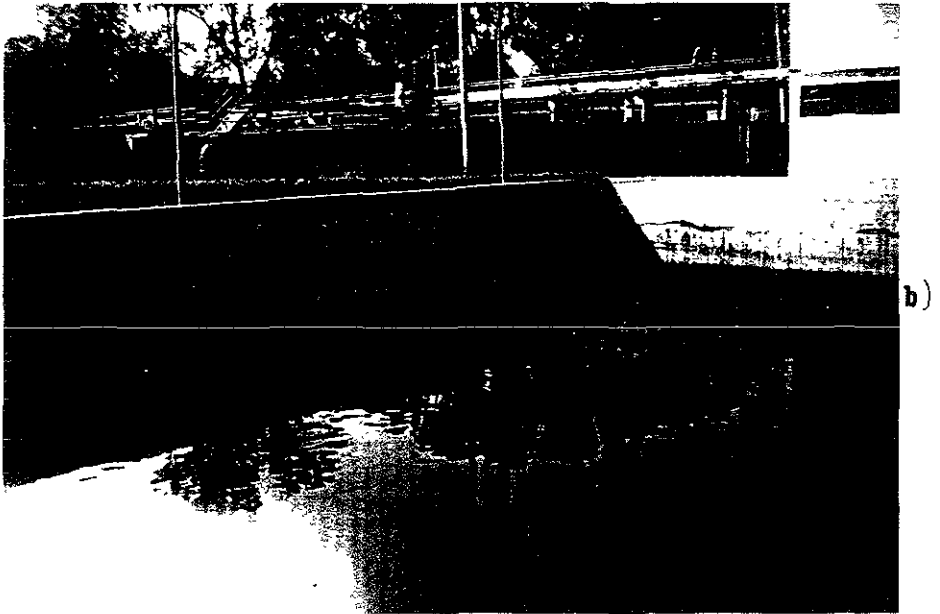
Los tanques de desinfección en ambas Unidades se encuentran localizados inmediatamente después de cada Sedimentador Secundario. Son tanques con mamparas dispuestas de tal forma que el flujo del agua sea en zig-zag, con el objeto de darle el tiempo de retención aproximado de 20 min. El agua pasa a ellos por gravedad proveniente de los Sedimentadores Secundarios.(Fig. 15a).

A la salida de cada tanque hay un vertedor que descarga las aguas tratadas ya desinfectadas en una tubería para conducir las al tanque de almacenamiento ubicado en medio de las dos Unidades (Fig. 15b) y es de aquí de donde se van a distribuir las aguas ya tratadas por medio de bombas (Fig. 16a) para sus diferentes reusos, siendo los principales:

- 1) llenado de los Lagos Mayor y Menor del Bosque de Chapultepec
- 2) riego de todas las áreas verdes del Bosque de Chapultepec, (Fig 16b)
- 3) riego de todos los camellones y jardines de Chapultepec y,
- 4) llenado de las fuentes recreativas de Chapultepec.



a)



b)

Fig. 15. a) Tanque de Contacto de Cloro. b) Tanque de Almacenamiento.

FUENTE Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec



a)



b)

Fig. 16. a) Bombas distribuidoras. b) Bosque de Chapultepec.

FUENTE Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec

2. Diseño Experimental

El estudio se llevó a cabo durante los meses de octubre de 1994 a enero de 1995. Las aguas se sometieron a pruebas de control de calidad para contar con datos de **proceso** y establecer la calidad física, química y biológica de las aguas residuales que llegan a la planta (influyente) así como de las aguas renovadas producidas (efluente), para de esta manera optimizar las políticas de operación de la planta y mantener la calidad requerida en el efluente.

Los métodos analíticos usados para evaluar la calidad del agua cruda y tratada se dividieron en:

- **Físicos:**
 - Temperatura
 - Sólidos: suspendidos volátiles y sedimentables de 30'
 - pH.
- **Químicos:**
 - Oxígeno Disuelto (OD).
 - Nitrógeno.
 - Amoniacal.
 - Orgánico.
 - Nitratos.
 - Demanda Química de Oxígeno (DQO).
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- **Biológicos:**
 - Examen al microscopio. Conteo de microorganismos.
 - Examen bacteriológico: Conteo de mesófilas y de filamentosas

Con estos **Parámetros de proceso**, se obtuvieron tres **Parámetros de control**: la **relación A/M**, el **%Remoción** y el valor del **IVL**.

El estudio se dividió en tres etapas llevadas a cabo solamente en la Unidad 2. Un conocimiento general del proceso a través de una etapa preliminar (Primera Etapa), una etapa para evaluar el proceso y diseñar propuestas de operación (Segunda Etapa), y finalmente, una etapa que permitiera la aplicación de éstas propuestas al proceso (Tercera Etapa). En el diagrama de flujo de la Gráfica 1 se encuentra esquematizada la metodología general.

PRIMERA ETAPA. Se realizó durante el mes de octubre recorriendo diario la Unidad para una evaluación cualitativa y permitió establecer las condiciones previas de calidad, tanto del influente como del efluente. En ella se realizaron los análisis fisicoquímicos de rutina, muestreando las diferentes etapas del proceso, se calcularon parámetros de control y se contaron bacterias mesófilas. (Gráfica 2)

SEGUNDA ETAPA. Se llevó a cabo en los meses de noviembre y diciembre en las mismas condiciones de la etapa anterior, agregando determinaciones relacionadas con la carga orgánica y el balance de nutrientes, que permitieran establecer una mejor interpretación del proceso. Se realizó el conteo de filamentosas y de protozoarios. Se calcularon parámetros de control que permitieron evaluar el proceso y establecer las medidas operativas. (Gráfica 3).

TERCERA ETAPA. Se llevó a cabo en los meses de enero y febrero con las mismas condiciones de análisis de las dos etapas anteriores. En esta etapa se trató de restablecer el equilibrio en la Unidad al aplicar las propuestas en los movimientos

de operación, basadas en las observaciones microscópicas obtenidas. Las medidas propuestas se hicieron por escrito y fueron las siguientes (*Gráfica 4*):

1. Determinar los parámetros de SSV tanto para los reactores como para la recirculación, así como los valores de la DQO de los primarios y la observación al microscopio antes de realizar cualquier movimiento de operación
2. Calcular los valores de F/M y gastos de purga.
3. Tomando como base un valor máximo de DBO de 200 mg/l y un valor de F/M entre 0.45–0.55, mantener una concentración máxima de SSVLM de 1100 mg/l en la Unidad
4. Purgar hasta alcanzar la concentración de SSV requerida para mantener el rango de F/M mencionado y un tiempo de retención de 4 días, manteniendo OD a 2 mg/l
5. Para disminuir la cantidad de filamentosas, si es que no han disminuido con las medidas anteriores, incrementar nutrientes adicionando agua de dilución de DBO en la entrada de los aireadores por medio de un goteo continuo durante las 24 hrs hasta observar incremento de protozoarios

Como en toda la línea de purga no hay medidores de gasto que indiquen el volumen de lodo desechado, se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Determinar la hora óptima a la cual realizar las purgas, mostrando el Influyente cada hora y evaluar la DQO para encontrar el nivel de carga pico.
2. Cerrar el gasto de entrada para la Unidad, así como la recirculación,
3. Mantener la aireación en los reactores y el sistema de rastras de los Secundarios
4. Purgar el lodo en las tolvas de los Sedimentadores Secundarios.
5. Medir el nivel que desciendan los Sedimentadores Secundarios en un lapso de tiempo de 5 min y tomar muestras para los SS30' en la recirculación
6. Restablecer el gasto iniciando en 20 l/s y aumentado 20 litros más a los 30 min, manteniéndolo en 40 l/s.
7. Restablecer la recirculación hasta que los Secundarios comiencen a verter.

3. Muestreo.

Para realizar las tres etapas anteriores, el muestreo tuvo un papel muy importante. Su objetivo fue obtener una muestra representativa de determinada fase del proceso de tratamiento para que, a partir de los resultados de análisis, se lograran tomar decisiones que permitieran un adecuado control operativo. Las muestras fueron representativas de las condiciones que existían en el punto y a la hora del muestreo. Las actividades relacionadas con él constituyeron un proceso integrado por dos etapas: toma de muestras y preservación.

3.1. Toma de muestras

Las muestras fueron colectadas al inicio de cada jornada de trabajo, es decir, a las 7:00 AM, en los sitios especificados y de lunes a sábado.

Protocolo de muestreo

En él se define el sitio y número de muestras a tomar. En la tabla 8 se tienen los parámetros a evaluar y sitios de muestreo, mismos que se especifican en la figura 17 para las dos Unidades.

- a) Muestra No. 1 y 2.- Muestra del efluente de los sedimentadores primarios
- b) Muestra No. 5 y 6 - Efluente final, se realizó en forma simple del vertedor de salida del sedimentador secundario de cada unidad.
- c) Muestra No. 3 y 4.- Licor mezclado; la toma de muestras se realizó en el canal de salida común a todos los reactores en cada unidad para las determinaciones microbiológicas y de SSVLM; y para los SS 30' y OD antes del vertedor.

Tabla 8. Protocolo de Muestreo

PARÁMETRO	Sedimentador Primario	Aereador	Sedimentador Secundario
Temperatura	+	+	+
PH	+	+	+
Sólidos Sedimentables 30 mín (SS30)	-	+	-
Sólidos Suspendidos VolátilesS. (SVL M)	-	+	-
Índice volumétrico de Lodos (IVL)	-	+	-
Oxígeno Disuelto (OD)	-	+	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno ¹ (DBO _T)	+	-	+
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	+	-	+
Nitrógeno Amoniacal ¹ (N-NH ₃)	+	-	+
Nitrógeno Orgánico ¹ (N-Org)	+	-	+
Nitratos ¹ (NO ₂)	+	-	+
Microbiológicas ¹	-	+	+

Los parámetros marcados con (1), se llevaron a cabo en el C A T

+ Realizada - No realizada

FUENTE D G C O H, p 42

3.2. Preservación.

Debido a la falta de condiciones adecuadas para el análisis microbiológico en la Planta y de algunos reactivos, se realizaron análisis en el laboratorio de Química del Centro de Asimilación Tecnológica (C.A.T.), de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán trasladando las muestras hasta este Centro, empleando algunos métodos para inhibir las reacciones entre los diferentes elementos y compuestos existentes en el agua, o retardar su degradación. En la tabla 9 se describen los métodos usados comúnmente en la Planta para la preservación de muestras, los volúmenes requeridos y el periodo máximo de preservación para los parámetros antes mencionados.

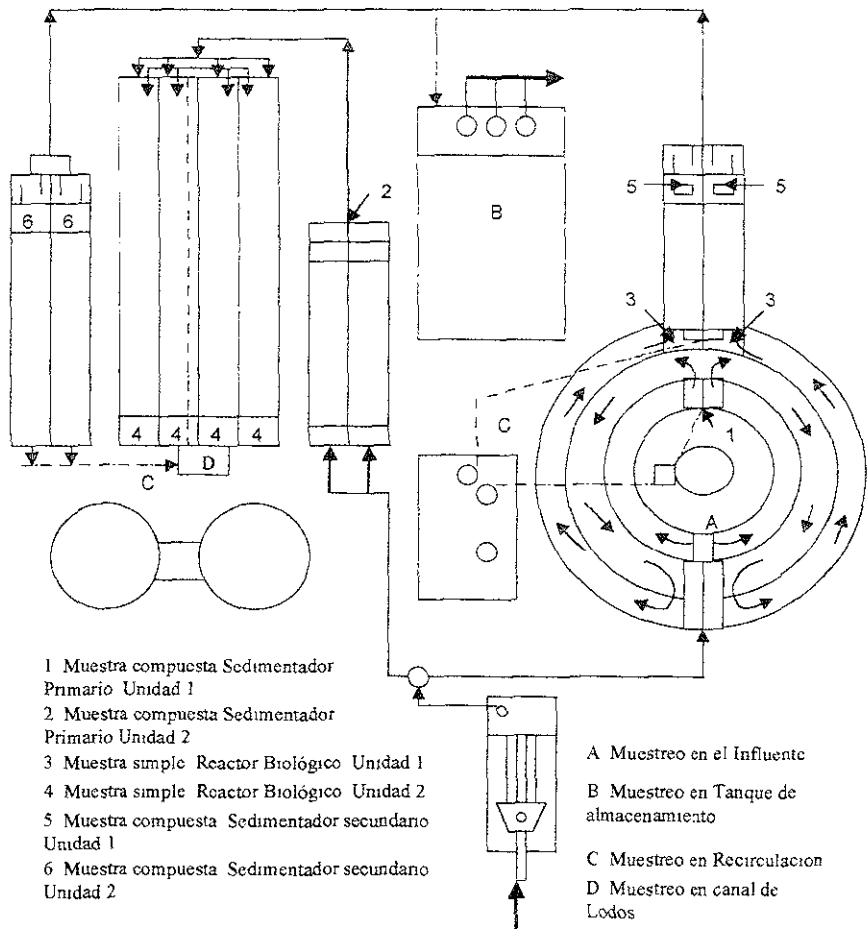


Figura 17. Puntos de muestreo en Planta Chapultepec.

FUENTE DGCHO, p 51

Tabla 9 Volumen de muestra requerido

PARAMETRO	Volúmen requerido ml.	Agente preservativo	Tiempo entre M. Y A.
D.B.O.	1 000	Enf a 4°C	6 hrs
N-NH ₃	500 ^a	2 ml/l H ₂ SO ₄	24 hrs
N-Org.	500 ^a	Enf. a 4°C	24 hrs
N-NO ₂	100	Enf. a 4°C	48 hrs
A. Bact.	125	Enf a 4°C	6 hrs

^a. O una alícuota diluida a 500 ml. Si la concentración es menor de 100 mg/l, usar un volumen de muestra de 1000 ml, dependiendo de la concentración de nitrógeno orgánico en la muestra

Fuente D G C O H , p 45

4. Métodos Analíticos.

a) Métodos fisicoquímicos

Los métodos analíticos utilizados para llevar a cabo la evaluación de los parámetros fisicoquímicos se tomaron de las Normas Oficiales Mexicanas de Análisis de Agua (NOM.-AA), del Standard Methods²⁸ (APHA 1985), así como de las Técnicas recomendadas por la D G C O.H.²⁹

b) Métodos microbiológicos.

Los métodos microbiológicos fueron de dos tipos: examen bacteriológico y examen microscópico. El examen bacteriológico se llevó a cabo por el método de conteo en placa para bacterias mesófilas y filamentosas; el examen microscópico para el conteo de protozoarios y otros microorganismos.

