

54

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

PROCESOS AEROBIOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO, UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS DE EDUCACION CONTINUA QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERA QUIMICA PRESENTA LAURA CONCEPCION OJEDA ROSAS



MEXICO, D.F.

200



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

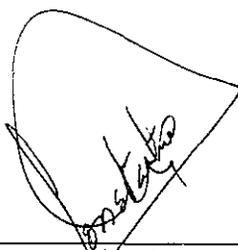
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

Jurado asignado .

PRESIDENTE PROFA GUADALUPE VELEZ PRATT
VOCAL PROF. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
SECRETARIO PROFA LILIA VIERNA GARCÍA
1^{er} SUPLENTE PROF JOSÉ LUIS GONZÁLEZ GARCÍA
2^o SUPLENTE PROF. CLAUDIO AQUILES ESCALANTE TOVAR

Facultad de Química, Biblioteca Facultad de Química, Biblioteca de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Biblioteca Instituto Mexicano del Petróleo, INTERNET.



Asesor: M en I. Constantino Gutiérrez Palacios



Sustentante: Laura Concepción Ojeda Rosas

EL CONOCIMIENTO

Es la mejor adquisición que puedes hacer en la vida, pues a diferencia de las cosas materiales:

- Puedes usarlo cuando quieras, y cuanto más lo uses, más lo acrecientas.
- No se gasta, no se termina, y si tienes una mente abierta nunca pasará de moda.
- Es una propiedad inviolable, nunca te lo podrán quitar, ni robar y mucho menos impedir que lo poseas.
- Si lo compartes con otros se convierte en un veneno inagotable.
- Para adquirirlo no necesitas de la suerte o de actos deshonestos.
- No te esclaviza como los bienes materiales, al contrario, te hace más libre.
- No le dice a los demás lo que tienes; pero sí lo que vales; porque lo más importante en la vida no es tener más sino ser más.

El conocimiento es la mejor y más noble arma de la vida, tanto de defensa como de ataque.

Es la escalera más segura hacia la grandeza, pues te permite tomar conciencia de tus defectos.

A través de él conocerás la belleza de la vida y su sentido. Te asombrarás de los misterios de la naturaleza y de la mente humana.

Pero sobre todo, te enseñará a ser humilde, sano y justo. Y te acercará poco a poco a tu Creador.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores que de una u otra manera han contribuido en mi formación, en especial quiero agradecer a los profesores Guadalupe Velez Pratt, Lilia Vierna García y Constantino Gutiérrez Palacios, por su valiosa cooperación en la realización de este trabajo y sus atinados comentarios.

A la Facultad de Química, mi segunda casa durante cinco años y testigo de mi formación como universitaria

A la Universidad Nacional Autónoma de México, de la cual siempre estaré orgullosa y agradecida, por su nobleza, sabiduría y excelencia

A D I O S

Mi gran amigo y compañero inseparable, por todo cuanto me ha dado, pero sobre todo por enseñarme a descubrir su presencia en cada instante de mi vida

A MI MADRE: Concepción Rosas

Por su apoyo incondicional en todo momento, porque con su sonrisa y dedicación me ha impulsado a seguir adelante y me ha enseñado a luchar por lo que quiero, y sobre todo por su amor y comprensión.

A MI PADRE: Edmundo Ojeda

Por su apoyo y cariño.

A MIS HERMANOS: Edmundo y Daniel

Porque supieron transformar los momentos difíciles en retos a vencer. Sin ustedes nunca hubiera sido lo mismo los amo gracias por todo.

A LA FAMILIA MERÁZ MARTÍNEZ

Gracias por preocuparse siempre por mí, por su apoyo y cariño en especial a Sam por sus enseñanzas y ayuda.

A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS

Ma. del Pilar Gutierrez, Ma de la Luz Yllescas, Fernando Rosas y Zeferino Ojeda

Por que a pesar de no estar físicamente conmigo su recuerdo siempre me ha motivado a seguir adelante.

A toda mi familia que de una u otra forma me ha apoyado y ha contribuido a mi formación

A mis amigos Gloria Martínez, Ana Luisa Muñoz, Yolanda Guzmán, Graciela Martínez, Claudia Pavano, Angelica Ostoa, Guadalupe Lemus y Alejandro Nieves Gracias por enseñarme el valor de la amistad y por compartir conmigo tantos momentos inolvidables.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I.GENERALIDADES	
I.1 Definición de agua residual	2
I.2 Calidad del agua	3
I.3 Origen de las aguas residuales	4
I.3.1 <i>Desperdicios caseros</i>	4
I.3.2 <i>Excreta</i>	4
I.3.3 <i>Desechos industriales</i>	4
I.3.4 <i>Aguas de lavado de calles</i>	4
I.3.5 <i>Infiltraciones de aguas subterráneas</i>	5
I.4 Aspecto y estado de las aguas residuales	7
A) <i>Aguas residuales frescas</i>	7
B) <i>Aguas residuales sépticas</i>	7
C) <i>Aguas residuales establecidas</i>	7
I.5 Características de las aguas residuales	7
I.5.1 <i>Características físicas</i>	7
I.5.1.1 <u>Sólidos</u>	8
I.5.1.2 <u>Temperatura</u>	8
I.5.1.3 <u>Color</u>	9
I.5.1.4 <u>Olor</u>	9
I.5.1.5 <u>Conductividad</u>	9
I.5.1.6 <u>Turbiedad</u>	10
I.5.1.7 <u>pH</u>	10
I.5.2 <i>Características químicas</i>	10
I.5.2.1 <u>Materia orgánica</u>	10
I.5.2.2 <u>Materia inorgánica</u>	13
I.5.2.3 <u>Gases</u>	15
I.5.3 <i>Características biológicas</i>	16
I.6 Tratamiento de agua	18
a) <i>Pretratamiento</i>	18
b) <i>Tratamiento primario</i>	20
c) <i>Tratamiento secundario</i>	20
d) <i>Tratamiento terciario</i>	21
e) <i>Desinfección</i>	22
f) <i>Tratamiento de lodos</i>	22

II. EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS	24
II.1 Microbiología de las aguas residuales	24
<i>II.1.1 Remoción de materia orgánica</i>	25
II.2 Microorganismos importantes en el tratamiento biológico	26
II.3 Requerimientos nutricionales para el crecimiento	30
<i>II.3.1 Crecimiento microbiano</i>	31
<i>II.3.2 Tipos de crecimiento microbiano</i>	32
<i>II.3.3 Interacciones entre poblaciones</i>	32
III PROCESOS BIOLÓGICOS	35
III.1 División metabólica de los procesos biológicos	35
III.2 Lodos activados	38
<i>III.2.1 Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos</i>	39
<i>III.2.2.1 Pretratamiento</i>	40
<i>III.2.2.2 Remoción de DBO</i>	40
<i>III.2.2.3 Separación de sólidos en el Tanque de Sedimentación</i>	41
<i>III.2.2.4 Descarga del exceso de lodos</i>	41
III.2.2 Variantes del sistema de lodos activados	42
III.2.2.1 Sistema convencional de lodos activados	42
III.2.2.2 Aireación prolongada	43
<i>III.2.2.2.1 Comparación de los procesos</i>	44
<i>III.2.2.2.2 Unidades de aireación prolongada</i>	46
<i>III.2.2.2.3 Decantación del lodo</i>	47
<i>III.2.2.2.4 Nitrificación</i>	47
III.2.2.3 Aireación escalonada	48
III.2.2.4 Sistema de lodos activados de alta tasa	48
III.2.2.5 Sistemas totalmente mezclados	48
III.2.2.6 Estabilización por contacto	49
<i>III.2.2.6.1 Ventajas de la estabilización por contacto</i>	50
<i>III.2.2.6.2 Reaireación de la biomasa</i>	50
III.2.2.7 Aireación con oxígeno puro	51
<i>III.2.2.7.1 Ventajas y desventajas de la aireación</i>	51
III.2.2.8 Aireación descendente	52
III.2.2.9 Zanjas de oxidación	52

III.2.3 Características de la biomasa	52
III.2.3.1 <u>Poblaciones microbianas</u>	52
III.2.3.2 <u>Sedimentación de la biomasa</u>	53
III.2.3.3 <u>Formación de floculos</u>	53
III.3 Lagunas	55
III.2.1 Factores que influyen en la operación de las lagunas	55
III.2.2 Proceso natural de autodepuración	57
III.2.2.1 <u>Proceso aerobio</u>	59
III.2.2.2 <u>Proceso anaerobio</u>	59
III.2.3 Clasificación de las lagunas de estabilización	59
<u>Lagunas aerobias</u>	61
<u>Lagunas facultativas</u>	65
<u>Lagunas anaerobias</u>	66
III.2.4 Ventajas y Desventajas	67
III.2.5 Reutilización de las aguas residuales	68
III.3 Filtros percoladores	69
III.3.1 Partes básicas de un filtro percolador	71
III.3.1.1 <u>Medio filtrante</u>	71
III.3.1.2 <u>Sistema de distribución</u>	71
III.3.1.3 <u>Sistema de bajo dren</u>	72
III.3.2 Características constructivas y funcionales	73
III.3.2.1 <u>Distribución del agua</u>	73
III.3.2.2 <u>Masa soporte</u>	73
III.3.2.3 <u>Ventilación</u>	73
III.3.3 Proceso de depuración de las aguas residuales	73
III.3.4 Microbiología de los filtros percoladores	74
III.3.4.1 <u>La película de lama microbiana</u>	74
III.3.4.2 <u>El desarrollo de la película</u>	75
III.3.4.3 <u>Ecología de la lama</u>	76
III.3.5 Comparación entre filtros y lodos	77
III.3.6 Problemas en la operación del Filtro percolador	77
III.3.7 Aplicaciones	79

III.4 Biodiscos	81
<i>III.4.1 Pretratamiento</i>	85
<i>III.4.2 El proceso de biodiscos</i>	85
<i>III.4.2.1 <u>Detalles constructivos</u></i>	87
<i>III.4.3 Aspectos microbianos del proceso</i>	87
<i>III.4.4 Factores que afectan el proceso</i>	88
<i>III.4.4.1 <u>pH</u></i>	89
<i>III.4.4.2 <u>Alcalinidad</u></i>	89
<i>III.4.4.4 <u>Salinidad</u></i>	90
<i>III.4.4.4 <u>Velocidad de rotación</u></i>	90
<i>III.4.4.5 <u>La película biológica</u></i>	90
<i>III.4.4.6 <u>Número de etapas</u></i>	92
<i>III.4.4.7 <u>Recirculación del afluente</u></i>	92
<i>III.4.4.8 <u>Oxigenación</u></i>	93
<i>III.4.4.9 <u>Carga orgánica</u></i>	94
<i>III.4.5 Ventajas y desventajas</i>	95
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA	100

I N D I C E D E T A B L A S

Tabla I.1 Composición típica de las aguas residuales de origen doméstico.	5
Tabla I.2 DQO y SST para algunos giros industriales.	6
Tabla I.3 Composición promedio anual de aguas residuales.	17
Tabla I.4 Operaciones , procesos y sistemas de tratamiento usados para remover los principales contaminantes contenidos en las aguas residuales.	23
Cuadro 1 Porcentaje de remoción de patógenos por medio de varios procesos de tratamiento de aguas residuales.	34
Tabla III.1 Principales procesos biológicos aerobios utilizados en el tratamiento de aguas residuales.	36
Tabla III.2 Principales procesos biológicos anaerobios utilizados en el tratamiento de aguas residuales.	37
Tabla III.3 Comparación de los procesos de lodos activados convencional y de aireación prolongada	45

I N D I C E D E F I G U R A S

Figura I.1 Fotografía de una descarga de aguas residuales	2
Figura I.2 Sectores de influencia en la contaminación del agua	3
Figura I.3 Fotografías que muestran el color de las aguas.	9
Figura I.4 Fotografía que muestra la espuma formada por agentes tensoactivos.	14
Figura I.5 Fotografías de plantas de tratamiento.	18
Figura I.6 Diagrama de flujo generalizado de una planta de tratamiento	19
Figura I.7 Diagrama de flujo del tratamiento primario.	20
Figura I.8 Diagrama de flujo del tratamiento secundario	21
Figura I.9 Diagrama de flujo del tratamiento terciario	21
Figura II.1 Diferentes tipos de bacterias al microscopio.	27
Figura II.2 Diferentes tipos de protozoarios	29
Figura II.3 Rotíferos.	29
Figura II.4 Curva de crecimiento microbiano	31
Figura III.1 Diagrama del proceso de lodos activados.	38
Figura III.2 Aireadores operando en un sistema de lodos activados.	39
Figura III.3 Aireación de las aguas en un sistema de lodos activados.	40
Figura III.4 Tanque sedimentador.	41
Figura III.5 Sistema convencional de lodos activados.	42
Figura III.6 Secciones del tanque de aireación.	43
Figura III.7 Proceso convencional de aireación prolongada	44
Figura III.8 Esquema del arreglo de un sistema de la variante de aireación por pasos para el sistema de lodos activados.	47

Figura III.9 Proceso de aireación escalonada	48
Figura III.10 Proceso de lodos activados mezcla completa	49
Figura III.11 Diagrama de flujo del sistema contacto estabilización.	49
Figura III.12 Sistema de lodos activados con oxígeno puro.	51
Figura III.13 Canal de oxidación.	52
Figura III.14 Diferentes formas que presentan los flóculos.	54
Figura III.15 Fotografía de una laguna de estabilización.	55
Figura III.16 Diagrama simplificado del proceso de degradación de materia orgánica.	56
Figura III.17 Representación esquemática de la relación entre bacterias y algas	61
Figura III.18 Esquema de una laguna aireada	63
Figura III.19 Tipos de lagunas aireadas (facultativas)	64
Figura III.20 Laguna facultativa.	65
Figura III.21 Laguna facultativa típica.	66
Figura III.22 Laguna anaerobia.	66
Figura III.23 Filtro percolador.	69
Figura III.24 Esquema de la biopelícula formada en un filtro percolador	70
Figura III.25 Fotografía de un sistema de biodiscos.	81
Figura III.26 Empaques.	83
Figura III.27 Sistema de discos biológicos	84
Figura III.28 Componentes de un sistema integral de discos biológicos.	86
Figura III.29 Perfil del pH en un biodisco.	89
Figura III.30 Perfiles de oxígeno disuelto para diferentes velocidades periféricas.	90
Figura III.31 Efecto de la recirculación sobre la calidad del efluente.	93
Figura III.32 Efecto de la velocidad de rotación sobre la eliminación de contaminantes	94
Figura III.33 Curvas de eliminación de $\text{NH}_3\text{-N}$ Para biodiscos	95

INTRODUCCION

Los procesos de tratamiento de aguas residuales son por esencia, a) sistemas de degradación y eliminación de materia orgánica, b) la herramienta fundamental utilizada para mejorar la calidad de las aguas residuales propiciando su reuso, y la protección de los cuerpos acuíferos receptores así como la salud pública

Los sistemas de tratamiento se dividen en :

- a) Tratamiento primario o físico.
- b) Tratamiento secundario o biológico
- c) Tratamiento terciario o químico

En el presente trabajo se estudia solo el tratamiento biológico, el cual ha sido muy exitoso en la remoción de materia orgánica en estado disuelto o coloidal de las aguas residuales. El propósito de este tratamiento biológico es convertir estos contaminantes en general de estructuras complejas a productos finales simples (CO_2 , H_2O , NH_3 , CH_4) y un material sedimentable (biomasa), el cual puede removerse fácilmente del sistema.

La mayoría de los procesos biológicos de tratamiento de agua están basados en transformaciones biológicas que ocurren de forma natural, pero son llevados a cabo en bioreactores a mayores velocidades. En estos procesos los principales biodegradadores son las bacterias, aunque también juegan un papel muy importante otros microorganismos, tales como protozoarios, rotíferos, hongos y algas.

En este trabajo se estudian las características principales de cuatro diferentes sistemas de tratamiento biológico de tipo aerobio; lodos activados, lagunas de estabilización, filtros percoladores y biodiscos (En el Capítulos III).

I. GENERALIDADES

I.1 Definición de agua residual

De acuerdo a la norma oficial mexicana NOOM001-ECOL-1996, se define como *agua residual*, "al líquido de composición variada proveniente de los usos domésticos, agropecuarios, industriales, comerciales, de servicios o de cualquier otro uso, que por este motivo haya sufrido degradación de su calidad original".

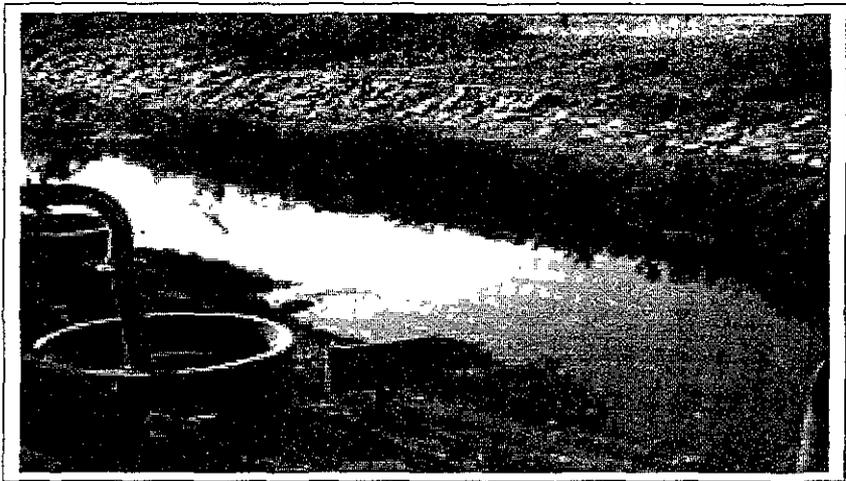


FIGURA I.1 Descarga de aguas residuales

1.2 Calidad del agua

La calidad del agua es afectada por cambios en sus características fisicoquímicas y biológicas, y pueden deberse a una alteración natural ó artificial”

Se dice que es natural cuando la alteracion en la composición o calidad del agua no es provocada por el hombre y sus actividades, por ejemplo, un almacenamiento de agua subterránea, al estar en contacto con una veta natural de arsénico o al estar sometido a sobre explotación, agrega al agua materiales que pueden cambiar sus características. En tanto que cuando el hombre provoca la alteración se dice que es artificial, por ejemplo, al inyectar ó infiltrar aguas residuales se agregan a las aguas subterráneas materia orgánica, sólidos, microorganismos, etc., perjudicando así su aprovechamiento tal como ocurrió en la ciudad de Mérida, Yucatán (Ref. 40). Dentro de este tipo de alteración de la calidad del agua y dependiendo del tipo de actividad donde se utiliza y desecha el agua, se pueden mencionar como fuentes de materia orgánica, materia inorgánica, microorganismos, etc. las siguientes; doméstica, pública, comercial, industrial, agrícola y pecuaria. Las primeras cuatro fuentes se presentan más en las ciudades ó poblaciones y las dos últimas evidentemente en el medio rural. Estas fuentes se pueden clasificar en 3 sectores como se muestra en la figura 1.2

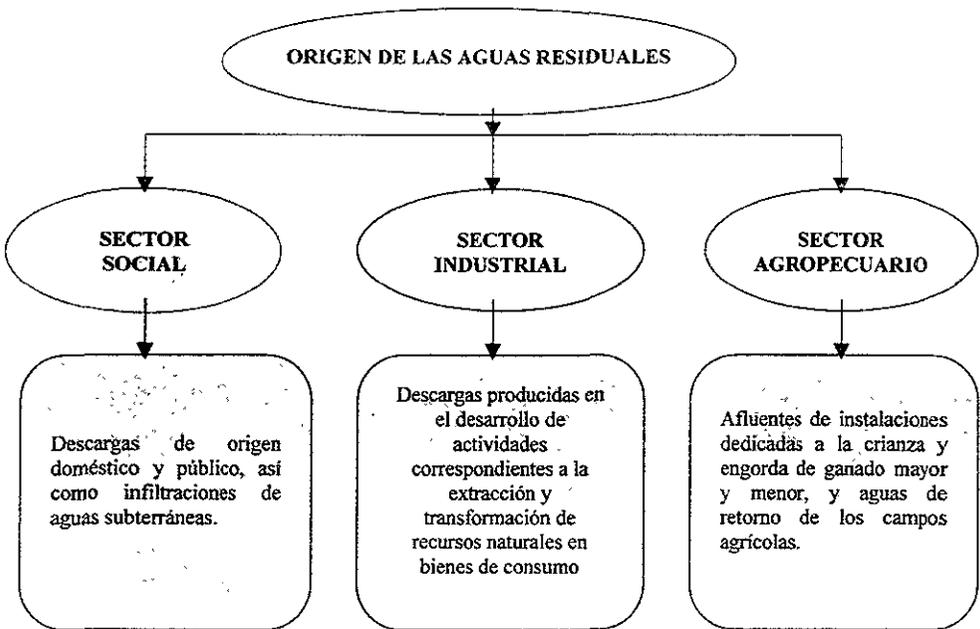


FIGURA 1.2 Sectores de influencia en la formación de las aguas residuales.