1). *Examen bacteriológico* Para encontrar la dilución óptima a la cual trabajar en el conteo de mesófilas y filamentosas, se llevó a cabo durante una semana el siguiente procedimiento

²⁸ Standard Methods *For the examination of Water and Wastewater*. APHA pp 265 - 538

²⁹ DGCOH, *op cit*, pp 60 - 150

Mesófilas

1. Se tomaron 10 ml de Lodo Activado sin dejar sedimentar y se agitaron a máxima velocidad en el vórtex durante 5 minutos con el objeto de deshacer los flóculos y liberar la mayor cantidad posible de bacterias atrapadas en ellos³⁰
2. Se hicieron diluciones en serie de 10^{-1} hasta 10^{-6} , sin dejar sedimentar y agitando.
3. Se sembró 0.1 ml de cada dilución por el método de superficie en placa de agar soya
4. Se incubaron las cajas de 24-48 hr a 25 °C contando las colonias a los dos tiempos.
5. Se seleccionaron las placas cuyo conteo estuviera entre 30-300 colonias, siendo la dilución 10^{-4} y sembrándola durante todo el estudio.

Filamentosas:

1. Se tomaron 10 ml de lodo activado y se agitaron lentamente en el vórtex durante 3 minutos con el objeto de liberar la mayor cantidad de filamentos de los flóculos. El tiempo de agitación y velocidad se midió en base a observaciones al microscopio.³¹
2. Se dejó sedimentar 5 minutos con el objeto de reducir al mínimo la presencia de bacterias mesófilas presentes en los flóculos y se tomó 1 ml. del sobrenadante
3. Se hicieron diluciones 1/10 hasta 10^{-4} , agitando 2 minutos y reposando 3 minutos.
4. Se sembró 0.1 ml por superficie en placas de agar triptona-glucosa-levadura (TGY)³²
5. Se incubaron las cajas 24-48 hr a 25 °C. Se contaron colonias a las 24 hr y se hicieron tinciones de Gram para cada colonia con el fin de identificar el tipo de colonia que producen las bacterias filamentosas.
6. Se contaron únicamente dos tipos de colonias: las colonias granulosas, transparentes y tornasoladas y las colonias irregulares mate y grumosas; mismas que al realizar el frotis y observarlo al microscopio aparecen como verdaderos filamentos.
7. Se preparó medio líquido de extracto de alfalfa y se sembraron éstas colonias. Se incubaron 24 hrs. a 30 C y posteriormente se sembró 0.1 ml de este cultivo en cajas de petri usando diferentes medios con el fin de identificar el medio sobre el cual crecían más rápidamente. Los medios utilizados fueron. Agar soya, Medio Triptona-glucosa-

³⁰ W L van Veen *Bacteriology of activated sludge, in particular the filamentous bacteriae.* 39(1973), p 190

³¹ *Ibidem*, pp 191 - 192

³² Standard Methodos, *op. Cit.* p 867

levadura (TGY); Medio I Medio CGL; Medio TGY-glicerol, Medio de Diferenciación, el Medio de Stokes y el medio GMB.³³

8. Se seleccionaron las cajas en las que crecieron entre 30-300 colonias a las 24 hrs y se llevaron a cabo tinciones observando que sobre el medio TGY crecían mejor y más rápidamente, usándolo para la siembra durante todo el estudio
9. Para encontrar la dilución se sembraron muestras de lodos una semana repitiendo los pasos del 1 al 5 y determinando 10^{-3} como la dilución que se usó durante el estudio.

2). *Examen microscópico. a) Protozoarios.* Los grupos de organismos considerados fueron: amebas, flagelados, ciliados libres y ciliados fijos.³⁴ No se consideraron especies porque la comunidad en conjunto refleja mejor las condiciones.³⁵

Para la Primera Etapa se realizó la técnica según la DGCOH, pero a partir de la Segunda se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se dejaron sedimentar lodos activados en vasos de precipitados de 100 ml
2. Se tomaron 0.1 ml. de Lodo Activado con una pipeta del fondo del vaso y se colocó en un portaobjeto.
3. Se Cubrió con el cubreobjeto de 22 x 22 mm lo que constituye una placa
4. Se Observó al microscopio con el objetivo de 10X.
5. Se recorrió a todo lo largo y ancho el cubreobjeto contando los protozoanos
6. Se reportó cada grupo por separado para predominancia relativa, registrando algún otro si su abundancia era relevante

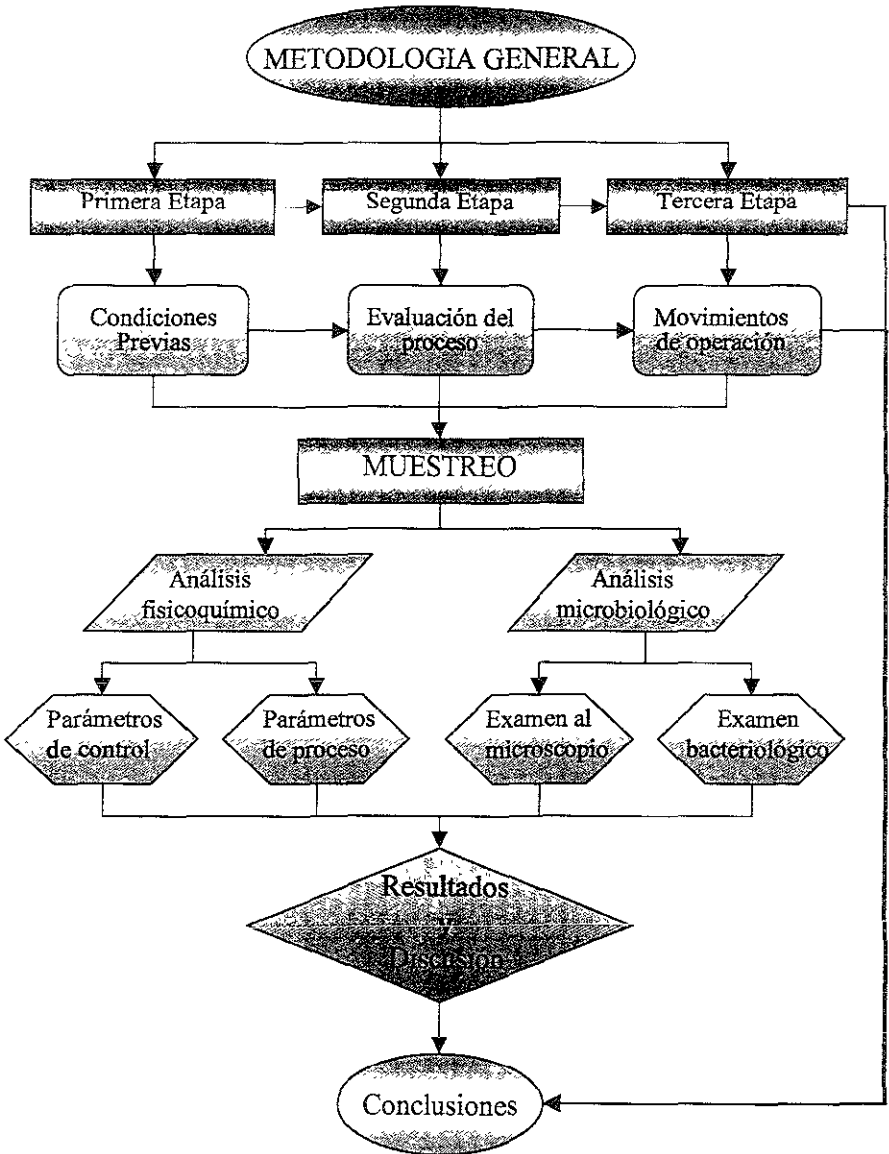
b) Rotíferos

Se realizó el conteo en la misma muestra y al mismo tiempo que los protozoarios, reportando de igual manera.

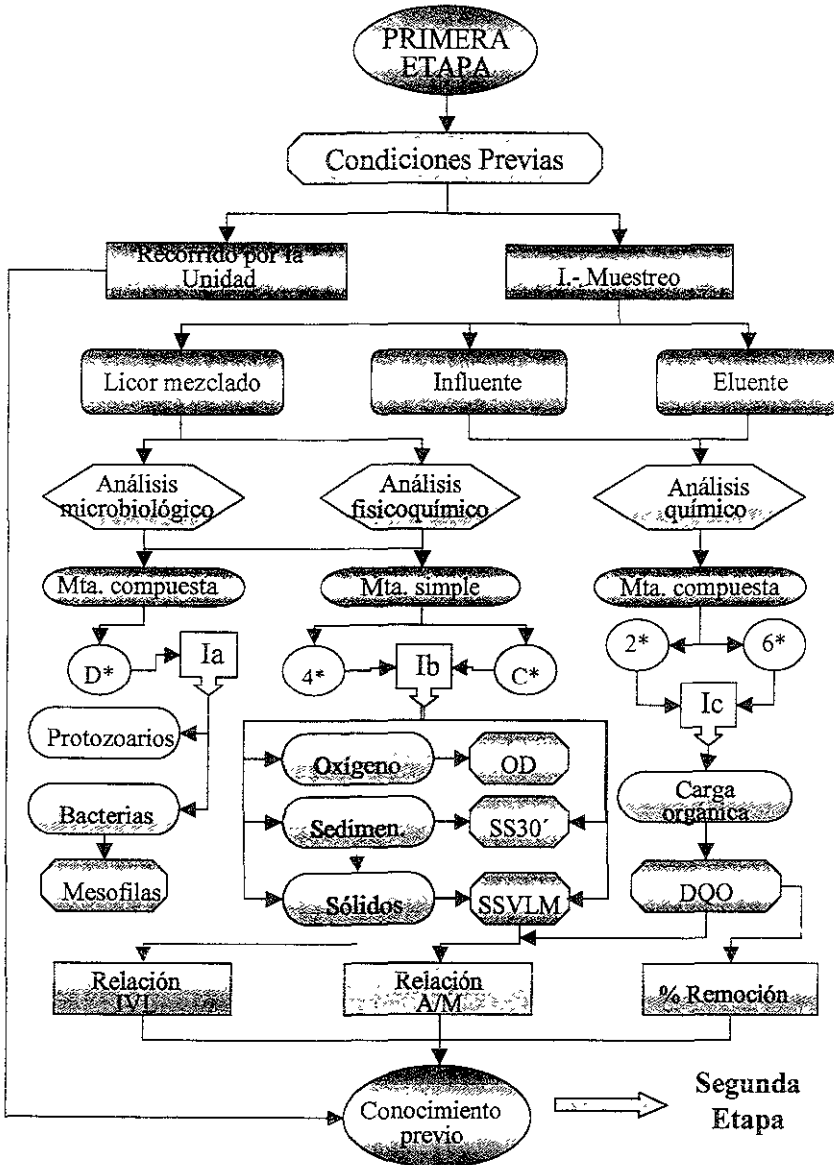
³³ Mortimer P Star *The Prokaryotes*, pp 425 - 428

³⁴ S A R H *Manual de Microbiología del agua* pp 120 - 140

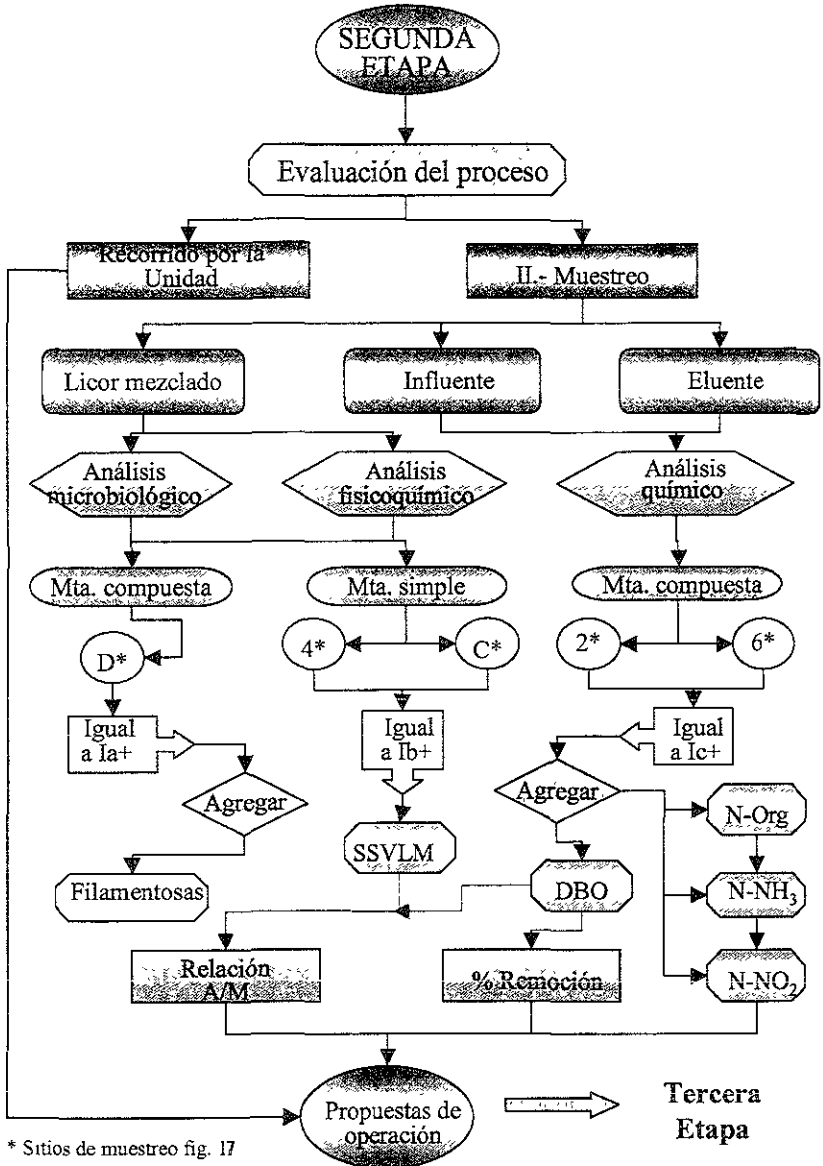
³⁵ McKinney, R E et al *Protozoa and Activated Sludge*, pp 11219-1231