1.3 Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales pueden proceder de varias fuentes.

1.3.1 Desperdicios Caseros

Las actividades domésticas, tales como lavado de ropa, lisa, limpieza y preparación de alimentos, baño y desperdicios de cocina; adicionan al agua abastecida agentes espumantes y partículas de alimentos y grasas.

1.3.2 Excreta

De todos los desechos éstos son los más importantes en lo referente a la salud humana, debido a que pueden llegar a contener organismos patógenos sumamente perjudiciales para el hombre. Dichos desechos son el resultado de exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales que van a dar a las alcantarillas.

1.3.3 Desechos Industriales

Son productos de desecho provenientes de los procesos fabriles, los cuales varían dependiendo del tipo de industria. Dentro de estas industrias se pueden citar algunas como la industria curtidora, la de celulosa y papel, del petróleo, eléctrica y azucarera, entre otras.

Muchos de estos desperdicios contienen agentes tensoactivos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas, que en ocasiones deben recibir un tratamiento preliminar antes de ser vertidos al desagüe municipal.

1.3.4 Aguas del lavado de calles y corrientes pluviales

A causa de las lluvias, son depositadas en la tierra cantidades variables de agua, las cuales en su mayoría arrastran polvo, arena, hojas y otros tipos de basura como consecuencia del lavado de la superficie. El volumen de las corrientes pluviales varían según la precipitación, la topografía del lugar y las superficies techadas y pavimentadas.

En ocasiones estos escurrimientos son captados sin ser mezclados con las aguas residuales, sin embargo no siempre es así, pues en algunas comunidades las corrientes pluviales se descargan directamente al alcantarillado.

1.3.5 Infiltraciones de aguas subterráneas

Con el transcurso del tiempo la tubería colectora de aguas residuales se va soterrando quedando en la mayoría de las ocasiones por debajo del nivel del manto de agua subterránea.

Asimismo debido a que las juntas entre secciones de tubería no quedan perfectamente ajustadas, siempre queda abierta la posibilidad de infiltraciones subterráneas, aunque si bien no pueden ser determinadas con exactitud, puede decirse que si son de efecto considerable y varían en base al tipo de alcantarilla que se tenga, tipo de suelo, condiciones de agua subterránea, lluvia, y demás condiciones climatológicas.

Conocido ya el origen de las aguas residuales, puede decirse que de acuerdo a su procedencia se distinguen cinco tipos de aguas residuales los cuales se definen a continuacion

Aguas residuales domésticas.- Son aquellas cuyo contenido principal son desechos humanos, animales y caseros, se recogen de viviendas, edificios comerciales e instituciones de la comunidad. Pueden incluir desechos de productos industriales, así como la infiltración de agua subterránea y otros desechos líquidos.

La tabla I.1 muestra datos típicos que se emplean a nivel internacional de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica y dependiendo de las concentraciones, el agua residual se clasifica como de alta, media o baja

El agua residual doméstica frecuentemente es de color gris, presenta turbiedad y material flotante. Cabe remarcar que comúnmente la contaminación la constituye un pequeño porcentaje de sólidos, del orden del 0.1% (100 mg/l). Contiene constituyentes adicionales que incluyendo muchos metales necesarios para el crecimiento de microorganismos tales como calcio, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso y zinc. Es importante determinar la presencia o ausencia de ácido sulfhídrico, para saber si se pueden desarrollar condiciones corrosivas o si se va a producir la precipitación de alguno de los metales. La determinación de la concentración de sulfatos es necesaria para evaluar la posibilidad de aplicar un proceso anaerobio y en general, para cualquier proceso biológico se debe verificar esta relación 100:5 l de DQO:N.P. (Ref. 17)

TABLA I.1
COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMESTICO

COMPUESTO	CONCENTRACION		
	MINIMA	PROMEDIO	MAXIMA
Sólidos totales, mg/l	350	720	1,200
Sólidos disueltos, mg/l	250	500	850
Sólidos fijos, mg/l	145	300	525
Sólidos volátiles, mg/l	105	200	325
Sólidos suspendidos totales, mg/l	100	220	350
Sólidos fijos, mg/l	20	55	75
Sólidos volátiles, mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables, ml/l	5	10	20
DBO ₅ , mg O ₂ /l	110	220	400
DQO ₅ , mg O ₂ /l	250	500	1000
COT, mg C/l	80	160	290
Nitrógeno total, mg N/l	20	40	85
Nitrógeno orgánico, mg/l	8	15	35
Nitrógeno amoniacal, mg/l	12	25	50
Fósforo total, mg/l	4	8	15
Grasas, mg/l	20	100	150
Alcalinidad, mg CaCO ₃ /l	510	100	200

REF. 24

Aguas residuales sanitarias. Son las aguas domésticas urbanas mezcladas con las industriales, que se producen en las zonas donde el drenaje capta todo tipo de aguas.

Aguas residuales pluviales Formadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno. En los lugares donde se tiene una red de drenaje separado es posible coleccionar esta agua sin que se mezcle con las aguas negras. Tradicionalmente se pensaba que el agua de lluvia era limpia y que su captura y transporte junto con el agua residual en redes unitarias la ensuciaban. Por desgracia la contaminación del aire y el arrastre por la lluvia, de la basura, polvo y material depositados en el suelo, aceras y banquetas así como los agroquímicos y la propia tierra de los campos de cultivo hacen que su calidad sea mala.

La calidad del agua de lluvia es un tema de estudio reciente por lo que los datos son escasos y provienen de países desarrollados. De lo poco que se sabe se estima que entre el 70 y 80 % de los sólidos tiene un diámetro que va de 2 a 2000 micras y representan el 25 % de la DQO, 50-60 % de las grasas y caucho y 30 % de los metales pesados. Es decir una vez que el agua de lluvia cae arrastra otros elementos como Pb (0.1 a 0.8 mg/l) y Cu (0.02 a 0.2 mg/l), (Ref. 40)

Aguas residuales combinadas Son el resultado de la mezcla de los tres tipos anteriores de aguas residuales, cuando son coleccionados en las mismas alcantarillas.

Aguas residuales de desechos industriales. Como su mismo nombre lo indica son las provenientes de procesos industriales. Estas pueden ser coleccionadas y dispuestas aisladamente o bien formar parte de las aguas residuales sanitarias o combinadas. Tales desechos varían de acuerdo al proceso y contienen productos químicos utilizados en el procedimiento.

La tabla 1.2 muestra la DQO y los SST para algunos giros industriales en México.

TABLA 1.2			
DQO Y SST PARA ALGUNOS GIROS INDUSTRIALES			
GIRO INDUSTRIAL	NÚMERO DE INDUSTRIAS	DQO PROMEDIO (mg/l)	SST PROMEDIO (mg/l)
CELULOSA Y PAPEL	39	940	514
METÁLICAS BÁSICAS	10	1285	123
TEXTIL	37	793	162
CURTIDURÍA	11	2978	320
PRODUCTOS METÁLICOS	33	902	365
QUÍMICA-PETROQUÍMICA	105	1546	338
BENEFICIOS DE CAFÉ	153	1407	560
AZÚCARERA	67	1900	942
EXPLOTACIÓN MINERA	63	811	900
ALIMENTARIA	172	2208	658
VITIVINÍCOLA	18	4842	235
PETROLERA (PEMEX)	85	1064	219
TERMIÉLECTRICAS (CFE)	41	491	154
OTRAS MANUFACTURERAS	229	2032	882
SERVICIOS	230	773	196
PECUARIA	116	3957	2225
CERVECERÍA	11	1656	535
PESQUERA	235	947	240

REF. 18

1.4. Aspecto y estado de las aguas residuales

El aspecto que adoptan las aguas residuales, varía con el tiempo, cuando dichas aguas son frescas y recién descargadas, flotan en ellas cantidades variables de materia, tales como astillas, papel, materia fecal, plástico y demás residuos propios de la actividad cotidiana. Su olor, es muy parecido al moho, no desagradable y de coloración grisácea. Al paso del tiempo ya el olor es ofensivo y desagradable, pasando su coloración del gris al negro. Aparecen elementos negros flotando en la superficie o a través del líquido, y se observa gas en forma de burbujas.

Dada la naturaleza y grado de la descomposición bacteriana de los sólidos contenidos en el agua, se han definido los siguientes términos que describen los diferentes estados que pueden presentar las aguas residuales:

A) Aguas residuales frescas.- Son aquellas que han sido recién descargadas. Tales aguas son turbias, de color grisáceo y olor mohoso no desagradable que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión ó flotando (Mientras exista oxígeno disponible para mantener la descomposición aeróbica se tendrán aguas residuales frescas).

B) Aguas residuales sépticas. En estas aguas el oxígeno disuelto se ha agotado, y por tanto los sólidos han entrado en descomposición anaerobia con la subsecuente producción de ácido sulfhídrico y otros gases, provocando así un olor fétido y desagradable, el color ha pasado del gris al negro.

C) Aguas residuales establecidas. Son aquellas aguas en las que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes, que no están sujetos a descomposiciones ulteriores, o bien que son descompuestos muy lentamente. Ya existe presencia de oxígeno disuelto, pues ha sido absorbido de la atmósfera, su olor es casi nulo con pocos sólidos suspendidos.

1.5. Características de las aguas residuales

El comprender la naturaleza de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales es imprescindible para el proyecto o funcionamiento de una planta de tratamiento.

1.5.1 Características físicas

Se considera que la característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución, y sólidos sedimentables. Otras características físicas importantes son: la temperatura y el pH. A continuación se menciona cada una.