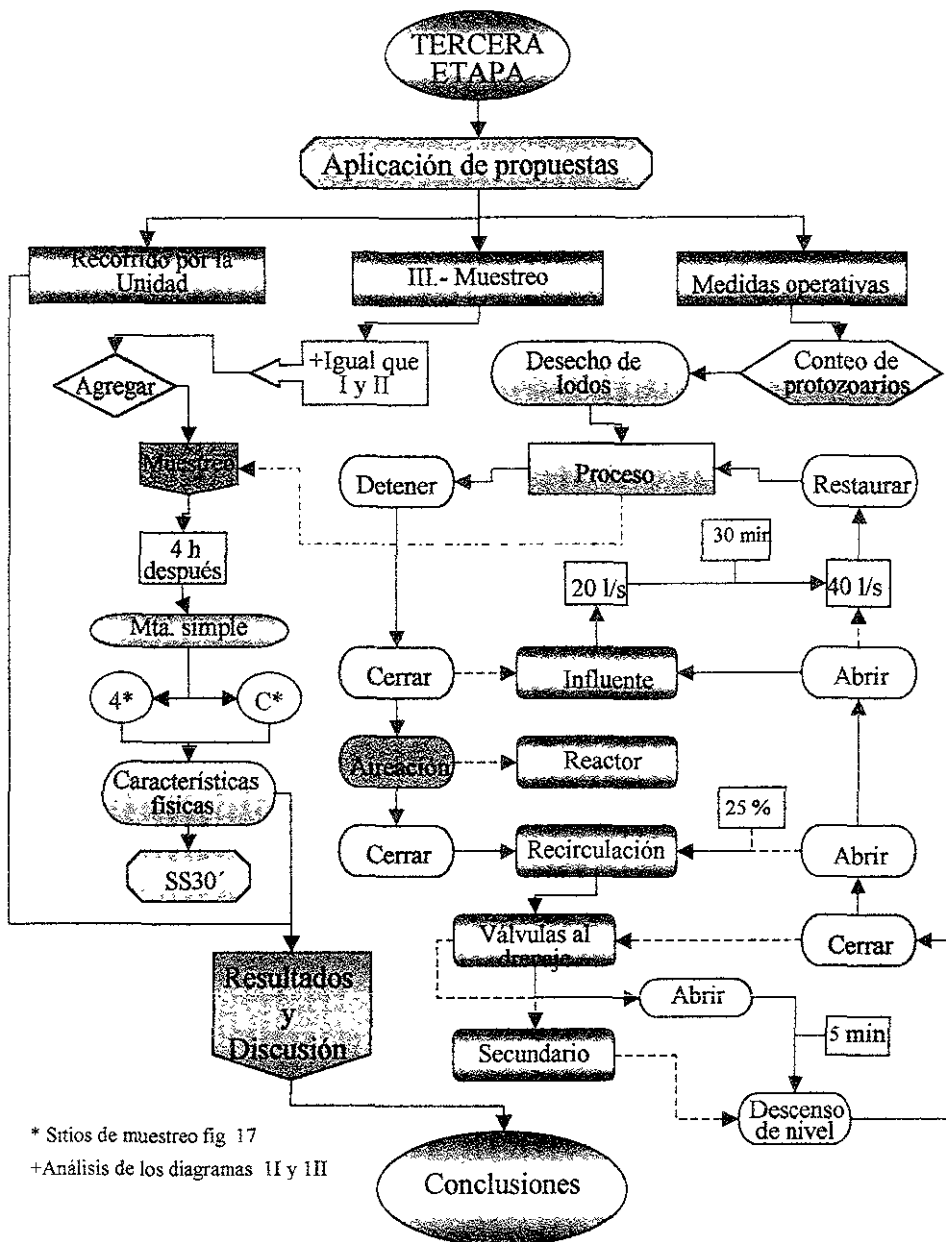
Gráfica 1. Diagrama de Flujo de la Metodología General



Gráfica 2. Diagrama de Flujo de la Primera Etapa



Gráfica 3. Diagrama de Flujo de la Segunda Etapa.



Gráfica 4. Diagrama de Flujo de la Tercera Etapa.

RESULTADOS

Los resultados de cada etapa se reportan en tres secciones: a) Recorrido por la Planta; b) Resultados de los análisis fisicoquímicos y, c) Resultados de los análisis biológicos de los lodos activados

1 Primera Etapa

1.1. Recorrido por la Planta.

Al realizar el recorrido por la Unidad, se observa dosificación irregular de oxígeno a lo largo de los reactores. Los movimientos de operación sólo se realizaron en los sedimentadores primarios con una purga de 1 hora por turno y se mantuvo el gasto de entrada a 60 l/seg para las dos Unidades.

1.2. Análisis fisicoquímicos:

La Tabla 10 contiene los análisis fisicoquímicos de la Primera Etapa. Los valores de pH y temperatura no variaron significativamente durante todo el estudio, encontrándose en los rangos de 18 - 20 °C y el pH de 6.3 - 7.0.

a) **Parámetros de proceso:** El valor de DQO del influente alcanza un mínimo de 96 mg/l y un máximo de 226 mg/l, la del efluente tiende a elevarse. Los SS30` y los SSVLM en recirculación están muy bajos y, en el reactor, mientras los primeros se elevan, los segundos disminuyen. En las probetas, el lodo es compacto y de color oscuro los primeros días, perdiendo color poco a poco. El OD no varía mucho.

b) **Parámetros de control:** el valor del IVL se encuentra un poco elevado los valores de F/M están dentro de los límites y el %R desciende por debajo de 90

Tabla 10. Analisis fisicoquímicos. Primera Etapa

PARAMETROS	Mta.	D I A S						
		1-12	2-13	3-14	4-15	5-19	6-20	7-21
SS 30'. ml/l	4	170	155	145	145	160	175	185
	C	330	280	290	230	500	850	340
IVL	4	173	148	132	151	166	182	203
	C	980	1050	1100	960	965	960	910
SSV. mg/l	C		1860	1790	1140	2420	1900	1360
	4	2,3	2,3	2,5	2,7	2,5	2,8	2,7
OD mg/l	2	160	208	172	160	96	226	218
	6	17	8	20	16	16	27	27
F/M		0,47	0,57	0,45	0,48	0,29	0,68	0,69
%Remoción		89,4	96,2	88,4	90	83,3	88,1	87,6
UFC ⁺	D	170	159	520	129	64	103	inc.

FUENTE Laboratorio de la Planta de Tratamiento
Realizado en el laboratorio del CAST

1.3. Análisis microbiológico.

a) **Análisis microscópico.** Se observó un flóculo cerrado con predominio de vorticelas y ciliados libres, mismos que fueron disminuyendo al aparecer mayor cantidad de rotíferos y posteriormente nemátodos. El flóculo poco a poco se fue abriendo y comenzaron a aparecer microorganismos filamentosos

b) **Análisis bacteriológico.** En el conteo de mesófilas no se tiene un valor de referencia, pero se observa que en el último día no se logró determinar el número de colonias a la dilución empleada, indicando con esto, un probable incremento de las mismas en los lodos.

2. Segunda Etapa

2.1. Recorrido por la Planta.

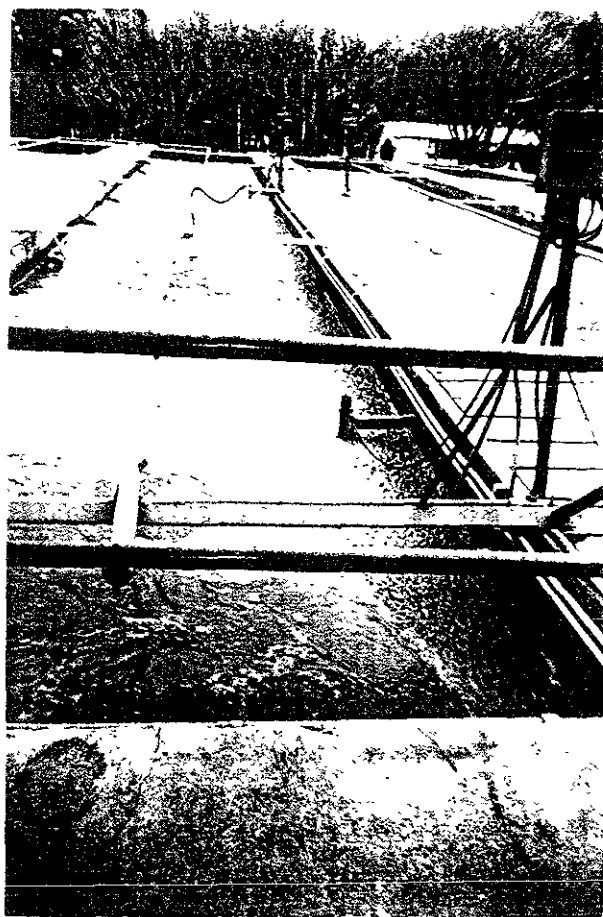
El recorrido por la Planta muestra que el proceso se encontraba fuera de control, había demasiados lodos sobre la superficie de los aireadores y una gruesa capa en los secundarios (*Fig. 18*) El agua de los vertederos se veía turbia y con mal olor. Los movimientos de operación se mantuvieron sin cambio.

2.2. Análisis fisicoquímicos.

La tabla 11a resume los valores de los análisis realizados en la Planta y la 11b en el CAT durante este periodo.

a) Parámetros de proceso. Los SS30', los SSVLM y la DQO del efluente, se incrementaron notablemente con respecto a la etapa anterior. La DQO del influente, así como el OD alcanzan valores más bajos que los anteriores (*Tabla 11a*). La DBO reporta valores inferiores a los de la DQO, tanto para la entrada (máximo de 176 y mínimo de 77 mg/l), como para la salida. EL N-Org y N-NH₃, disminuyen del Primario al Secundario y N-NO₂ descienden mucho en el efluente del Secundario (*Tabla 11b, Gráfica 6*) Se observa en las probetas, que el lodo pierde color y compactación, el sobrenadante es muy turbio (*Fig. 19*) y después de 2 hrs de sedimentación, flota.

b) Parámetros de control: El IVL se incrementa demasiado. La F/M calculada con DBO es baja, sus valores extremos son de 0.13 y 0.27. La eficiencia disminuyó alcanzando hasta el 32% en DBO. (*gráfica 7*)

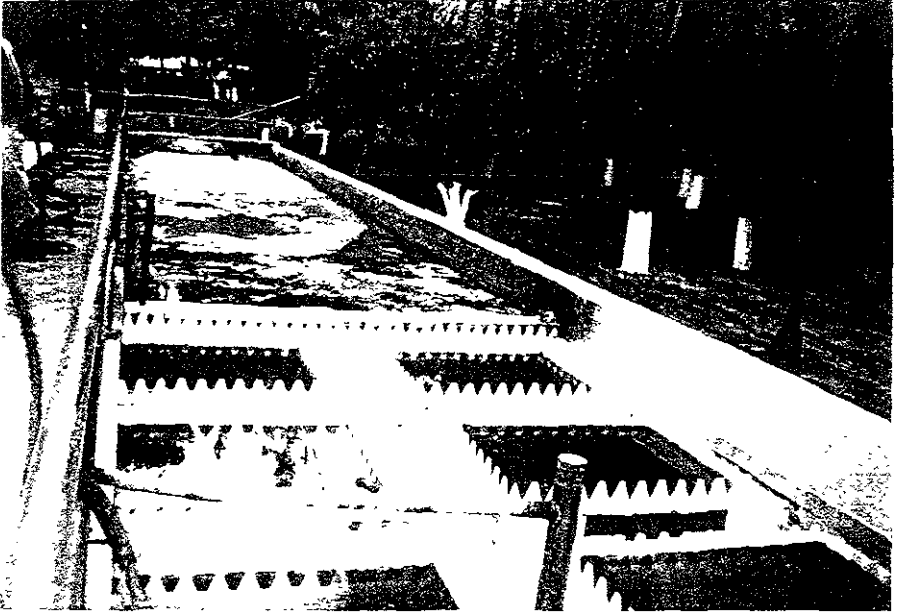


a) Reactor Biológico

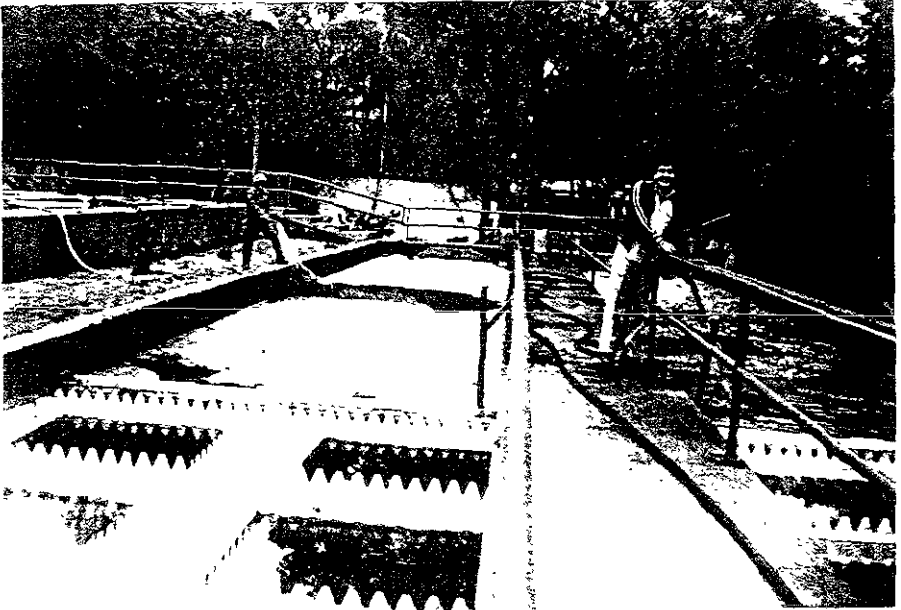
Figura 18. Espuma en la superficie de los tanques.

Espuma sobre la superficie de los aireadores (**a**) que es arrastrada hacia el secundario formando una gruesa capa en la superficie (**b**), misma que debe de ser "arreada" para su desalojo usando presión de agua, hacia una canaleta que se colocó antes de los vertederos con este fin (**c**)

FUENTE Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec



b) Espuma sobre el Sedimentador Secundario



c) Arreo de lodos hacia la canaleta.

Tabla 11a. Determinaciones fisicoquímicas. Segunda Etapa.

Mta. días	P A R A M E T R O S									
	SS 30 ml/l		SSV mg/l		OD	DQO mg/l		IVL	F/M	%R
	4	C	4	C	4	2	6			
8-22	360	820	1440		2.1	212	15	250	0.43	93
9-23	507	960	1080	2290	2.2	204	23	469	0.55	89
10-24	610	980	1210	1820	2.1	170	23	504	0.41	87
11-25	652	990	1190	2270	1.8	185	17	548	0.45	91
12-28	530	980	1100	1950	1.6	162	15	482	0.43	91
13-29	540	990	1120	2380	2.3	150	12	482	0.39	92
14-30	565	900	1240	2360	1.9	157	23	456	0.37	85
15-2	627	950	1270	2170	2.0	169	38	494	0.38	78
16-5	422	920	1210	2700	2.0	165	35	349	0.63	87
17-7	360	1000	1330	2860	1.5	142	42	270	0.31	70
18-9	377	960	1270	1880	1.7	154	46	296	0.35	70
19-16	722	950	1380	2970	2.1	185	27	523	0.39	85
20-19	420	1000	1150	2990	1.4	146	27	365	0.37	81
21-21	695	980	1400	3230	1.5	150	19	496	0.31	87
22-23	550	960			1.8	185	19			90
23-26	635	980			3.9	150	65			57
24-28	665	970			2.6	169	73			57
25-30	775	990			1.3	140	42			70

FUENTE Laboratorio de la Planta de Tratamiento, noviembre - diciembre de 1994

Tabla 11b. Balance de nutrientes y carga orgánica. Segunda Etapa.