1.5.1.1 Sólidos

La remoción de sólidos es una de las principales preocupaciones en una planta de tratamiento de aguas residuales (en la tabla 1.3 se señala la composición promedio anual de sólidos en el agua residual). Estos se clasifican en dos grupos generales en base a su composición y condición física, tales grupos son:

A) **Sólidos orgánicos**: Son aquellos que tienen su origen a partir de la materia viviente, incluyéndose tanto los productos de desecho humano, vegetales y animales, como la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales, pueden incluirse también ciertos compuestos orgánicos sintéticos.

Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno estando algunos combinados con nitrógeno, azufre o fósforo. Los principales grupos son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas junto con sus productos de descomposición. Estos sólidos son aprovechados por las bacterias para su alimentación.

B) **Sólidos inorgánicos**: Básicamente son sustancias minerales como arena, grava y sales minerales disueltas provenientes de abastecimientos de agua, que generan dureza en el líquido y un alto contenido mineral. Son inertes y no están sujetas a la degradación biológica. De acuerdo a su condición física se clasifican como sólidos suspendidos, coloidales, y disueltos.

- **Sólidos suspendidos**: Son los que están flotando en el agua, algunos de los cuales son perceptibles a simple vista. Estos sólidos pueden separarse de las aguas residuales por medios físicos como la sedimentación o la filtración.

Sólidos sedimentables: Son la porción de sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que sedimenten en un período determinado, que generalmente es una hora.

- **Sólidos coloidales**: Son la porción de sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es tan pequeño, que permanecen en suspensión sin sedimentarse por largos períodos. Se definen indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables.

- **Sólidos Disueltos**: Es la porción de sólidos que pasan a través del filtro de 0,45 μ m utilizado para determinar los sólidos suspendidos. Se determinan por evaporación del líquido filtrado y pesado del residuo o con la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.

Sólidos totales: Expresan el total de los sólidos contenidos en las aguas residuales. Analíticamente, es el contenido de sólidos que queda como residuo de la evaporación entre 103 y 105 °C del agua residual por un tiempo suficiente. Se reporta en mg/l. Los sólidos totales contienen tanto a los compuestos orgánicos como a los inorgánicos que están suspendidos o disueltos.

1.5.1.2 Temperatura

La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, ya que acelera reacciones químicas y biológicas, reduce la solubilidad de los gases, acentúa olores y sabores, inhibe o favorece las formas de vida; así como también es importante en la selección y diseño de los procesos de tratamiento. Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10°C a 21°C, siendo, 15°C un valor representativo.

Los efectos más importantes de la temperatura en una planta de tratamiento son:

Solubilidad del oxígeno en el agua.- Siempre existe una pequeña cantidad de oxígeno en el agua debido a la presión, sin embargo la solubilidad del oxígeno disminuye a medida que aumenta la temperatura del agua.

Actividad microbiológica: Al variar la temperatura cambia el ambiente en que se desarrollan la flora y fauna acuáticas, variando el número y la actividad de las especies.

1.5.1.3 *Color*

El color es un parámetro muy importante que indica el grado de contaminación de un agua, nos permite conocer el tiempo que las descargas de aguas residuales han estado en el sistema de alcantarillado. En la figura 1.3 se observan 2 tipos de agua, que presentan coloraciones diferentes, lo cual se debe al tiempo que han permanecido en el sistema y a los procesos de descomposición que se llevan a cabo en las mismas.

El color también puede ser de origen mineral (Fe, Mn) o vegetal, como los producidos por materia orgánica en suspensión, algas, semillas, residuos vegetales, protozoarios, etc.

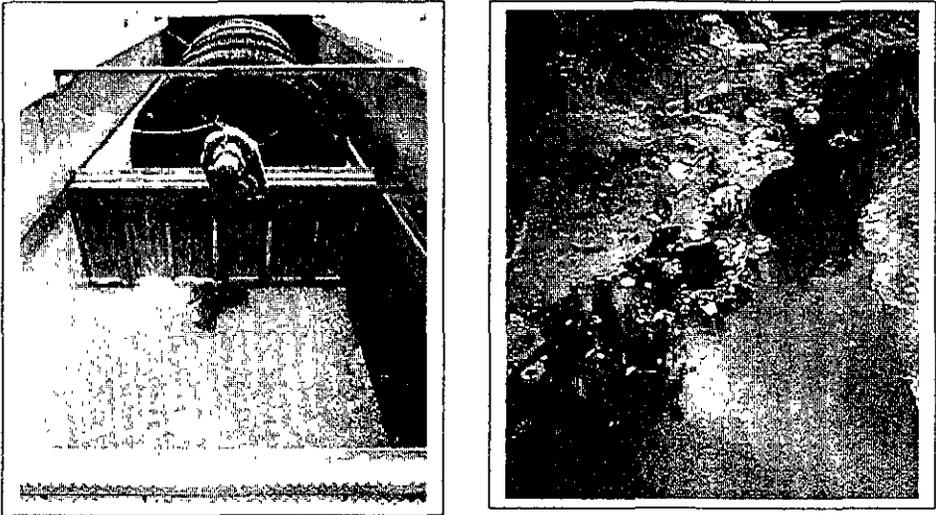


FIGURA 1.3 El color del agua residual

1.5.1.4 *Olor*

Los olores son debidos, entre otras cosas, a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene olor desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios, que reducen los sulfatos a sulfitos. El olor indica el origen del agua y su grado de descomposición.

1.5.1.5 *Conductividad*

La conductividad es la capacidad o habilidad de una solución acuosa de conducir una corriente eléctrica. Esta depende de la cantidad de sales disueltas existentes en el agua, por lo que en soluciones diluidas es aproximadamente proporcional al contenido de sólidos disueltos totales (SDT). Su determinación, nos permite conocer rápidamente, la variación de las concentraciones de los minerales disueltos en las aguas residuales.

1.5.1.6 Turbiedad

La turbiedad es la característica que hace ver el agua como sucia o con apariencia nebulosa. Es causada por partículas suspendidas y coloidales, que limitan el paso de la luz a través del agua. Esta se debe a la presencia de una amplia variedad de materia finamente dividida, desde partículas macroscópicas como arcilla, materia orgánica, microorganismos, etc.

1.5.1.7 pH

La concentración del ion hidrógeno es un parámetro importante en la calidad de las aguas residuales. El intervalo de concentración idóneo, para la existencia de los organismos que degradan la materia orgánica es entre 4.5 y 9.5. Así, pH bajos pueden ocasionar problemas de corrosión en las tuberías. Además el pH influye en muchos procesos como la coagulación, desinfección, ablandamiento y en los procesos vitales. El agua residual con una concentración adversa de iones hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos, a no ser que se realice una neutralización previa.

1.5.2 Características químicas

Entre las características químicas más importantes encontramos: Materia orgánica, Materia inorgánica y gases.

1.5.2.1 Materia orgánica

En el agua residual de intensidad media aproximadamente un 75 % de los sólidos suspendidos y un 40 % de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Está procedente de residuos vegetales y animales, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de compuestos encontrados en el agua residual son: las proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %), grasas y aceites (10%). La urea constituyente principal de la orina, es otro importante componente orgánico del agua residual. Debido a la rapidez con la que se descompone, raramente se encuentra en agua, que no sea muy reciente.

El agua residual contiene también pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede variar desde muy simple hasta sumamente compleja, (agentes tensoactivos, fenoles y plaguicidas usados en la agricultura). La presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de aguas residuales, ya que muchas de ellas no se pueden descomponer biológicamente o lo hacen muy lentamente.

Proteínas

Las proteínas son los principales componentes del organismo animal en tanto que en las plantas se encuentran en menor grado. Todos los alimentos de origen vegetal y animal contienen proteínas en diferentes proporciones. Las proteínas son estructuras complejas e inestables que están sometidas a diversas formas de descomposición. Algunas son solubles en agua y otras no. Están formadas por grandes cadenas de aminoácidos por lo que presentan altos pesos moleculares (de 20,000 a 20 millones).

Todas las proteínas contienen carbono que es común a todas las sustancias orgánicas, así como oxígeno e hidrógeno, además de contener una proporción constante de nitrógeno de alrededor del 16 %, en muchos casos también están constituidas por azufre. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno del agua residual. Cuando estas se encuentran presentes, en grandes cantidades existe la posibilidad de que produzcan olores extremadamente desagradables, debido a su composición.

Carbohidratos

Están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno en proporción CH_2O . Incluyen azúcares solubles o parcialmente solubles e insolubles como almidones, celulosa y pectina. Los azúcares se descomponen fácilmente. Los almidones son más estables, se transforman en azúcares por la actividad microbiana, así como por ácidos minerales diluidos y son posteriormente mineralizados. Desde el punto de vista de volumen y resistencia a la descomposición, la celulosa es el carbohidrato más importante que se encuentra en el agua residual, a pesar de que la destrucción de la celulosa en el suelo progresa sin dificultad, principalmente como resultado de la actividad de distintos hongos especialmente en condiciones ácidas.

Aceites y grasas

Las grasas animales y los aceites son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos. El término grasas generalmente incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual. Las grasas y aceites son ésteres del glicerol y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos, que son líquidos a temperatura ordinaria se llaman aceites y los sólidos se llaman grasas, aunque están compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno, como los carbohidratos, son compuestos más oxidados que éstos.

Las grasas y aceites vertidos al agua residual son principalmente mantequilla, manteca de cerdo, margarina, grasas y aceites. Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por acción bacteriana. Sin embargo los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerol y ácidos grasos. En presencia de álcalis, tales como hidróxido sodio, el glicerol se libera y forma sales alcalinas de ácidos grasos. Estas sales alcalinas son conocidas como jabones y, al igual que las grasas son estables, y solubles en agua, en aguas duras las sales sódicas se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, también conocidas como jabones minerales que son insolubles y precipitan.

El contenido de grasas del agua residual puede producir muchos problemas tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento. Si la grasa no se elimina antes del vertido, puede interferir con la vida en las aguas y crear películas de material en flotación imperceptibles.

Agentes tensoactivos

Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, poco solubles que provocan espuma en las plantas de tratamiento y en las aguas donde se vierten (Figura 14). Los agentes tensoactivos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire, generando una espuma muy estable.