Mta. días	P A R A M E T R O S									
	N-Org. mg/l		N-Amo. mg/l		N-NO ₃ mg/l		DBO mg/l		F/M	%R
	2	6	2	6	2	6	2	6		
8-22	16	1.0	16	1.3	0.05	1.5	163	17	0.37	91
9-23							130	20	0.35	85
10-24	22	0.7	17	1.3	0.06	2.2	141	18	0.34	87
11-25							157	17	0.38	89
12-28	23	1.3	21	1.2	0.03	1.3	123	18	0.32	85
13-29							96	10	0.45	94
14-30	19	1.0	17	0.7	0.08	0.7	81	16	0.19	80
15-2							97	26	0.22	73
16-5	18	1.2	17	1.1	0.21	0.29	107	28	0.26	74
17-7							86	30	0.19	65
18-9	22	1.5	16	0.6	0.07	0.11	94	33	0.21	65
19-16							114	18	0.24	84
20-19	21	0.9	17	0.7	0.06	0.035	134	17	0.34	87
21-21							105	19	0.22	82
22-23	17	0.8	15	1.2	0.04	0.017	132	21		84
23-26							86	47		45
24-28	15	1.0	19	1.0	0.02	0.11	77	52		32
25-30							85	33		61

FUENTE Determinaciones realizadas en el C.A.T., FESC-1, noviembre - diciembre de 1994



a) Inicio



b) 30 min



c) dos horas

Figura 19. Lodos en la prueba de 30 min durante la Segunda Etapa

La apariencia del lodo es descolorido y esponjoso **(a)**, no se puede determinar con exactitud el valor del lodo sedimentado **(b)**, el sobrenadante es turbio y con mucho fino suspendido **(c)**.

Se determinó la velocidad de sedimentación a los 5, 15, 30, 60, 90 y 120 min y se pueden apreciar valores muy bajos, ya que después de los 30', apenas han logrado sedimentar menos de la mitad de su volumen (*fig. 20*) y en recirculación no alcanzan los 100 ml sedimentados.

Tiempo: min.	0	5	15	30	60	90	120
Prom	1000	985	910	592	485	415	357
Recir	1000	1000	1000	1000	990	990	920

2.3. Análisis microbiológico.

La tabla 11c contienen los datos de los análisis microscópico y bacteriológico para esta etapa.

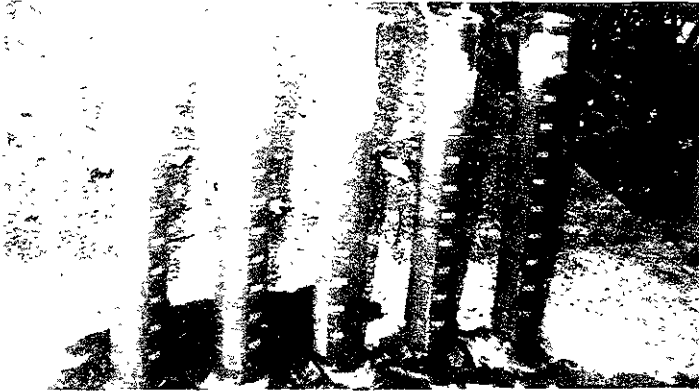
a) Análisis bacteriológico: Las mesófilas se encuentran más altas que en la anterior etapa. Para las filamentosas no se tiene un valor de referencia, pero coinciden con los valores bajos de remoción.

b) Análisis microscópico. Al microscopio se observa predominio de microorganismos filamentosos, el flóculo es muy abierto, aparecen nemátodos y oligoquetos que liberan gran cantidad de quistes y aumentando el valor de los mismos en los lodos conforme pasa el tiempo. Los valores más altos de protozoarios, se encuentran en los flagelados, aunque después disminuyen. La cantidad de ciliados libres, vorticelas y rotíferos descienden notablemente. En general, los protozoarios disminuyen notablemente hasta casi desaparecer.

Tabla 11c. Determinaciones microbiológicas. Segunda Etapa.

DIAS	P A R A M E T R O S									
	Meso	Filam.	Ame.	Flag.	C.Li.	Vorti.	Roti.	Nema.	Olig.	Quis.
8-22	253	-	20	230	280	120	250	20	0	0
9-23	108	-	0	320	360	200	200	10	10	0
10-24	138	-	40	150	320	170	180	10	10	0
11-25	81	-	20	80	190	210	120	40	20	10
12-28	139	-	20	250	50	110	80	80	10	20
13-29	133	-	20	200	110	140	90	90	20	10
14-30	152	-	10	340	120	180	60	80	10	0
15-2	260	-	30	64	170	140	20	50	20	20
16-5	184	-	10	650	250	160	0	30	10	10
17-7	154	62	40	250	100	190	0	0	0	40
18-9	160	81	30	140	50	90	0	0	0	50
19-16	184	97	30	10	50	220	10	0	0	80
20-19	209	53	30	30	110	130	10	0	0	30
21-21	255	68	30	10	150	180	0	0	10	50
22-23	131	39	50	30	80	90	10	0	10	80
23-26	123	42	10	20	40	70	0	0	10	50
24-28	247	64	10	20	130	10	0	0	20	30
25-30	127	72	20	30	70	10	0	0	10	30

FUENTE: Laboratorio del C A T., FESC-I, noviembre - diciembre de 1994



a) 5 min

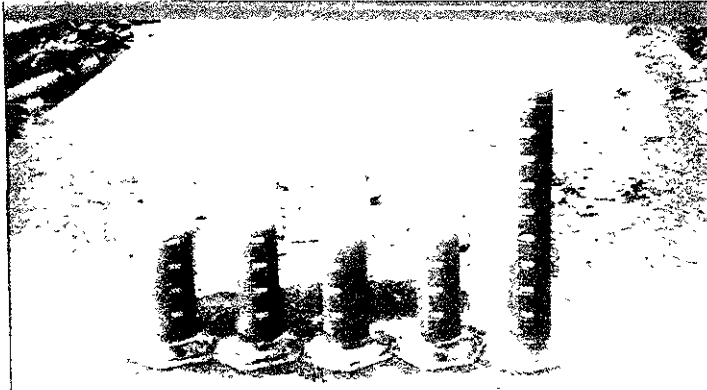


b) 15 min



c) 30 min

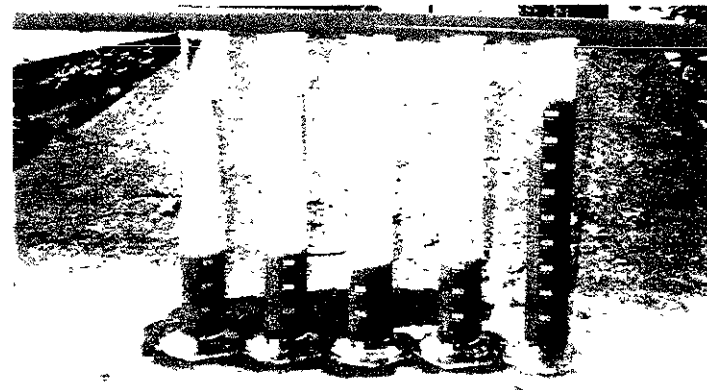
Figura 20. Velocidad de Sedimentación de los lodos. Segunda Etapa



d) 60 min



e) 90 min



f) 120 min

3. Tercera Etapa.

Dio inicio hasta el 23 de enero de 1995 una vez autorizado el acceso a los movimientos de operación.

3.1 Recorrido por la Planta.

El recorrido mostró que el proceso continuaba en desequilibrio, permanecía la espuma sobre los reactores y demasiado material flotante en la superficie de los secundarios así como gran cantidad de lodos acumulados en el canal hacia los secundarios; la apariencia de los lodos en las probetas de 30' seguía siendo parda y esponjosa con el sobrenadante turbio.

3.2. Análisis fisicoquímicos.

La tabla 12a muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados tanto en la Planta, como en el CAT para esta etapa

a) Parámetros de proceso: Los SS30' disminuyeron significativamente durante esta etapa. La DQO de entrada incrementó ligeramente sus valores, no así la DBO, que no variaron mucho, pero si hay una baja significativa en el valor de los Secundarios aumentando considerablemente la eficiencia. El OD se mantiene muy elevado en la primer semana, para después descender en los dos últimos días.

Los valores de N.Org y amoniacal se mantienen, pero hay incremento en los Secundarios en cuanto a los nitratos después de la primer purga.

b) **Parámetros de control:** Casi al final de la Segunda etapa dejaron de evaluarse los SSVLM por falta de material perdiendo así los datos de A/M e IVL, por lo que en esta etapa, el único parámetro de control a seguir fue el %Remoción el cual llega alcanzar más del 90% en DBO y DQO.

Tabla 12a. Análisis fisicoquímicos Tercera Etapa.

Parámetro	M A	D I A S (Enero - Febrero)									
		26-23	27-24	28-25	29-26	30-27	31-30	32-31	33-1	34-2	35-3
SS 30 ^o mg/l	4	597,5	560	562,5	580	502,5	512,5	467,5	435	262,5	197,5
	C	980	990	995	900	930	970	950	960	900	950
OD mg/l	4	3.4	3.3	3.2	3.1	3.3	3.2	3.4	3.2	3.0	3.2
DQO mg/l	2	203	188	210	195	218	196	198	227	159	148
	6	82	57	31	16	19	17	23	19	15	18
Remoc. %		59,6	69,7	85,2	91,8	91,3	91,3	88,4	91,6	90,6	87,8
DBO mg/l	2	139	120	95	90	87	143	87	77	107	97
	6	28	35	14	16	8	7	9	5	8	6
Remoc. %		79,9	70,8	85,3	82,2	90,8	95,1	89,7	93,5	92,5	93,8
N-Org mg/l	2	21	23	17	24	10	12	19	13	9	21
	6	2.3	1.7	1.2	1.0	0.5	0.8	1.3	1.5	1.0	1.5
N-Amon mg/l	2	33	18	23	16	19	9	15	18	14	17
	6	1.2	0.7	1.3	1.1	0.6	0.5	0.4	0.8	0.9	0.8
N- NO3 mg/l	2	0.02	0.01	0.04	0.06	0.02	0.03	0.03	0.02	0.07	0.05
	6	0.09	0.025	0.036	0.87	2.3	2.4	1.7	1.8	2.1	1.9

FUENTE: Planta de Tratamiento y C. A T, enero-febrero de 1995

Para determinar la hora óptima a la cual realizar las purgas, se muestreó el influente cada hora a partir de las 7:00 AM y se evaluó la DQO, los resultados fueron:

Hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
DQO mg/l	720	551	480	517	494	501	525	595	638	568	505

La carga pico se encuentra entre las 7-8 y las 14-16 hrs., seleccionando las 12:00 hrs para desechar el excedente de lodos, tener tiempo suficiente para restablecer el

proceso y soportar la carga de la tarde. Las purgas se realizaron en tres días consecutivos de la siguiente manera:

1. La cantidad de vueltas que tienen las válvulas que abren o cierran las líneas de recirculación localizadas en el fondo de las tolvas hacia el drenaje, son en total 48.
2. Las purgas se realizaron los días 26, 27 y 30 de enero. La primer purga se realizó abriendo totalmente las válvulas, es decir, a 48 vueltas, la segunda a 24 y la tercera a 12 vueltas.

El nivel que descendieron los Sedimentadores Secundarios, así como los SS en la recirculación inmediatamente después de cada purga, se reportan enseguida y se puede ver que en la primer purga se eliminó casi en su totalidad los lodos de la recirculación y una menor cantidad en las posteriores.

Sed. Sec.	26		27		30	
	Nivel (cm)	SS30	Nivel (cm)	SS30	Nivel (cm)	SS30
1	12.5	30	11.0	550	10	670
2	20.0		10		8.5	

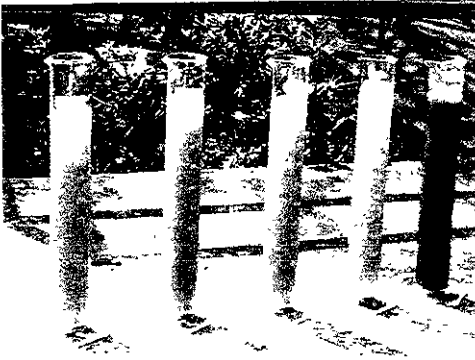
El valor promedio de los SS30' en los reactores antes de las purgas, a las 2 y 4 hrs después, muestran una gran disminución de los mismos:

día	26			27			30			
	hora	7:00	14:15	16:25	7:00	14:15	17:25	7:00	14:00	17:00
SS		580	455	352.5	480	226.3	297.5	472.5	467.5	297.5

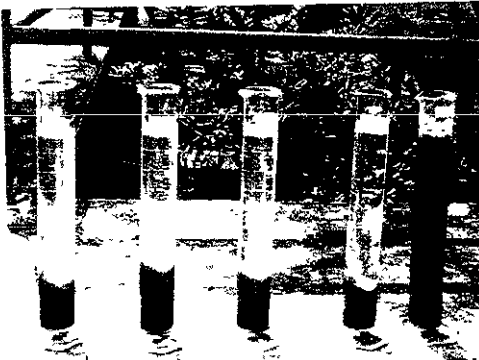
En las probetas, el lodo se ve de mejor color y más compacto y el sobrenadante es menos turbio (Fig.21).



a) Después de la 1ª purga



b) Antes de la 2ª purga



c) después de la 2ª purga

Figura 21. Características físicas de los lodos antes y después de las purgas.

Después de la primer purga, se observa una notable mejoría en cuanto a color y compactación de los lodos (a), antes de la segunda purga, el lodo muestra mejor color (b), y después de 30 min una marcada diferencia en cuanto a color y compactación, el sobrenadante es muy claro (c).

3.3. Análisis microbiológico

La tabla 12b muestra los valores de los parámetros biológicos evaluados durante esta etapa.

Tabla 12b. Análisis microbiológico Tercera Etapa.

Parámetro	D I A S (Enero - Febrero)										
	26-23	27-24	28-25	29-26	30-27	31-30	32-31	33-1	34-2	35-3	
Mes x10 ⁴	ufc/ml	184	190	164	155	209	131	126	117	98	103
Fila x 10 ³	ufc/ml	95	78	97	83	38	49	32	24	36	27
amebas	ind/ml	30	10	10	20	20	10	0	0	0	0
flagel	ind/ml	20	30	50	80	260	180	90	120	140	80
ci.li.	ind/ml	70	30	30	70	280	360	390	290	120	270
vorti	ind/ml	60	50	10	10	190	240	480	370	250	310
rotife	ind/ml	10	0	0	0	10	10	20	30	20	10
nemat	ind/ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligo.	ind/ml	10	10	20	10	0	10	0	0	0	0
quiste	ind/ml	80	50	30	30	10	10	10	10	20	10

FUENTE: Determinaciones realizadas en el C.A.T. enero - febrero de 1995

a) **Análisis microscópico.** Antes de realizar las purgas, se observaba escasa vida microbiana, un flóculo muy abierto y filamentosos. Un día después de la primera purga, el flóculo se aprecia más compacto, con menos filamento y una gran cantidad de pequeñas vorticelas, ciliados libres y flagelados; en la segunda purga, hay menos filamento y las vorticelas aumentan en tamaño y cantidad, aunque todavía se mantenían elevados los flagelados. Después de la tercer purga, hay un incremento notable en vorticelas y ciliados fijos, los ramilletes de vorticelas se aprecian muy activas y en duplicación. Los flagelados y amebas disminuyen mucho, hay incremento de rotíferos con desaparición de tardígrados.

b) **Análisis bacteriológico.** Después de las purgas se nota un ligero descenso en el valor de las mesófilas y las filamentosas disminuyen notablemente.