FIGURA I.4 Espuma formada por agentes tensoactivos

Fenoles

Los fenoles y otros compuestos orgánicos de los que se encuentran vestigios, son también importantes constituyentes del agua. Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, especialmente cuando está clorada. Se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales. Los fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones de hasta 500 mg/l.

Plaguicidas y productos químicos agrícolas

Los productos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como plaguicidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura son tóxicos para gran número de formas de vida, y por lo tanto pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos químicos no se encuentran comúnmente en el agua residual si no que suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la infiltración y escurrimiento en parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. La concentración de estos productos químicos puede dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado (disminuyendo así su valor como fuente de alimentación) y el empeoramiento del suministro de agua.

1.5.2.1.1 Medida del contenido orgánico

Los métodos de laboratorio más usados para determinar el contenido de materia orgánica son: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT).

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

Es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales. Este parámetro determina la concentración de oxígeno disuelto presente en el agua,

que es utilizado por los microorganismos en la oxidación de la materia orgánica. La medida de la DBO es importante tanto en el tratamiento de las aguas residuales, como en la gestión técnica de la calidad del agua, ya que se utiliza para 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiera para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, 2) Determinar el tamaño de las instalaciones para el tratamiento de aguas residuales y 3) medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.

- **Demanda química de oxígeno**

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las aguas residuales. Es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de la materia presente en el agua. La DQO de un agua residual es, por lo general mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química, que biológicamente.

- **Carbón orgánico total.**

Otro medio de medir la materia orgánica presente en el agua es el ensayo COT, especialmente aplicable a pequeñas concentraciones de materia orgánica.

- **Oxígeno disuelto.**

El oxígeno disuelto es un elemento indispensable para mantener la vida. Es un gas fácilmente soluble en el agua, razón por la que se habla de "oxígeno disuelto". Cuando en un agua residual desaparece el oxígeno disuelto se dice que se trata de un agua séptica; sin embargo, esto no quiere decir que no exista vida en ella.

Cuando el agua residual permanece durante mucho tiempo sin airearse, el oxígeno disuelto existente puede ser aprovechado por los microorganismos aerobios presentes en el agua, para realizar sus funciones vitales, hasta el punto en que se agote. A partir de este momento muchos microorganismos comienzan a morir y empiezan a tomar su lugar los microorganismos anaerobios.

5.1.2.2 Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales que tienen importancia en el control de la calidad del agua. La concentración de los constituyentes inorgánicos aumenta, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Esta concentración aumenta por las formaciones geológicas con las que el agua está en contacto y por las descargas de aguas residuales, además pueden modificar los usos del agua por lo cual es conveniente examinar algunos constituyentes inorgánicos especialmente los añadidos al agua superficial durante su ciclo de utilización.

Cloruros

Son responsables del sabor salobre del agua, son indicadores de posible contaminación de agua residual debido al contenido de cloruro en la orina y a la práctica de desinfectar el agua con cloro. Se encuentran en el agua natural, proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua, y, en las regiones costeras, de la intrusión de agua salada. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales en las aguas superficiales.

Las heces humanas proveen de 6 g de cloruros por persona y día. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los ablandadores del agua aportarán igualmente grandes cantidades de cloruros.

Alcalinidad

Es la capacidad de un agua para neutralizar ácidos. La alcalinidad del agua residual se debe a la presencia de hidroxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio y del ion amonio. Siendo más frecuentes los bicarbonatos de magnesio y calcio. El agua residual es generalmente alcalina recibiendo su alcalinidad del agua de suministro, del agua subterránea y de las materias añadidas durante el uso doméstico. La alcalinidad del agua residual es importante cuando debe efectuarse un tratamiento químico y cuando hay que eliminar el amoniaco por arrastre de aire, así mismo proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH.

Nitrógeno

El nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, por lo que se consideran como nutrientes o bioestimulantes. Trazas de otros elementos como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. El nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de las proteínas, por lo que es necesario contar con datos sobre el mismo para valorar la tratabilidad de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente se necesitará la adición del mismo para hacer tratable el agua residual. Cuando sea necesario el control del crecimiento de algas en el agua receptora para proteger los usos a que se destina, puede ser conveniente la eliminación o reducción del nitrógeno de las aguas residuales antes de la evacuación.

El nitrógeno presente en el agua residual reciente se encuentra principalmente en forma de urea y materia proteica. La descomposición de estos compuestos por las bacterias los convierte fácilmente en amoniaco. La edad de las aguas residuales viene indicada por la cantidad relativa de amoniaco presente. En un ambiente acrobio las bacterias pueden oxidar el nitrógeno del amoniaco a nitritos y nitratos. El predominio del nitrógeno del nitrato indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. Sin embargo los nitratos pueden ser utilizados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas vegetales que, a su vez, pueden ser utilizadas por los animales para formar proteínas animales.

La muerte y descomposición de las proteínas animales y vegetales por las bacterias produce de nuevo amoniaco. Por tanto, si el nitrógeno en forma de nitratos puede reutilizarse por las algas y otras plantas para formar proteínas, puede ser necesario eliminar o reducir el nitrógeno presente para evitar el crecimiento de estos organismos.

Fósforo

Este elemento es también esencial para el crecimiento de algas y otros organismos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas que tienen lugar en las aguas superficiales, existe actualmente mucho interés en controlar la cantidad de compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales, domésticas y de las escorrentías naturales.

El fósforo se encuentra en solución acuosa en forma de; ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos, por ejemplo, PO_4^{3-} , HPO_4^- , H_2PO_4^- y H_3PO_4 , se encuentran disponibles para el metabolismo biológico sin precisar posterior ruptura. Los polifosfatos incluyen las moléculas con dos o más átomos de fósforo, oxígeno, y en algunos casos, átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja. Los polifosfatos sufren hidrólisis en soluciones acuosas y

vuelven a sus formas de ortofosfato; sin embargo esta hidrólisis es generalmente bastante lenta. El fósforo orgánico tiene muy poca importancia en la mayoría de las aguas residuales domésticas, pero

puede llegar a ser un constituyente importante en los vertidos y fangos de aguas residuales domesticas.

Azufre

El ion sulfato se encuentra naturalmente en los suministros de agua y en el agua residual. El azufre es requerido en la síntesis de proteínas y es liberado en su degradación. Los sulfatos son reducidos químicamente a sulfuros y los sulfuros a sulfuro de hidrógeno por las bacterias en condiciones anaerobias.

El H_2S puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico el cual es corrosivo para las tuberías de alcantarillado.

Compuestos tóxicos

Por su toxicidad ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre, plata, plomo, cromo, arsénico y boro son tóxicos en distintos grados para los microorganismos, y por tanto deben tomarse en cuenta al proyectar una planta de tratamiento biológico. Muchas plantas se han visto perturbadas por la introducción de estos iones hasta el extremo de causar la muerte de los microorganismos y detener el tratamiento. Otros cationes tóxicos son el potasio y el amoníaco a concentraciones de 4000 mg/l. La alcalinidad presente en el fango de digestión puede combinarse con los iones calcio y precipitar con ellos antes de que la concentración de calcio se acerque al nivel tóxico.

Algunos aniones tóxicos, incluyendo los cianuros y cromatos están presentes en los vertidos industriales. Se encuentran principalmente en los efluentes de fábricas de recubrimientos electrolíticos y deben ser eliminados antes de ser mezclados con el agua residual municipal.

Metales pesados

Trazas de muchos metales, tales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg) son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos son necesarios para el desarrollo de la vida y su ausencia en cantidades suficientes podría limitar el crecimiento. La presencia de cualquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad, por lo cual es necesario controlar las concentraciones de dichos metales.

1.5.2.3 Gases

Los que se encuentran más frecuentemente en el agua residual son el nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), y metano (CH_4). Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual. Otros gases importantes son el cloro y el ozono, estos no se encuentran en el agua residual, pero son utilizados en el tratamiento de agua para desinfección y control de olores, así como los óxidos de azufre y nitrógeno utilizados en los procesos de combustión.

Sulfuro de hidrógeno

Es un gas incoloro, inflamable de olor característico a huevo podrido. El enegrecimiento del agua residual y del fango se debe principalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS).

Metano

Es el principal subproducto que se obtiene de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. Es un hidrocarburo incoloro, inodoro de gran valor combustible. Normalmente no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, porque incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción de metano. La presencia de este gas puede ocasionar explosiones, por lo cual es necesario tomar medidas pertinentes para evitar percances.

1.5.3 Características biológicas

En el aspecto biológico es necesario conocer 1) los grupos principales de microorganismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico, 2) los organismos patógenos presentes en el agua residual antes y después del tratamiento y 3) los organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia.

Microorganismos

En general, las bacterias saprófitas, generalmente presentes en las aguas residuales domésticas, son las que se alimentan de materia orgánica, descomponiéndola progresivamente y estabilizándola. Su actividad es la base indispensable en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Otros organismos presentes que juegan un papel importante complementario en el tratamiento de aguas residuales son varias especies de hongos, protozoarios y algunos nematodos y crustáceos.

Bacterias

Las bacterias juegan un papel muy importante en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento, por lo cual deben conocerse bien sus características, funciones, metabolismo y síntesis.

Algas

Las algas por su parte pueden presentar un serio inconveniente en las aguas superficiales, ya que cuando las condiciones son favorables pueden reproducirse rápidamente y cubrir ríos, lagos y embalses con grandes colonias flotantes, fenómeno que se conoce como crecimiento explosivo, y que es muy común en lagos eutroficados. Debido a que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual es, por lo general, rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos motiva su enriquecimiento y aumenta la tasa de eutroficación. Los mismos efectos pueden darse en ríos.

La presencia de algas afecta la calidad del agua de suministro, ya que pueden causar problemas de olor y sabor.

Protozoarios

Los protozoarios de importancia en aguas residuales son las amebas, los flagelados y los ciliados de vida libre y fijos. Los protozoarios se alimentan de bacterias y protistas microscópicos y son básicos en el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento, así como en la purificación de los ríos, porque mantienen un equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos.

Virus

Los virus pueden llegar a ser un peligro para la salud pública.

Plantas y animales.

Las plantas y animales varían en tamaño desde rotíferos microscópicos y gusanos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos es útil al valorar el estado de las corrientes y lagos, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y al observar la efectividad de la vida en los procesos secundarios de tratamiento utilizados para destruir los residuos orgánicos.

Organismos patógenos.

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual pueden proceder de desechos humanos que estén infectados, o que sean portadores de alguna enfermedad, el grupo de organismos coliformes se utiliza como un indicador de la presencia de estos organismos en el agua residual.

TABLA I.3
COMPOSICION PROMEDIO ANUAL DE AGUAS RESIDUALES

CONTAMINANTES	UNIDAD	CONCENTRACION		
		DEBIL	MEDIA	ALTA
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1200
Disueltos totales	mg/l	250	500	850
Disueltos fijos	mg/l	145	300	525
Disueltos volátiles	mg/l	105	200	325
Suspendidos totales	mg/l	100	220	350
Suspendidos fijos	mg/l	20	55	75
Suspendidos volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
DQO	mg/l	250	500	1000
DBO ₅	mg/l	110	220	400
Nitrógeno (Total como N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniacal	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (Total como P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	NMP/100ml	10E+6	10E+7	10E+8

REF. 24

1.6 Tratamiento de agua

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones y procesos unitarios, debidamente seleccionados e integrados, para controlar el contenido de materia orgánica del agua (la figura 1.6 muestra las etapas tradicionales utilizadas en una planta de tratamiento). Los sistemas de tratamiento de agua residual son por esencia, la herramienta fundamental utilizada dentro de las acciones para controlar el contenido de materia orgánica del agua (tabla 1.4). A través de ellos se disminuye o elimina la materia orgánica de las aguas residuales propiciando la posibilidad de su reuso, así como se protege la ecología de los cuerpos receptores y la salud pública. Los sistemas de tratamiento se llevan a cabo en varias etapas como:

a) Pretratamiento

Es la unidad inicial de un sistema de tratamiento de aguas residuales y tiene como objetivos;

- 1) Remover sólidos gruesos, grasas, arenas o materiales metálicos,
- 2) Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes flotantes o suspendidos,
- 3) Separar cantidades excesivas de aceites y grasas

Se compone de varios dispositivos como son:

Rejas (2-15 cm) y cribas (2.5-5 cm)

Desmenuzadores: molinos, cortadoras y trituradores.

Desarenadores: canales, donde se disminuye la velocidad (30 cm/s) para que se depositen los sólidos inorgánicos pesados.

Tanques de preaireación: tanques de sedimentación a los que se les introduce aire en proporción de 0.75 l/l de agua durante 30 min.

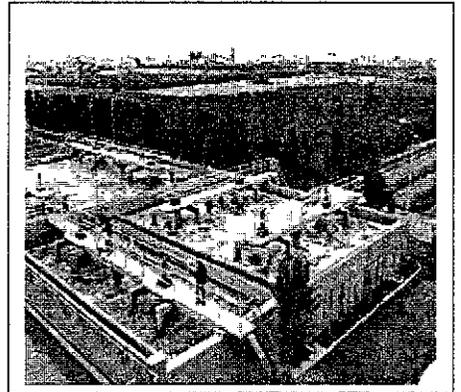
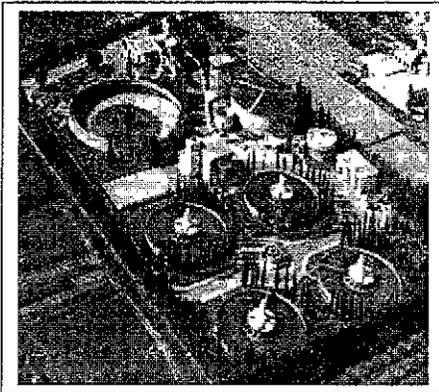
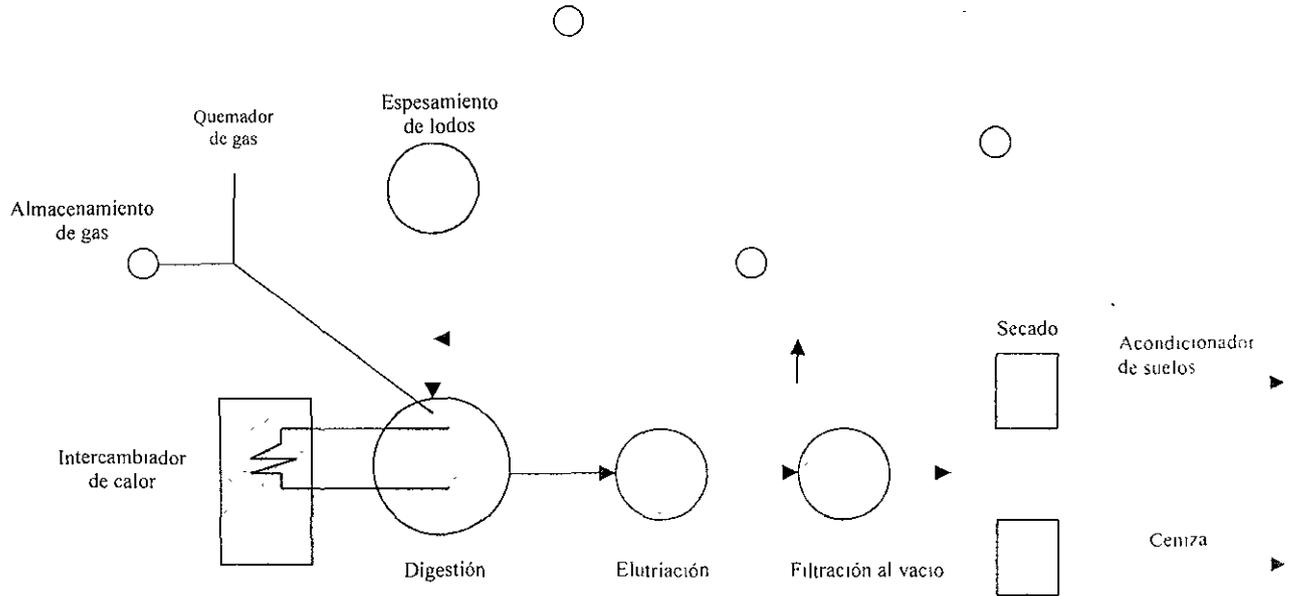
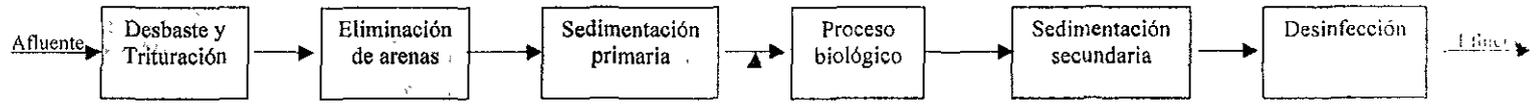


FIGURA 1.5 Plantas de Tratamiento

FIGURA 1.6 Diagrama de flujo generalizado de una planta de tratamiento de aguas residuales.



b) Tratamiento Primario ó Físico.

Su mayor utilidad se encuentra en la eliminación de materia suspendida y coloidal acompañada por la eliminación de color, metales pesados y nutrientes (fosforo). (Figura 1.7)

Tiene como finalidad,

- 1) Retirar sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables (40-60%).
- 2) Reducir la velocidad de 1-2 cm/seg (tuberías de 60 cm)

Dispositivos

Tanques de sedimentación permite la sedimentación de los sólidos en un determinado tiempo

Neutralización: adición de sustancias químicas para lograr un pH de 7.

Adición de sustancias químicas y floculación

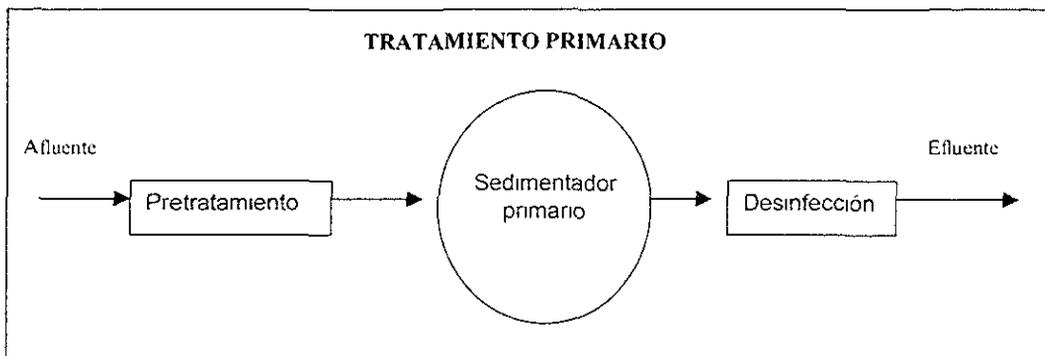


FIGURA 1.7 Tratamiento primario

c) Tratamiento Secundario ó Biológico

Mediante este tratamiento los microorganismos degradan la materia orgánica del agua residual, (Figura 1.8). Algunos de los procesos más comunes son:

- Lodos activados
- Lagunas anaerobias
- Filtros rociadores
- Lagunas aeradas
- Lagunas de estabilización
- Discos biológicos

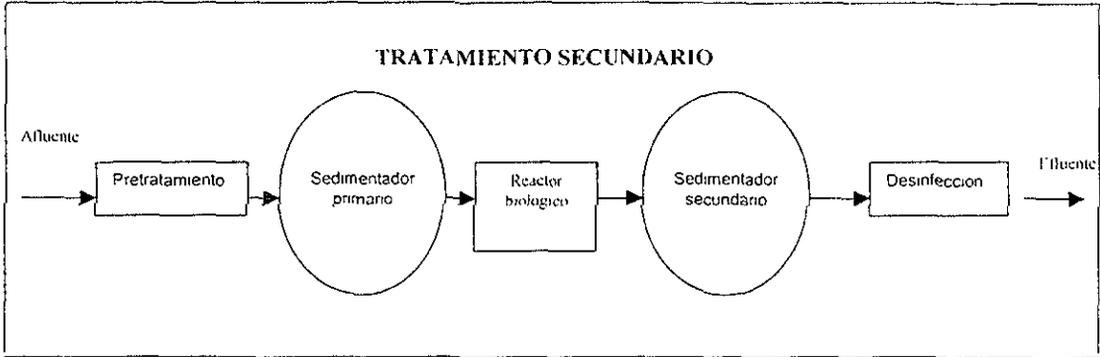


FIGURA 1.8 Tratamiento secundario

d) Tratamiento Terciario ó Químico

Tiene como finalidad eliminar compuestos de nitrógeno, fósforo, metales pesados y sustancias inorgánicas.