Al realizar la tinción de Gram para el lodo, se apreciaron tres filamentosos diferentes: el primero son largas cadenas de bacilos gram negativo. El segundo son filamentos muy delgados en el que no se apreció la tinción, ya que tiñó en azul y en rojo; y el tercero son cadenas cortas de cocos gram - negativo. La tinción realizada en la espuma de los reactores muestra grandes filamentos Gram negativo.

Cuando se sembró el lodo en agar Nutritivo, sólo se logró el crecimiento de los dos primeros a las 48 horas, purificándolos y aislándolos en tubos de ensayo con extracto de alfalfa. En este medio, uno crece como grandes masas de filamentos que se desarrollan desde el fondo del tubo, y el otro como una gran nata que flota en la superficie y que se adhiere en las paredes del mismo. Al hacer los frotis y observar al microscopio, se ven las mismas largas cadenas de bacilos y los "cabellos delgados" vistos en la muestra de lodo. Las colonias en las placas de agar, son grumosas y translúcidas y de ellas salen filamentos que se extienden por toda la placa.

Las cajas de Medio TGY se incubaron por un periodo de 23 días, apareciendo colonias nuevas perfectamente redondas, convexas y muy adheridas al agar, las cuales comenzaron a cubrirse de una especie de polvo blanco; al destapar la caja se desprende un olor a tierra mojada. En el frotis se observan filamentos semejantes a los vistos en el frotis realizado de la espuma de los reactores. Estos microorganismos se dejaron aislados para posteriores investigaciones.

Las figs. 22a y 22b muestran los protozoarios y rotíferos así como los filamentosos respectivamente, más frecuentemente observados en el examen al microscopio durante las tres etapas.

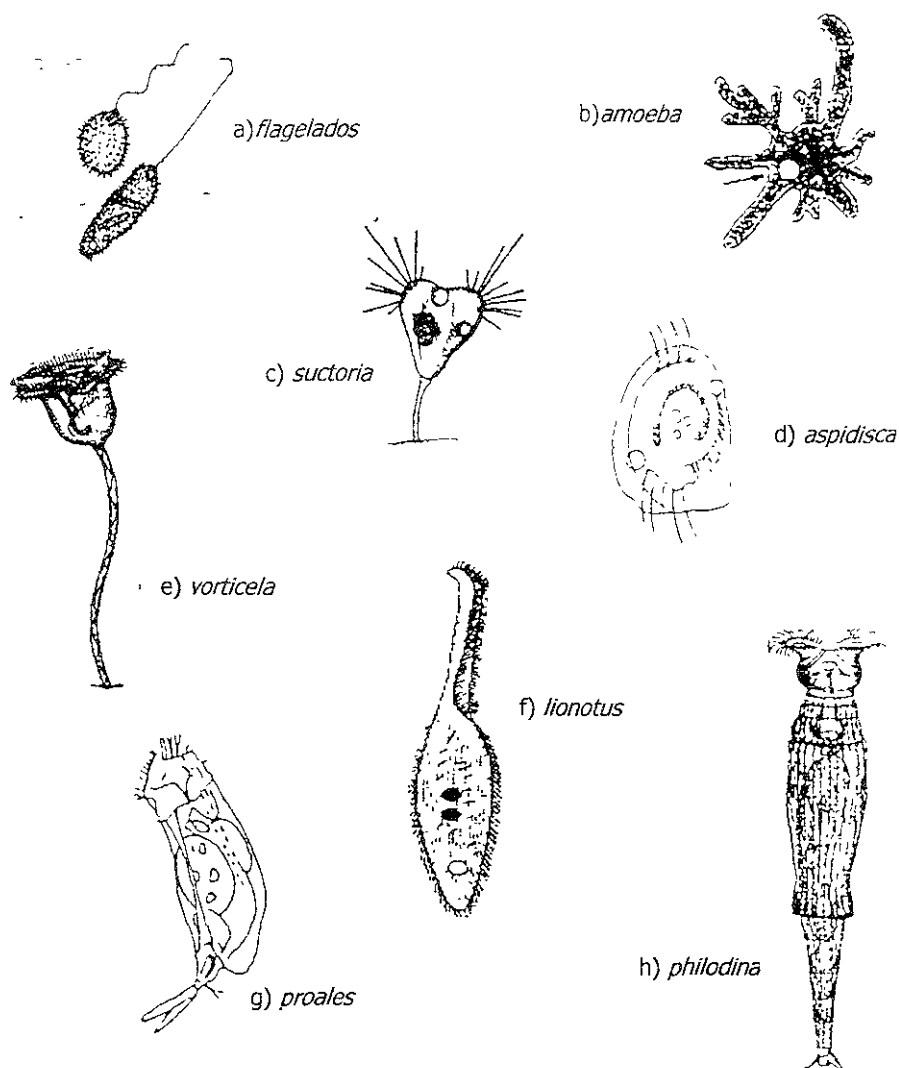


Figura 22a. Microorganismos observados al microscopio en Lodos Activados.

Al examen al microscopio, los microorganismos más frecuentes durante todo el estudio y observados a 10X fueron: **A). Protozoarios:** flagelados (a), amebas (b), cuando el proceso se encontraba en desequilibrio; ciliados libres (c)(f) inmediatamente después de las purgas, ciliados fijos (d)(e) al momento de la recuperación y, **B). Rotíferos,** predominando al inicio del proyecto y poco después de la 2ª purga.

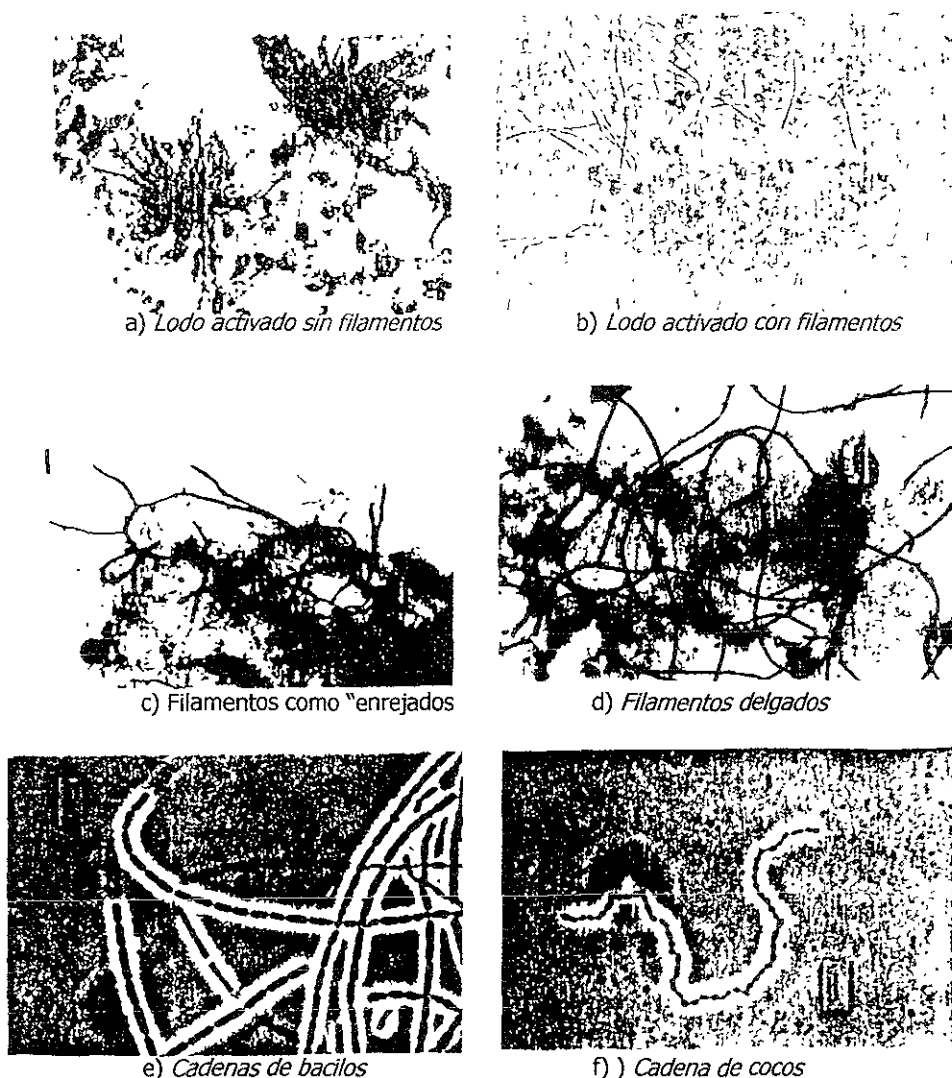


Figura 22b. Microorganismos filamentosos en los lodos y la espuma del reactor.

a) Muestra de lodo al inicio del proyecto donde se observa a 10X, compacto y con pocos filamentos. **b)** En la segunda etapa gran crecimiento de filamentos que salen de los flóculos impidiendo su compactación. Durante este crecimiento, se observaron a 40X y con tinción de Gram, filamentos delgados como cabellos (**d**), largas cadenas de bacilos (**e**), cadenas de coco como "cuentas de rosario" (**f**) y de la espuma filamentos semejantes a enrejados (**c**).

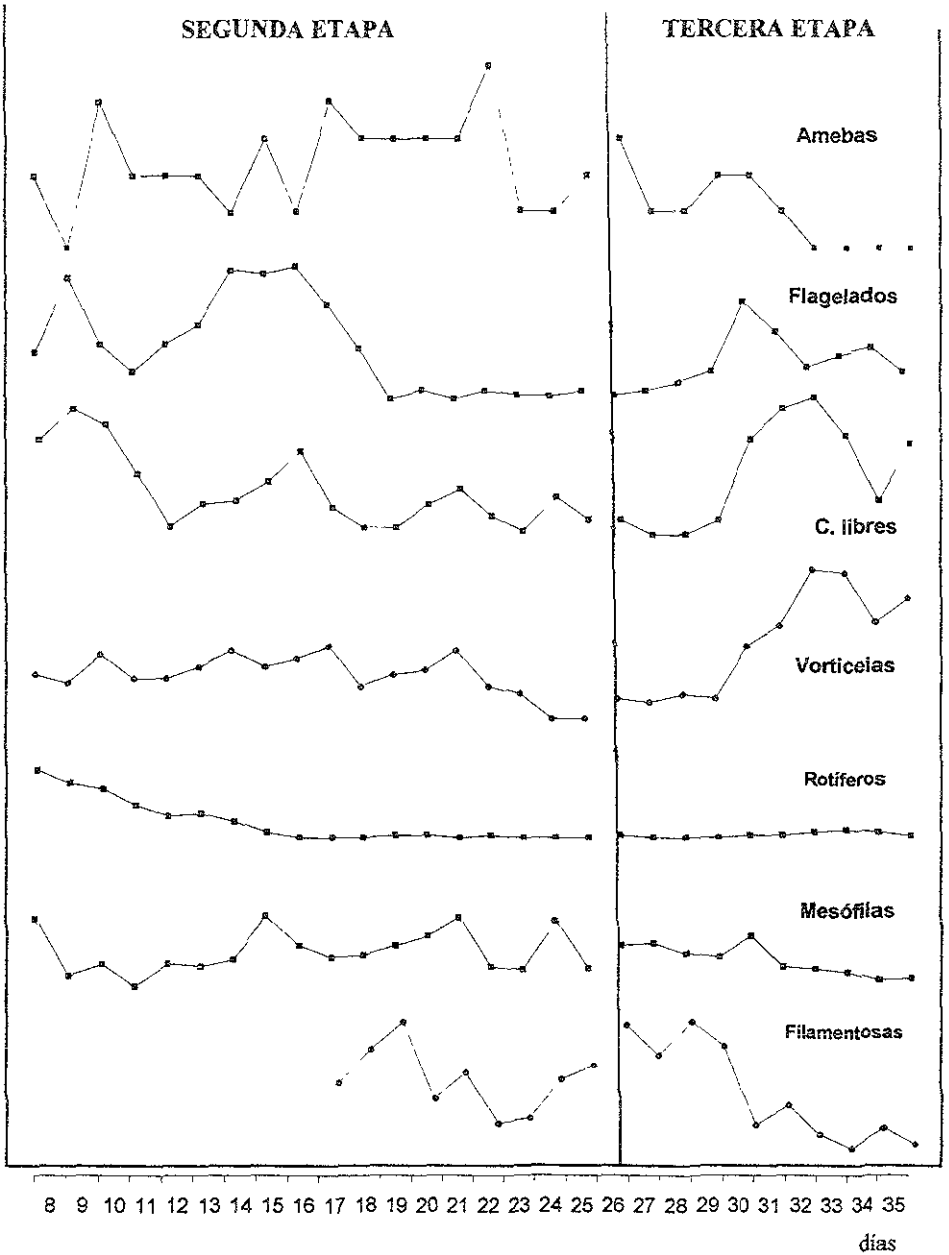
FUENTE: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Chapultepec

En las gráficas siguientes se muestra: Primero, la predominancia relativa de los diferentes protozoarios observados y las bacterias mesófilas y filamentosas (Gráfica 5). Segundo: como las vorticelas aparecen cuando el sistema se encuentra estable y los flagelados en las primeras etapas del proceso, el comportamiento de éstos dos tipos de protozoarios, las mesófilas y filamentosas, se comparó gráficamente con los parámetros de proceso (Gráfica 6) y Tercero, estos mismos microorganismos se compararon con los tres parámetros de control más usados en la Planta , IVL, relación A/M y el %Remoción (gráfica 7)