Tipos :

Coagulación y sedimentación

Filtración (Figura 1.9)

Adsorción

Intercambio iónico

Precipitación con cal o sosa (de metales pesados).

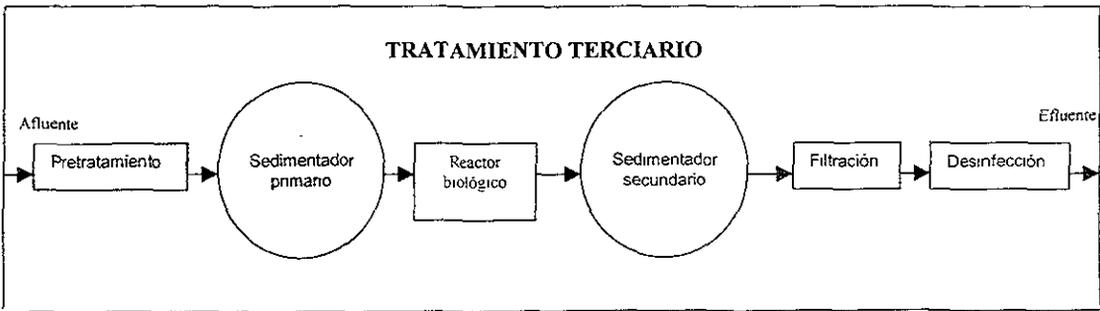


FIGURA 1.9 Ejemplo de un tren de tratamiento terciario

e) Desinfección.

Tiene por objeto destruir a los microorganismos patógenos presentes en el agua.

Métodos.

Físicos (elevación de la temperatura, luz ultravioleta)

Químicos (cloro, ozono, iones metálicos)

f) Tratamiento de lodos

Tiene como objetivos,

- 1) Eliminar total o parcialmente el agua que contienen los lodos.
- 2) Descomponer los sólidos orgánicos putrescibles

Métodos :

Espesamiento

Digestión y secado en lechos de arena

Acondicionamiento con productos químicos

Filtración al vacío

Secado aplicando calor

Incineración

En la tabla 1.2 se señala una serie de procesos o sistemas de tratamiento que podemos utilizar dependiendo de las sustancias que se desean eliminar de él.

El tipo y grado de tratamiento a seguir dependerá de:

- ♦ Tipo y cantidad de materia orgánica
- ♦ Capacidad de difusión en el nuevo ambiente
- ♦ Calidad del nuevo ambiente
- ♦ Uso que se le dará al agua tratada.

TABLA I.4

OPERACIONES, PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER LAS PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTENIDAS EN LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

SUSTANCIAS	UNIDAD, PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	CLASIFICACION	
Sólidos suspendidos y sedimentables	Cribado y Desmenuzado	F	
	Sedimentación	F	
	Flotación	F	
	Filtración	F	
	Coagulación/sedimentación	F y Q	
Orgánicos Biodegradables	<u>Procesos aerobios</u>		
	Lodos activados	B	
	Filtro percolador	B	
	Discos biológicos rotatorios	B	
	Lagunas aeradas	B	
	Lagunas aerobias	B	
	<u>Procesos anaerobios</u>		
	Fosa séptica	B	
	Tanque Imhoff	B	
	Laguna anaerobia	B	
	Filtro anaerobio	B	
	Reactor Lecho de Lodos con flujo Ascendente (UASB)	B	
	Patogenos	Desinfección con Cloro	Q
		Dióxido de Cloro	Q
		Hipoclorito de calcio	Q
Hipoclorito de sodio		Q	
Ozonación		Q	
Luz Ultravioleta		Q	
Nutrientes			
Compuestos de Nitrógeno	Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida		
	Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija.		
Fósforo	Arrastre con amoníaco		
Orgánicos refractorios	Intercambio iónico		
Metales pesados			

REF. 24

II EL PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS

Los procesos realizados por los microorganismos durante el tratamiento biológico tienen como objetivos la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica presente y, en muchos casos la eliminación de nutrientes como, nitrógeno y fósforo. Involucra la actividad de los microorganismos donde, los compuestos orgánicos son transformados por los microorganismos en material celular y energía.

II.1. Microbiología de las aguas residuales

Los factores ambientales son básicos ya que actúan como controladores del crecimiento y de la supervivencia, lo cual se aprecia en la distribución de los microorganismos cuyas interacciones dinámicas entre poblaciones microbianas y su entorno son necesarias para soportar la productividad y mantener la calidad ambiental de los ecosistemas. La disponibilidad de un microorganismo para degradar un contaminante es altamente dependiente de la estructura química del contaminante mismo. Un sencillo cambio en los componentes de un pesticida puede hacer la diferencia entre la biodegradabilidad y recalcitrancia (completa resistencia a la biodegradación).

Las diferentes interacciones entre las poblaciones microbianas, plantas y animales proveen estabilidad a la comunidad biológica para dar un hábitat adecuado y asegurar la conservación del balance ecológico. Entre ellas, destaca el mutualismo o simbiosis, la cual es una relación obligada entre dos poblaciones que se ven mutuamente favorecidas.

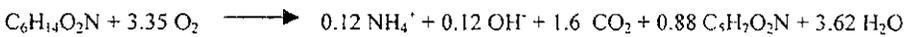
Los organismos acuáticos se agrupan en diferentes categorías de acuerdo con su capacidad de supervivencia en un sistema en particular. Las bacterias presentes en las áreas planctónicas y bentónicas juegan un papel muy importante en los ciclos biogeoquímicos. Algunas bacterias son heterótrofas, por lo que utilizan carbono reducido como fuente de energía, y otras son fotosintéticas por lo que proporcionan energía para reducir diferentes compuestos de carbono.

En los sedimentos, otras poblaciones bacterianas, actinomicetos y levaduras aseguran procesos de degradación de la materia orgánica, principalmente de tipo fermentativo. También se tiene una presencia abundante de una población bentónica compuesta en su mayoría por larvas de insectos.

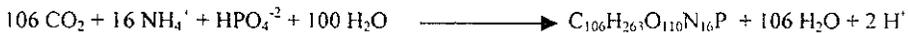
En las lagunas facultativas, los procesos de oxidación bacteriana convierten el material orgánico a dióxido de carbono, amoníaco y fosfatos. Las bacterias involucradas son *Pseudomonas sp*, *Flavobacterium sp* y *Alcaligenes sp*. (Ref. 31). La presencia de nutrientes (NH_4^+ , PO_4^{3-}) proporcionan un ambiente ideal para el desarrollo de las algas y éstas a través de su actividad fotosintética, producen más oxígeno. Este oxígeno está disponible para que las bacterias continúen la oxidación aerobia de la materia orgánica.

II.1.1 Remoción de materia orgánica

La respiración bacteriana degrada la DBO a CO_2 y H_2O vía la ecuación



Esta ecuación representa el proceso de respiración, el cual combina el rompimiento bacteriano catabólico del sustrato ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2\text{N}$) para producir energía y metabolitos, y la producción anabólica de nuevas células o biomasa ($\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$). El CO_2 producido metabólicamente es usado por las algas para generar nuevas células de acuerdo con la ecuación: (Ref. 3).



El oxígeno producido por la fotosíntesis de las algas es empleado para la respiración bacteriana.

Las siguientes ecuaciones representan los procesos de transformación que se llevan a cabo.

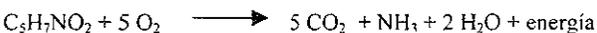
Oxidación (proceso desasimilatorio)



Síntesis (proceso de asimilación)



Respiración endógena (autooxidación)



En un medio anaerobio la conversión biológica ocurre en tres etapas. La primera (tóxica) consiste en el proceso que involucra la hidrólisis enzimática de compuestos de alto peso molecular a compuestos sencillos que pueden ser utilizados como fuente de energía y carbon. La acidogénesis (segunda etapa) involucra la conversión bacteriana de los compuestos obtenidos en la primera etapa a compuestos intermedios de baja masa molecular. La tercera etapa (metanogénesis) involucra la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales sencillos, principalmente metano y dióxido de carbono. (Ref. 27)

II.2 Microorganismos importantes en el tratamiento biológico de aguas residuales

Para poder llevar un control adecuado de un proceso biológico es fundamental conocer que son los microorganismos, cuales son las condiciones básicas de su crecimiento, cómo funcionan, cuál es su estructura y actividades bioquímicas, así como cuál es la naturaleza de la materia orgánica de que están constituidos

Bacterias

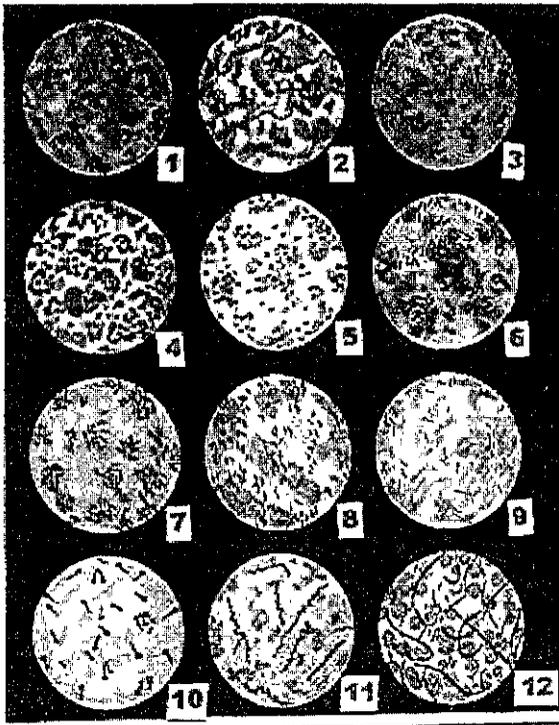
Son procariontes unicelulares. Su manera usual de reproducción es por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen por gemación. Las formas más comunes son tres, esféricas (cocos), cilíndricas (bacilos) y helicoidales (espirilos), como se puede observar en la figura II.1. Las bacterias varían mucho en tamaño, los tamaños más representativos son de 0.5 a 1.0 μm de diámetro para las esféricas, de 0.5 a 1.0 μm de ancho y de 1.5 a 3.9 μm de largo para las cilíndricas y de 0.5 a 1.0 μm de ancho y de 6 a 15 μm de largo para las helicoidales

En general su estructura consiste de citoplasma, una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros componentes orgánicos complejos. También contiene el ácido ribonucleico (RNA), cuyo papel principal es la síntesis de proteínas y el material genético formado por ácido desoxirribonucleico (DNA). El DNA contiene toda la información necesaria para la síntesis de componentes celulares.