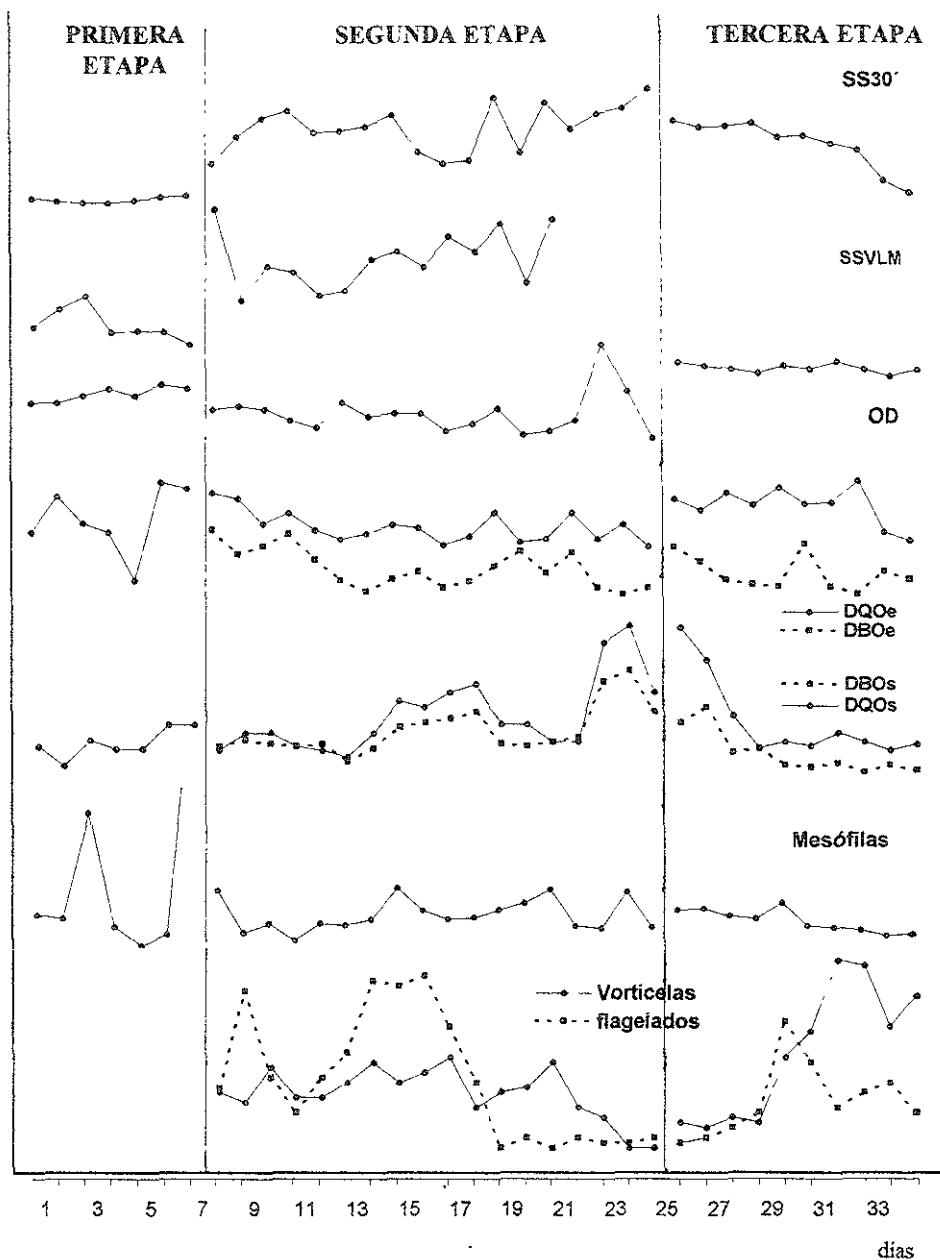
Con el objeto de tener valores de referencia de manera gráfica, se tomaron en conjunto todos los datos, desde la primera etapa hasta la tercera.

En éstas gráficas se omitieron los valores del eje y porque solo se pretende comparar la forma de la variación y no la cantidad en que varía uno con respecto del otro, lo cual requiere de un estudio más específico y de mayor duración.

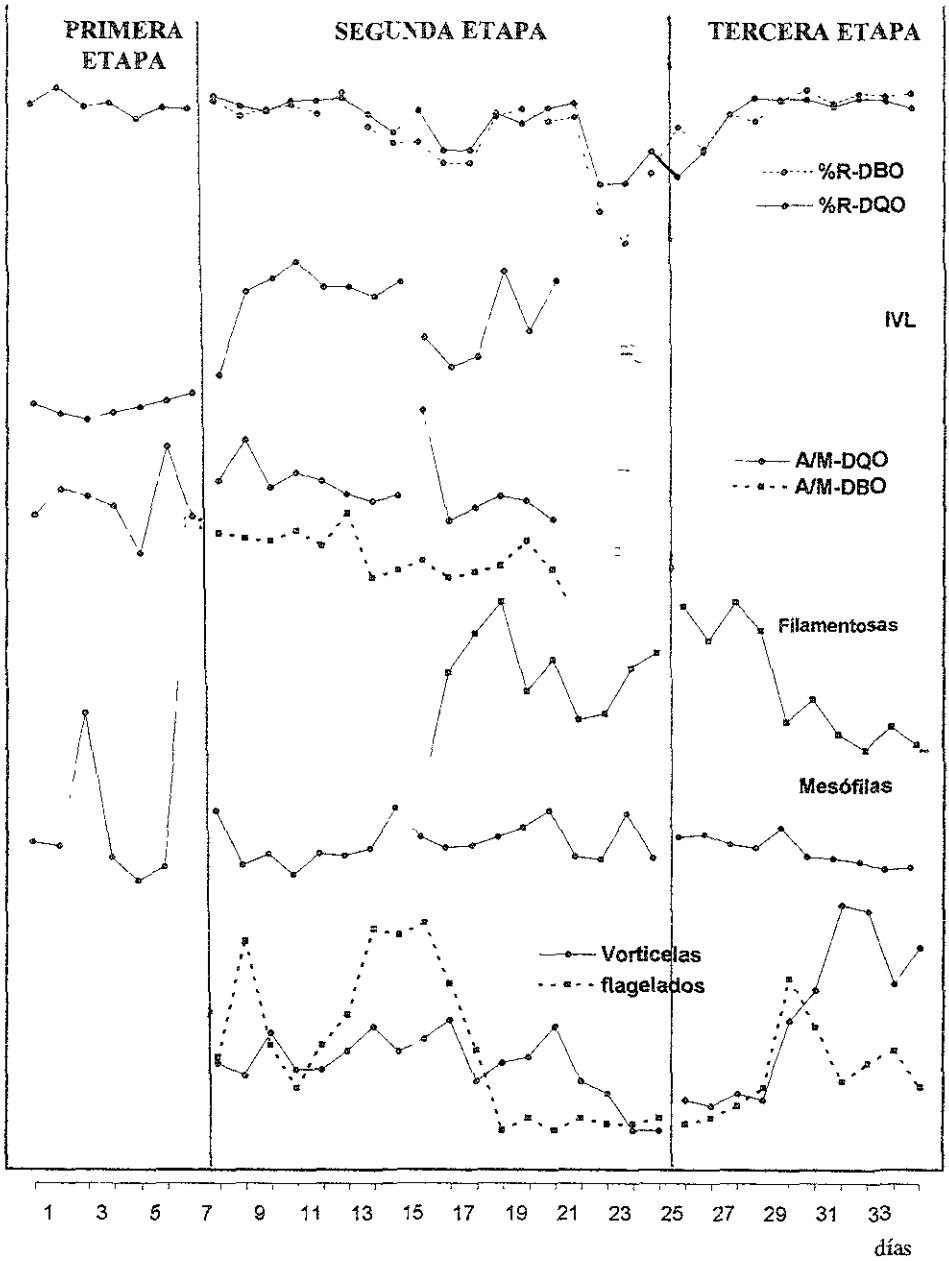
Los valores del eje x muestran los días de evaluación de manera consecutiva sólo con fines de apreciación ya esto no sucedió, puesto que entre una y otra etapa transcurrieron varios días, es por eso que las gráficas se aprecian cortadas.



Gráfica 5. Predominancia relativa de protozoarios, rotíferos y bacterias.



Gráfica 6. Relación Parámetros de proceso y microorganismos.



Gráfica 7. Relación Parámetros de control y microorganismos.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En Planta Chapultepec. los parámetros más utilizados por Operación para mantener el sistema en equilibrio son los evaluados durante la Primera Etapa, es decir, parámetros de proceso (SS30', SSVLM, OD) y parámetros de control (Relación A/M y el %Remoción, obtenidos de la DQO, y el valor del IVL).

La literatura establece para estos parámetros que un lodo floculante y con buena decantación, sus los valores de F/M deben de estar en el intervalo de $0.6 > A/M > 0.3$ (Ramalho), (Sección 3.1, fig. 10) los obtenidos se encuentran entre 0.29-0.69. En el caso de los SSVLM, se establece que para el Proceso Convencional de Lodos Activados su valor debe de fluctuar entre 1000–4000 mg/l (Fig. 6, pag. 17), los calculados fueron de 910-1000 mg/l. En el caso de OD, una concentración mínima de 2 mg/l para este tipo de proceso (Fig.6, pag 17), manteniéndose por arriba de este valor. Y en cuanto al IVL, para lodos con concentraciones de 800-3500 mg/l de SSVLM y buenas características de sedimentación, debe estar comprendido entre 35-150.

Según lo anterior y a excepción del IVL y los SS30' que comenzaban a elevarse, el proceso debería de haberse mantenido en equilibrio puesto que no existía una razón "aparente" para el descontrol que sucedió en la Segunda Etapa.

El único parámetro microbiológico evaluado durante esta etapa, fueron las mesófilas, en las que se observa un alto incremento en el último día de evaluación, lo que sugería disminución en la cantidad de protozoarios, puesto que son consumidores de ellas. Relacionando esto con los parámetros de proceso, coincide

con el incremento de los SS30', de la DQO en el efluente, y uno de los valores más bajos de SSVLM; con los parámetros de control, el valor más alto de A/M y de IVL (*Gráficas 6 y 7*). Esto quiere decir que el alto valor de las mesófilas estaba indicando alteración en la dinámica de población que condujo al desequilibrio del proceso y que no pudo ser detectada por los parámetros anteriores.

Durante la Segunda Etapa el valor de la A/M calculada con DQO se encontraba aún dentro de los límites establecidos. Los análisis fisicoquímicos no daban respuesta a la disminución de la eficiencia y la alteración de los demás parámetros, mismos que incrementan notablemente.

Al evaluar parámetros relacionados con el balance de nutrientes determinados por la prueba de DBO₅, la cantidad de nitrógeno en sus diferentes formas (Orgánico, amoniacal y nitratos) y el conteo de protozoarios y bacterias, se encontró:

a) Baja concentración de nutrientes orgánicos. (*Gráfica 6*) y como consecuencia, bajos valores de la relación A/M, encontrándose en el rango de 0.19-0.45 (*Gráfica 7*), valores asociados a lodo con pobre decantación, debido a alimento insuficiente en donde los microorganismos se ven obligados a vivir en la fase de respiración endógena (*Fig. 10, pag. 26*).

b) Los valores determinados de nitratos en el efluente que indicaban bajo contenido de OD en el Secundario permitiendo que el sistema entrara en desnitrificación y comprobándolo porque el lodo flotaba después del tiempo de sedimentación en las probetas. (Sección 2.5.1).

c) Las predominancias relativas de protozoarios (*gráfica 8*) muestran que el desequilibrio se debió a alteraciones en la dinámica de población. Al inicio de esta etapa, predominaban rotíferos y nemátodos, organismos pluricelulares que indican largos tiempos de retención y asociados a flóculos pequeños (a ellos quizá se debe el incremento de SSVLM); para luego aparecer flagelados y amebas, asociados a flóculos dispersos y que indican baja oxigenación y exceso de carga orgánica para, finalmente, casi desaparecer. Los valores más bajos de protozoarios coinciden con la disminución de la calidad del efluente. Lodos activados que carecen de protozoos, obtienen efluentes de menor calidad (*Varma Man M 1975*).

d) Los valores altos de mesófilas coincide con los valores más alto de SS30' y los más bajos de OD y de %Remoción

e) Gran cantidad de microorganismos filamentosos relacionados a concentración de OD por debajo de 1 mg/l; relación A/M y cargas orgánicas muy bajas; IVL: arriba de 400 ml/l; deficiencia de nutrientes en el afluente.

f) Por último, la presencia de espuma sobre los reactores que está asociada a largos tiempos de retención, baja relación F/M, altos valores de SSLM, y valores extremos de oxígeno (Sección 2.4.2.5)

Lo anterior permite deducir que la Planta estaba operando con bajos niveles de oxígeno, baja carga orgánica, altos valores de SSV, baja relación F/M, y altos tiempos de retención, y por consiguiente, con una dinámica de población hasta microorganismos pluricelulares. Situación totalmente contraria a lo que reflejaban los parámetros fisicoquímicos.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

Esto requería del desecho de los lodos del Sedimentador Secundario, los cuales se encontraban en desnitrificación, con el fin de reducir la cantidad de sólidos en el sistema, evitar la entrada de los mismos al reactor y activar nuevamente la dinámica de población.

Las purgas se llevaron a cabo realizando únicamente el examen al microscopio antes de cualquier movimiento de operación y siguiendo solamente el conteo de los protozoarios, principalmente de las vorticelas, logrando apreciar que los ciliados realmente, son una medida de la actividad bacteriana; y ya que la actividad de las bacterias refleja la condición bioquímica del sistema, los ciliados reflejan la eficiencia con considerable precisión (*Gráfica 7 Tercera Etapa*).

Resultó sorprendente ver como el sistema respondió inmediatamente a la primera purga, activándose la dinámica de población y logrando aparecer de nuevo los protozoarios, principalmente ciliados libres y vorticelas (*Gráfica 8*), microorganismos asociados con buenas características de sedimentación (*Fig. 9, pag. 23*).

Al desechar los lodos del Secundario, se eliminó lodo en desnitrificación de mala calidad modificando la dinámica de población, ocasionando que se lograra:

1. Mejoría en la apariencia física del lodo, más compacto y de mejor color.
2. Incremento de vorticelas con el incremento de OD (*gráfica 6*).
3. Disminución de mesófilas y filamentosas con el incremento de vorticelas (*gráfica 5*)
4. Disminución de la DQO y DBO en el efluente. (*Gráfica 6*)
5. Incremento de la eficiencia (*gráfica 7*)
6. Mejoría notable en la velocidad de sedimentación y disminución de los SS30'.

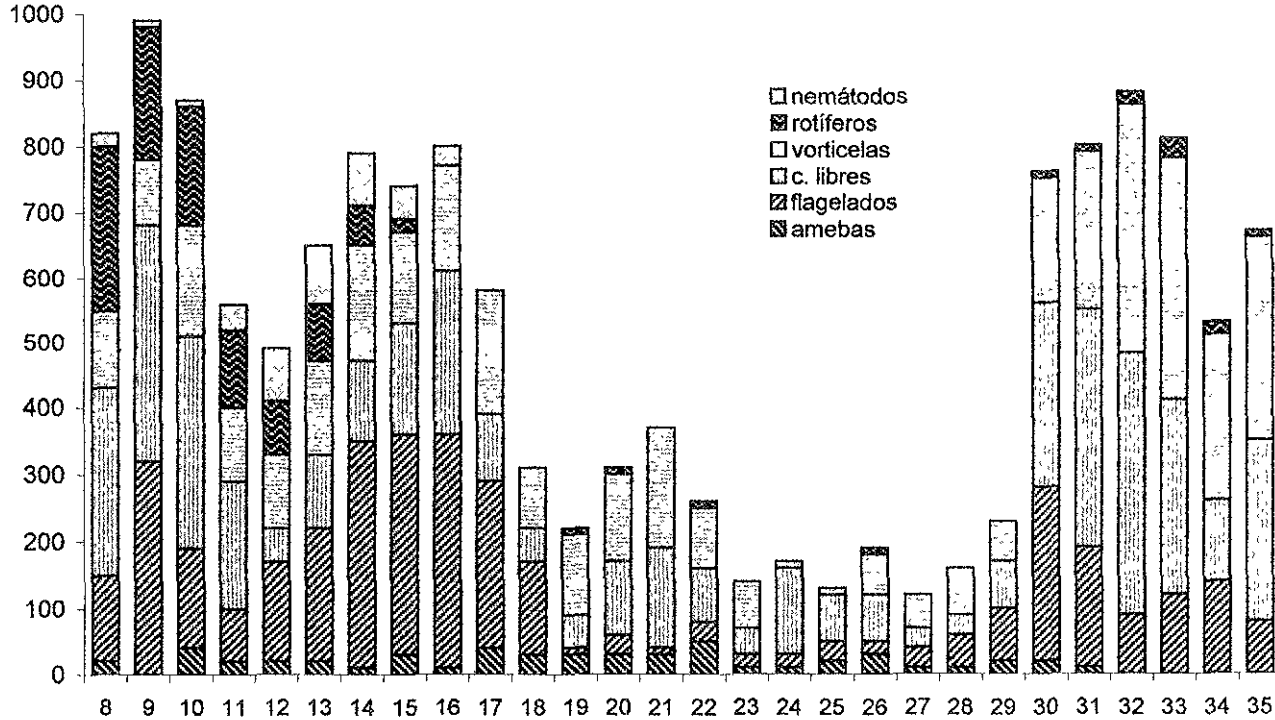
Es probable que el desequilibrio del proceso se haya debido a malos movimientos de operación ocasionados por:

1. Mala interpretación de los valores de A/M calculados con DQO los cuales eran elevados, interpretándolos como "exceso de alimento en el influente" (Sección 2.4.1), ocasionando con ello que aumentaran las tasas de recirculación para retener lodos, y sea esta la causa de los valores bajos, tanto de SSV como de $SS30'$ en las líneas de recirculación, que se encuentran al inicio del estudio.

2. Al aumentar las tasas de recirculación, se incrementó el tiempo de retención celular, permitiendo que la dinámica de población continuara hasta microorganismos más complejos, incapaces de biodegradar la materia orgánica como lo hacen las bacterias. (Sección 2.3.3).

Tomando como referencia la gráfica 8, se puede apreciar que el predominio de los protozoarios, e indirectamente de bacterias, es muy sensible a los movimientos de operación, si no se tiene conocimiento de ésta dinámica se pueden tomar decisiones erróneas que la modifiquen a tal grado llegando a causar el desequilibrio del proceso. Ahora bien, si se quiere operar el proceso basándose solamente en los análisis físico-químicos que se reporten en el menor tiempo posible y que permitan tomar las medidas de operación correctas, primero se debe de establecer la relación que guardan éstos con los valores de los parámetros biológicos.

Predominancia relativa de protozoarios
Gráfica 8



Una de las relaciones que se pueden establecer es con los protozoarios que aparecen cuando el sistema está estable, es decir, vorticelas, y tratar de encontrar su relación o dependencia con los valores de SSVLM y determinar la calidad del lodo, con los valores de DBO puesto que el análisis consume varios días de prueba y con los datos de DQO para correlacionar el material biodegradable. De ésta manera, se podría predecir el valor de cualquiera de ellas que permitiera tomar las medidas de operación idóneas en el menor tiempo posible.

Como las cuatro variables son aleatorias y no obedecen a un valor fijo, se puede establecer entre ellas, Correlación Múltiple. Bajo este modelo, ya no se piensa en las variables como si fueran independientes o dependientes, sino que son intercambiables y cualquiera de las X_j puede desempeñar el papel de Y .³⁶

Para tener mayor certeza del grado de correlación entre éstas variables, se realizaron dos correlaciones por separado: La primera durante la Segunda Etapa en la cual el proceso se encontraba en desequilibrio; y la segunda en la tercera etapa, en donde se obtuvo cierta mejoría en cuanto a la presencia de vorticelas.

Dado que los valores de SSVLM para la tercera etapa no lograron determinarse, la correlación múltiple sólo se obtuvo entre DBO / DQO / Vorticelas, considerando la DBO como la Y por ser la determinación que más tiempo se tarda en obtener sus valores, las vorticelas como X_1 y la DQO como X_2 .

³⁶ Wayne W Daniel *Bioestadística* P. 272

El modelo de correlación múltiple puede escribirse como:

$$Y_j = \beta_0 + \beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots + \beta_k X_{kj} + e_j \quad \text{Ec. 1}$$

Los β_1 y β_2 son los coeficientes de correlación parcial que se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} b_1 \sum x'_{1j}{}^2 + b_2 \sum x'_{1j} x'_{2j} &= \sum x'_{1j} y'_j \\ b_1 \sum x'_{1j} x'_{2j} + b_2 \sum x'_{2j}{}^2 &= \sum x'_{2j} y'_j \end{aligned} \right\} \quad \text{Ec. 2}$$

β_0 representa el punto donde el plano corta al eje Y , es decir, representa la ordenada al origen y se calcula como:

$$b_0 = y - b_1 x_1 - b_2 x_2 \quad \text{Ec. 3}$$

Las tablas 13 y 14 del anexo, contienen las sumas de cuadrados y los productos cruzados de los valores originales, necesarios para calcular las sumas de cuadrados y productos cruzados de: $x'_{1j}{}^2$, x'_{2j} y y'_j , para las dos etapas.

Usando los datos de la tabla 13, las diversas sumas, sumas de cuadrados y suma de productos cruzados de la Segunda Etapa, son las siguientes:

	y	x ₁	x ₂	x ₁ ²	x ₂ ²	y ²	x ₁ x ₂	x ₁ y	x ₂ y
Σ	1628	1940	2351	282600	400785	197972	321250	220850	278274
μ	116	139	168						

Con estos datos se calcula:

$$\sum x'_{1j}{}^2 = \sum (x_{1j} - x_1)^2 = \sum x_{1j}{}^2 - (\sum x_{1j})^2/n = 282600 - (1940)^2/14 = 1377143$$

$$\sum x'_{2j}{}^2 = \sum (x_{2j} - x_2)^2 = \sum x_{2j}{}^2 - (\sum x_{2j})^2/n = 400785 - (2351)^2/14 = 5984.93$$

$$\sum x'_{1j} x'_{2j} = \sum (x_{1j} - x_1) (x_{2j} - x_2) = \sum x_{1j} x_{2j} - \sum x_{1j} \sum x_{2j} / n$$

$$= 321250 - (1940)(2351)/14 = -4531.43$$

$$\begin{aligned}\Sigma x'_{1j} Y'_j &= \Sigma(x_{1j} - x_1)(y_j - y) = \Sigma x_{1j} y_j - \Sigma x_{1j} \Sigma y_j / n \\ &= 220850 - (1940)(1628)/14 = -4744.29\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma x'_{2j} Y'_j &= \Sigma(x_{2j} - x_2)(y_j - y) = \Sigma x_{2j} y_j - \Sigma x_{2j} \Sigma y_j / n \\ &= 278274 - (2351)(1628)/14 = 4886.29\end{aligned}$$

Sustituyendo estos datos en la ecuación 2 se tiene.

$$1377143b_1 + (-4531.43)b_2 = -4744.29$$

$$-4531.43b_1 + 5948.93b_2 = 4886.29$$

La solución simultánea de estas ecuaciones da:

$$\begin{aligned}b_1 &= -0.87 \\ b_2 &= 0.057\end{aligned}$$

Sustituyendo los valores apropiados en la Ec. 3, se obtiene:

$$b_0 = 116 - (-0.87)(139) - (0.057)(168) = 227.35$$

Entonces, la ecuación de mínimos cuadrados es:

$$Y_j = 227.35 - 0.87X_1 + 0.057X_2$$

Misma que puede usarse con fines de estimación y predicción

Para medir la correlación entre las variables, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple, el cual, es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación

$$\text{Coeficiente de determinación múltiple } R^2_{y,12..k} = \frac{SC_{\text{explicada}}}{SC_{\text{total}}}$$

$$\text{Coeficiente de correlación múltiple } R_{y,12..k} = R^2_{y,12..k}$$

La suma total y explicada de cuadrados se calculó como sigue:

$$SC_{\text{total}} = \Sigma(y_j - y)^2 = \Sigma y_j^2 - (\Sigma y_j)^2 / n = 197972 - (1628)^2 / 14 = 8658.86$$

$$SC_{\text{explicada}} = b_1 \Sigma x'_{1j} Y'_j + b_2 \Sigma x'_{2j} Y'_j = (-0.87)(220850) + (0.057)(278274) = 691.271$$

Los valores de los coeficientes de determinación y correlación fueron:

$$\begin{array}{rcl} R^2 & = & 0.07983 \\ R & = & \mathbf{0.28255} \end{array}$$

Siguiendo el mismo procedimiento, se obtuvieron los mismos valores para la Tercera etapa y se muestran de manera comparativa en la siguiente tabla.

	Segunda Etapa	Tercera Etapa
ΣY_j^2	= 8658.86	35665.43
$\Sigma x'_{1j}^2$	= 13771.43	268171.43
$\Sigma x'_{2j}^2$	= 5984.93	113152.86
$\Sigma x'_{1j} x'_{2j}$	= -4531.43	106645.71
$\Sigma x'_{1j} Y_j$	= -4744.29	48241.43
$\Sigma x'_{2j} Y_j$	= 4886.29	56804.71
b_1	= -0.87	-0.03
b_2	= 0.057	0.53
b_0	= 227.35	13.66

Las ecuaciones de correlación múltiple fueron:

$$Y_j = 227.35 - 0.87X_1 + 0.057X_2$$

$$Y_j = 13.66 - 0.037X_1 + 0.53X_2$$

Los coeficientes de correlación múltiple obtenidos fueron:

SC _{expl.}	=	691.271	28659.3
SC _{totsl}	=	8658.86	35665.4
R^2	=	0.07983	0.80356
R	=	0.28255	0.89641

Comparando los resultados de las dos etapas, se puede ver que los coeficientes de correlación y regresión múltiple obtenidos varían mucho, logrando un

gran incremento en el valor del de la tercera etapa en donde el proceso tendía a la estabilidad, indicando con ello que sí existe una correlación entre éstas variables.

Para finalizar, cuando un proceso de este tipo se quiere controlar midiendo únicamente parámetros de carácter físico y químico se olvida que la naturaleza del Proceso de Lodos Activados es de carácter biológico, y que éstos parámetros pueden conducir a tener una imagen deformada del mismo porque.

a) El proceso que se está operando es de tipo aerobio. A medida que se incrementa la cantidad de desechos a estabilizar, la demanda de oxígeno también. Si el suministro no se mantiene al mismo paso que la demanda, se propiciará la aparición de condiciones anaeróbicas. Una deficiencia de oxígeno ocasionará que los microorganismos tomen el oxígeno de una fuente alterna como los nitratos.

b) Los SSVLM se usan como una indicación de la concentración microbiana, su valor indica la cantidad de materia orgánica presente, pero no establece distinción entre el material bioquímicamente activo y el material inerte presente en los lodos.

c) Los valores de la demanda de oxígeno químicamente determinados en la DQO, no toman en cuenta las propiedades degradables del contenido orgánico.

d) La relación A/M calculada con los dos anteriores parámetros, puede reflejar una imagen deformada del sistema si no se toman en cuenta la calidad del lodo y la cantidad de materia orgánica degradable presente.

e) Los SS 30' no sólo miden la velocidad de sedimentación de los lodos, también permiten observar sus características físicas, mismas que reflejan, de una manera indirecta, la dinámica de población a la cual está operando el sistema.

CONCLUSIONES

El Proceso de lodos activados es un gran cultivo al que hay que mantener en condiciones dinámicas y en equilibrio con los nutrientes suministrados por el agua residual de entrada.

Realizar el análisis microscópico de los lodos en una forma rutinaria, es una valiosa herramienta para apoyar la toma de decisiones en la operación de la Planta, pues la comunidad de los lodos es sensible a cambios en las condiciones del sistema como, descargas tóxicas o cargas hidráulicas, y por esa misma razón, tienen alta capacidad de respuesta ante cambios intencionales dados por control operacional.

El tiempo de retención parece ser un factor fundamental para la estabilización del sistema, ya que los organismos responsables de la degradación de la materia orgánica, deben de mantenerse en un estado en el cual puedan ser capaces de crecer logarítmicamente, por lo que se debe evitar que las poblaciones alcancen su máximo de crecimiento. La tasa de desechos de lodos, es el parámetro clave para lo anterior, ya que determina cuán “activos” son los lodos.

RECOMENDACIONES:

1. Para poder operar un proceso con estas características, siguiendo parámetros fisicoquímicos que se reporten en el menor tiempo posible, primero se deben de establecer las relaciones que existen entre éstos y los parámetros de carácter biológico.

2. Dado que el proceso está sujeto a condiciones ambientales, entre las que destacan la época de estiaje y pluvial es preciso que al menos, durante un año, se evalúen los parámetros de DBO, DQO, SSVLM y el conteo de protozoarios, sobre todo, vorticelas para identificar el cambio de época
3. Una vez identificadas estos dos puntos y en condiciones estables del proceso, establecer las correlaciones entre las cuatro variables por el método de correlación múltiple propuesto.
4. Con la ecuación de correlación múltiple calcular los valores de DBO, y con ellos, obtener el valor de A/M lo más cercano posible a la realidad, que permita tomar decisiones de operación más correctas.
5. De la misma forma se debe de establecer correlación entre el valor de mesófilas, protozoarios y SSVLM para encontrar el valor óptimo y la mejor calidad de éstos que permitan la mayor remoción.
6. Se requiere de mayores investigaciones que permitan identificar el tipo de microorganismos filamentosos que ocasionan el abultamiento en esta Planta, así como las condiciones que favorecen su desarrollo.
7. Para obtener resultados confiables en cuanto a los movimientos de operación, es necesario que éstos se lleven acorde con las recomendaciones indicadas por el Laboratorio de Control.
8. El desecho de lodos debe realizarse a las 12:00 AM ó a las 17:00 PM donde existe menor carga orgánica.

ANEXOS

Tabla 13. Sumas de cuadrados y productos cruzados. Segunda Etapa

días	y	x ₁	x ₂	x ₁ ²	x ₂ ²	y ²	x ₁ x ₂	x ₁ y	x ₂ y
22	163	120	212	14400	44944	26569	25440	19560	34556
23	130	100	204	10000	41616	16900	20400	13000	26520
24	141	170	170	28900	28900	19881	28900	23970	23970
25	157	110	185	12100	34225	24649	20350	17270	29045
28	123	110	162	12100	26244	15129	17820	13530	19926
29	96	140	150	19600	22500	9216	21000	13440	14400
30	81	180	157	32400	24649	6561	28260	14580	12717
2	97	140	169	19600	28561	9409	23660	13580	16393
5	107	160	165	25600	27225	11449	26400	17120	17655
7	86	190	142	36100	20164	7396	26980	16340	12212
9	94	90	154	8100	23716	8836	13860	8460	14476
16	114	120	185	14400	34225	12996	22200	13680	21090
19	134	130	146	16900	21316	17956	18980	17420	19564
21	105	180	150	32400	22500	11025	27000	18900	15750
Σ	1628	1940	2351	282600	400785	197972	321250	220850	278274
μ	116	139	168						

Tabla 14. Sumas de cuadrados y productos cruzados. Tercera Etapa

días	y	x ₁	x ₂	x ₁ ²	x ₂ ²	y ²	x ₁ x ₂	x ₁ y	x ₂ y
23	139	60	203	3600	41209	19321	12180	8340	28217
24	120	50	188	2500	35344	14400	9400	6000	22560
25	95	70	210	4900	44100	9025	14700	6650	19950
26	90	60	195	3600	38025	8100	11700	5400	17550
27	87	190	218	36100	47524	7569	41420	16530	18966
30	143	240	196	57600	38416	20449	47040	34320	28028
31	87	380	198	144400	39204	7569	75240	33060	17226
1	77	370	227	136900	51529	5929	83990	28490	17479
2	107	250	159	62500	25281	11449	39750	26750	17013
3	97	310	148	96100	21904	9409	45880	30070	14356
Σ	1042	1980	1942	548200	382536	113220	381300	195610	201345
μ	104	198	194						

GLOSARIO DE TERMINOS

- **Abultamiento de lodos:** Fenómeno que ocurre en las plantas de lodos activados, por el cual el lodo ocupa un volumen excesivo y no se sedimentan o concentran fácilmente.
- **Carga:** Energía por unidad de peso de un líquido, en un punto especificado. Se expresa en pies, o en metros.
- **Cloración:** Aplicación del cloro.
- **Cloro residual:** Concentración de cloro, (en mg/l) presente en las aguas tratadas
- **Colector de natas:** Dispositivo mecánico para recolectar la espuma y la nata de la superficie de los tanques de sedimentación.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Cantidad de oxígeno requerida para la descomposición biológica de los sólidos orgánicos disueltos, en condiciones anaerobias y en un tiempo y a una temperatura determinada.
- **Demanda Química de Oxígeno.** Digestión química de la muestra con un agente oxidante como el dicromato de potasio.
- **Desnitrificación:** Disminución de los nitratos en solución por acción bioquímica.
- **Difusores:** Placas porosas o tubos perforados a través de los cuales el aire es forzado y dividido en pequeñas burbujas para su difusión en líquidos. Ordinariamente están hechos de carburundum, alundum o arena de sílice,
- **Eficiencia o rendimiento:** Relación entre la capacidad real del aparato y su capacidad teórica total, usualmente se expresa en porcentajes.
- **Efluente:** agua renovada. Líquido saliente del proceso de activación del lodo.
- **Estabilidad:** Propiedad de cualquier sustancia contenida en las aguas negras, en el efluente o en los lodos digeridos, que impide la putrefacción.
- **Flóculo:** cúmulos de varios millones de células bacterianas, junto con algunos otros organismos y materia inerte, orgánicas e inorgánicas.
- **Grasa:** En aguas negras, el término grasa incluye a las grasas propiamente dichas, ceras, ácidos grasos libres, jabones de calcio y magnesio, aceites minerales y otros materiales no grasosos.
- **Índice Volumétrico del lodo:** Volumen en mililitros ocupado por 1g de sólidos en suspensión del licro mezclado (SSVLM) expresado en peso seco, después de sedimentar 30 minutos en una probeta graduada de 1000 ml.
- **Influyente:** Agua residual u otro líquido parcialmente crudo o parcialmente tratado, en litros por segundo, que llega a la Planta.

- **Licor mezclado:** Mezcla de lodos activados y aguas negras en el tanque de aireación, durante el tratamiento de lodos activados
- **Lodo activado:** Lodo floculento producido en las aguas negras crudas o sedimentadas, por el desarrollo de la zooglea bacteriana y otros organismos, en presencia suficiente para recircular el floculo previamente formado.
- **Nata:** Una masa de material de las aguas negras que flota en su superficie.
- **Nitrificación:** La oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos por medios bioquímicos.
- **Parámetro:** Constante de valor indeterminado.
- **Purga:** Caudal de lodos eliminados del sistema
- **Recirculación:** Lodos colectados en los Sedimentadores y que se regresan al reactor biológico
- **Relación Alimento/Microorganismo:** Relación que guarda la carga orgánica con la cantidad de lodos en la etapa de aireación, se expresa de la siguiente manera:

$$A/M = B \times Q / C \times D.$$

Donde: B = DBO del agua de entrada, mg/l; C = Sólidos suspendidos en el aereador, mg/l; D = volumen del tanque de aireación, m³ y Q = flujo en m³/día.
- **Sedimentación:** Proceso de asentar y depositar la materia suspendida que *arrastra el agua, las aguas negras u otros líquidos por gravedad. Esto se logra usualmente disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte de material suspendido. También se llama asentamiento.*
- **Sólidos:** Material en el estado sólido.
- **Tanque:** Un recipiente rectangular o circular.
- **Tratamiento:** Cualquier proceso definido para modificar la condición de la materia.
- **Tiempo de residencia de los lodos:** Cantidad total de sólidos en los lodos del sistema, dividida por la tasa de pérdida de los lodos del sistema.
- **Tiempo de retención:** tiempo de contacto entre los lodos y las aguas residuales.
- **Velocidad de sedimentación por zonas.** Velocidad que presentan los lodos al empezar su compactación.
- **Vertedero:** Una represa con una arista o escotadura, que a veces se instala para medir el gasto de los líquidos.

REFERENCIAS HEMEROGRÁFICAS

1. ANDREADAKIS ANDREAS D., (1993), *Physical and Chemical properties of activated sludge floc*. Wat. Res. 27, (12), 1707-1714
2. BLACKALL LINDA L., PARLETT J.H., HAYWARD A. C., MINNIKIN D. E., GREENFIELD P.F. AND HARBERS ANNE E., (1989), *Nocardia pinensis sp. nov., an Actinomycete found in Activated Sludge foams in Australia*. Journal of General Microbiology. 135, 1547-1558.
3. BLACKALL LINDA L., VALTER TANDOI, DAVID JENKINS, (1991), *Continuous culture studies with Nocardia amarae from activated sludge and their implications for Nocardia foaming control*. Research Jour. Water Poll. Control Fed., 63(1), 44-49.
4. CASSON LEONARD W. SORBER CHARLES A SYKORA JAN L., GAVAGHAN PATRICK, SHAPIRO MAURICE A., JAKUBOWSKI WALTER, (1990), *Guardia in wastewater-effect of treatment*. Research Jour. Water Poll Control Fed., 62(5), 670-675.
5. CHIN CARL, HICKS GRANT AND GEISLER CHARLES A., (1973), *Bio-oxygen stabilization using hydrogen peroxide*. Jour. Water Poll Control Fed., 45(2), 283-291.
6. COLE CHARLES A., STAMBERG JOHN B. AND BISHOP DOLLOFF F., (1973), *Hydrogen peroxide cures filamentous growth in activated sludge*. Jour. Water Poll. Control Fed., 42(5), 829-836.
7. DHALI WAL BHUPINDER S., (1979), *Nocardia amarae and activated sludge foaming*. Jour Water Poll. Control Fed., 51(2), 344-350
8. ESPINOSA VALDEMAR ROSA MA., GUTIERREZ CASTREJON TEODORO Y LOPEZ MERCADO VICENTE, (1984), *Efecto de los Detergentes en la población bacteriana de un sistema de lodos activados*. IV Congreso de Ingeniería Sanitaria. Artículo 3.
9. FAHMY GEORGE T., AND HAO OLIVER J., (1990), *Characterization of Activated Sludge Foams from Two Plants*. Journal of Environmental Engineering, 116(5), 991-997
10. GALIL NOAH, STAHL NATHAN. NOVAK JHON T. REBHUN MENAHEM, (1991), *The influence of mixing on the physical characteristics of biological flocs*. Research Jour Water Poll. Control Fed., 63(5), 768-772.
11. GARCIA LARA JORGE, MARTINEZ JOSEFINA, VILAMÚ MERCÉ AND VIVES REGO JOSÉ, (1993), *Effect of previous conditions on the starvation-survival of Escherichia coli in seawater*. Journal of General Microbiology, 139, 1425-1431.
12. GRAU P., P.M. SUTTON, S ELMALEH, C.P. GRADY AND J.KOLLER, (1983), *Recommended notation for use in the description of biological wastewater treatment processes*. Pure and Appl. Chem., 55(6), 1035-1040.

13. JACOBSEN Bo. N., NIELS NYHOLM, BODIL M. PEDERSEN, OLE POULSEN and PREBEN OSTFELDT. (1993) *Removal of organic micropollutants in laboratory activated sludge reactor under various operating conditions: sorption*. Was. Res., **27**(10), 1505 - 1510
14. LAU ANTONIO O., STROM PETER F. AND JENKINS DAVID. *Growth kinetics of Sphaerotilus natans and a floc former in pure and dual continuo culture*. Jour. Water Poll. Control Fed., **56**, (1), 41-51.
15. LECHEVALLIER MARK W. AND NORTON WILLIAM D., (1992), *Examining Relationships Between Particle Counts and Giardia, cryptosporidium, and turbidity*. Journal American Water Works Association **84**, 54-60.
16. LI DAHONG, JERZY GANCZARZYK, (1991), *Size distribution of activated sludge flocs*. Research Jour. Water Poll. Control Fed., **63**(5), 806-814.
17. MADONI PAOLO, DAVOLI DONATELLA AND CHIERICI EMANUELA, (1993), *Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works*. Wat. Res. **27** (9), 1485-1491
18. MCKINNEY, R.E. y GRAM, A. (1956). *Protozoa and Activated Sludge*. Sew. Ind. Wastes. **28** (10), 1219-1231.
19. NIETO JUAN MANUEL, (1986) *Sistema de Tratamiento de Aguas residuales mediante el proceso de aireación a contracorriente*. IV Congreso de Ingeniería Sanitaria Artículo 3. Querétaro, Qro. 1986
20. PIPES WESLEY O., (1978), *Actinomycete scum production in activated sludge processes*. Jour. Water Poll. Control Fed., 628-634.
21. RICO MARTINEZ M., SANCHEZ CRUZ M A., *Teoría de biodesalación y bioabsorción aplicada a métodos biológicos de tratamiento de aguas*. IV Congreso de Ingeniería Sanitaria. Artículo 4. Querétaro, Qro. 1986
22. RICO MARTÍNEZ M., SANCHEZ CRUZ M.A. IDIAQUEZ G.G., *Variación microbiológica de verduras regadas con agua de reuso y un ensayo para su normalización*. IV Congreso de Ingeniería Sanitaria. Artículo 5. Querétaro Qro. 1986.
23. SALAMEH M.F., J.F. MALINA, JR., (1989), *The effects of sludge and selector configuration on the control of filamentous bulking in the activated sludge process*. Jour. Water Poll Control Fed., **61**(9), 1510-1522.
24. SAMBANIS A. AND A.G FREDRICKSON, (1987), *Long-term studies of Ciliate-Bacterial interactions: use of chemostat fed with bacteria grown in a separate chemostat*. Journal of General Microbiology, **133**, 1619-1630

- 25 SILVERSTEIN JOANN, RICHARD O MINES, JOSEPH H. SHERRARD, A SCOTT WEBER, MICHAEL D. AITKEN, (1990), *Activated sludge*. Research Journal W.P.C.F., **62**(4), 398-406.
- 26 STROM PETER F, JENKINS DAVID, (1984), *Identification and significance of filamentous microorganism in activated sludge*. Jour Water Poll Control Fed., **56**(5), 449-459.
27. SURAMPALLI RAO, Y SHANKHA, K. BANERJI AND J.C. CHEN, (1993), *Microbiological Stabilization of Sludge by Aerobic Digestion and Storage*. Journal of Environmental Engineering. **119**(3), 493-505.
28. SYKES ROBERT M , (1973), *Identification of the limiting nutrient and specific growth rate*. Jour Water Poll. Control Fed., **45** (5), 888-895.
29. TETREAULT MARK J, DIEMER DENNIS M., (1987), *Control of anaerobic digester foaming*. Jour. Water Poll Control Fed., **59**(11), 987-988.
- 30 VARMA MAN M, HAROLD E FINLEY AND GLEN H. BENNETT, (1975), *Population dynamics of protozoa in wastewater*. Jour. Water Poll Control Fed., **47**(1), 85-92.
31. W.L. VAN VEEN, (1973), *Bacteriology of activated sludge, in particular the filamentous bacteria*. Antonie van Leeuwenhoek, **39**, 189-205.
- 32 www.geocities.com

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BABBIT HAROLD E. & BAUMAN E ROBERT. *Alcantarillado y tratamiento de aguas negras* . 5a Impresión. Junio 1975. Compañía Editorial Continental. Pp.385-391; 621-625
2. FAIR-MASKEW GORDON, GEYER JOHN CHARLES & OKUM DANIEL ALEXANDER. *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales* . Volumen II. Primera Edición. México 1976. Editorial Limusa S.A., Pp. 445-465; 536-553.
3. GRANT WD , LONG. P E., *Microbiología ambiental*.1984 Editorial Acribia,S.A pp.185-208
4. HILLEBOE HEMMAN E. *Manual de Tratamiento de aguas negras*. Departamento de sanidad del Estado de Nueva York 1984 Editorial Limusa, S.A., pp. 15-40, 71-83.
5. JONGUITUD FALCON VICENTE DR *Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y reusos*. División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Octubre, 1981 p p 1-18.
6. KEMMER N. FRANK, CALLION JOHN MC , *Nalco Chemical Company Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Tomo II. Editorial Mac. Graw Hill, México 1990. p.p 23-1:23-16
7. MANUAL DE MICROBIOLOGÍA DEL AGUA. S A.R.H.
Subsecretaría de infraestructura hidráulica. Dirección General de Desarrollo Tecnológico. Subdirección de investigación y entrenamiento.
Primer Volumen. Tercera Edición. México, 1985. pp. 65-138.
8. MANUAL DE OPERACIÓN PARA OPERADORES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. D G.C O.H.
Departamento del Distrito Federal. D.D.F México, 1986.
9. RAMALHO RUBENS SETTE. *Introduction to wastewater treatment processes*. New York 1977. Academic Press. Pp.220-270
10. RHEINHEIMER GERHARD, *Microbiología de las aguas*. Ed. Acribia, S.A. Cuarta Edición. 1987. Pp 133-253.
11. SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, A.C. VI Congreso Nacional. *Saneamiento ambiental, el Gran Reto*. Agosto 10-13, 1986. Querétaro, Qro.
12. MORTIMER P. STARR, ALBERT, BALOWS HANS G. SCHLIGEL. *The Prokaryotes: a Handbook on habitat isolation, an identification of bacteria*. Vol. 1, Springer 1981 Berlín. Capítulo 27. Pp. 425-439.

13. VILLE CLAUDE A., SOLOMON ELDRA PEARL Y COL *Biología* Segunda Edición México D.F. 1992. Editorial Interamericana Mc.Graw-Hill. p.p.155-179; 371-483.
14. WAYNE W. DANIEL *Bioestadística*, Editorial Limusa, Primera Edición, México 1982. Cap 9, pp. 291 – 324
15. WINKLER MICHAEL A , *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*. Primera Edición. 1986 Editorial Limusa, S A pp 87-127.