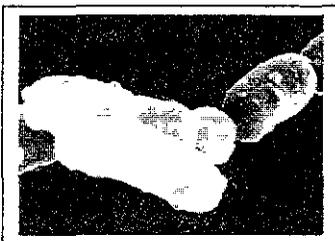
Las condiciones ambientales de temperatura y pH tienen un efecto importante sobre la supervivencia y el crecimiento de las bacterias. Se ha observado que la velocidad de crecimiento se aumenta al doble por cada 10 °C hasta que se alcanza la temperatura óptima. Según el intervalo de temperatura óptima, las bacterias se clasifican como:

Psicrófilas	-2°C a 12°C
Mesófilas	14°C a 45°C
Termófilas	>45°C a 65°C

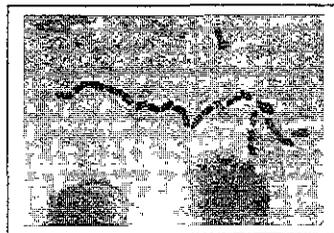
El pH es también un factor clave en el crecimiento de los microorganismos. La mayoría de las bacterias no pueden tolerar pH mayores a 9.5 ó menores a 4.0. Generalmente, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se encuentra entre 6.5 y 7.5.



- 1 - Estafilococos. se agrupan en racimos
- 2 - Estreptococos. Aparecen como cadenas
- 3.- Neumococos. Aparecen en parejas
- 4.- Gonococos. Se agrupan en parejas
- 5 - Meningococos. En parejas como granos de café.
- 6 - Bacilo Klebs-Loffer. Parecen masas
- 7 - Bacilos de Eberth. Como flagelos
- 8 - Vibriones. Como una coma curvada
- 9.- Bacilos de Koch: Como bastoncillos
- 10 - Bacilos Nicolaier. Como palillo de tambor
- 11.- Espiroqueta pallida. Como filamento helicoidal
- 12 - Bacilos Anthracis como largos filamentos



Pseudomonas



E. coli

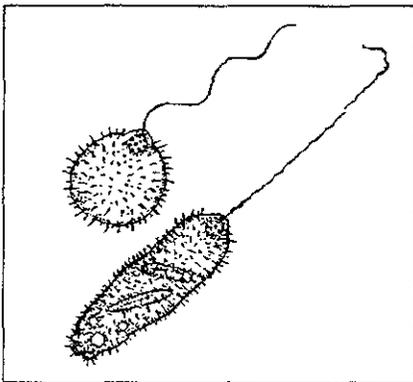
FIGURA II.1 Diferentes tipos de bacterias observadas en el microscopio.

Hongos

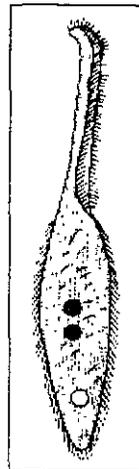
Los hongos para tratamiento de agua son multicelulares, (no fotosintéticos y heterótrofos). Los hongos se clasifican usualmente según su manera de reproducción. La cual pueden ser sexual y asexual, por fisión, gemación o formación de esporas. Los hongos producen hifas, las cuales forman una masa filamentososa denominada micelio. Las levaduras son hongos no filamentosos unicelulares. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos. Tienen la habilidad de crecer bajo condiciones poco húmedas y pueden tolerar valores de pH relativamente bajos. El pH óptimo para la mayoría de las especies es de 5 a 6. El requerimiento de nitrógeno de los hongos es la mitad de lo requerido por las bacterias. La capacidad de los hongos para sobrevivir bajo ciertas condiciones de pH bajo y concentraciones limitadas de nitrógeno se acoplan con su habilidad de degradar celulosa, lo que los hace muy importantes en el tratamiento biológico de desechos industriales y composteo de desechos orgánicos sólidos.

Protozoarios y rotíferos

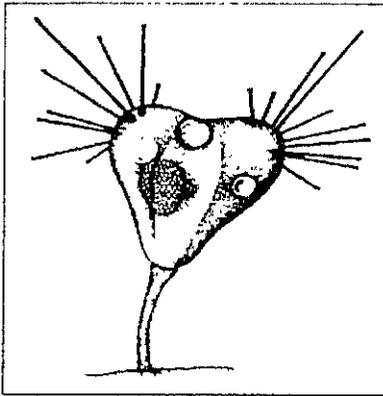
Los protozoarios son protistas móviles y microscópicos, generalmente son unicelulares. (la figura II.2 muestra algunos tipos de protozoarios). La mayoría de los protozoarios son heterótrofos aerobios, aunque algunos de ellos son anaerobios. Los protozoarios son generalmente más grandes que las bacterias y muchas veces utilizan a estas como fuente de energía. En efecto, los protozoarios actúan como pulidores de efluentes en procesos de tratamiento de aguas residuales consumiendo bacterias y sobre todo la materia orgánica en suspensión.



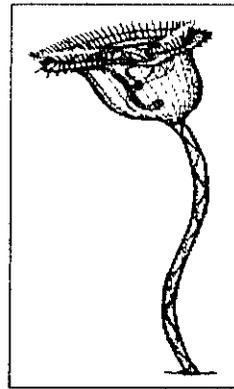
a) Protozoarios



b) Protozoo ciliado



c) Ciliado asociado al floculo



d) Ciliados nadadores

FIGURA II.2 Diferentes tipos de protozoarios

Los rotíferos son aerobios, heterótrofos y pluricelulares. Su nombre se debe a que tienen dos series de cilios rotativos en su cabeza, los que usan para moverse y capturar su alimento (figura II.3). Los rotíferos son muy eficientes para consumir bacterias dispersas y floculantes, y partículas pequeñas de materia orgánica. Su presencia en efluentes indica un proceso de alta eficiencia.



FIGURA II.3 Rotíferos

Algas

Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autotrofas y fotosintéticas. Ellas son importantes en los procesos de tratamiento biológico por dos razones. 1) Su capacidad para producir oxígeno por fotosíntesis es vital para la ecología de un ambiente. 2) En la operación eficiente de lagunas de oxidación aerobias o facultativas es necesaria la presencia de algas para proveer de oxígeno a las bacterias aerobias heterótrofas.

II.3 Requerimientos nutricionales para el crecimiento microbiano

Para poder sobrevivir y reproducirse los microorganismos requieren: 1) una fuente de energía, 2) una fuente de carbono para la síntesis de nuevo material celular, 3) elementos inorgánicos como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio, 4) un aceptor final de electrones. Algunos factores de crecimiento también pueden ser requeridos para la síntesis celular.

Las fuentes de carbono disponibles son el carbono orgánico y el dióxido de carbono. Los organismos que usan el carbono orgánico para formar material celular se llaman heterótrofos. Aquellos que sintetizan su material celular a partir del dióxido de carbono se denominan autótrofos. La conversión de dióxido de carbono a material celular orgánico es un proceso reductivo y requiere del suministro de energía. Debido a esto los organismos autótrofos gastan mucha más energía para la síntesis celular que los heterótrofos, lo que resulta en velocidades de crecimiento más bajas al compararlos con los heterótrofos.

La energía necesaria para la síntesis celular se puede obtener de la luz ó de reacciones químicas oxidativas. Aquellos organismos que son capaces de usar la luz como fuente de energía se denominan fotótrofos. Los fotótrofos pueden ser heterótrofos (ciertas bacterias sulfúricas) ó autótrofos (algas y bacterias fotosintéticas). Los organismos que derivan energía de reacciones químicas se conocen como quimiótrofos. Los quimiótrofos también pueden ser heterótrofos (protozoarios, hongos y mayoría de bacterias) ó autótrofos (como las bacterias nitrificantes). Los quimioautótrofos obtienen su energía a partir de la oxidación de compuestos inorgánicos reducidos como es amonio, nitritos y sulfuros. Quimioheterótrofos usualmente derivan su energía de oxidación de compuestos orgánicos.

Para el desarrollo celular también se requiere de un suministro de nitrógeno el cual se destina principalmente a la síntesis de proteínas. También deben estar presentes otros nutrientes como S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na y Cl. Nutrientes de menor importancia son Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V, y W, los cuales se emplean como cofactores enzimáticos. Además también pueden ser necesarios algunos factores de crecimiento como precursores o constituyentes de material celular que no pueden ser sintetizados por los microorganismos. Aunque los factores de crecimiento difieren de un organismo a otro, se puede decir que los principales son aminoácidos, purinas, pirimidinas y vitaminas.

II.3.1 Crecimiento microbiano

En general por crecimiento microbiano, se entiende al aumento de tamaño y número de individuos. El tiempo necesario para que cada división proceda se llama tiempo de duplicación o de generación y puede ser de días o minutos. El modelo de crecimiento microbiano consta de 4 fases distintas (figura II 4):

1 Fase lag o de adaptación

Los microorganismos presentes al inicio del proceso requieren de un tiempo para adaptarse a las condiciones microambientales. Aumentan su tamaño y entonces comienzan a reproducirse.

2. Fase de crecimiento exponencial

Durante este período las células se dividen a velocidades determinadas por su tiempo de generación y su capacidad para metabolizar nutrientes

3 Fase estacionaria

La población permanece estacionaria: Las razones para este fenómeno son las siguientes:
Que las células hayan agotado el sustrato o nutrientes necesarios para el crecimiento.
Que el crecimiento de nuevas células se nivele con la muerte de las células viejas.

4. Fase de muerte o respiración endógena

Durante esta fase, la tasa de muerte de las bacterias excede a la producción de células nuevas. La tasa de muerte generalmente es función de la población viable y de las características ambientales.

CURVA DE CRECIMIENTO BACTERIANO

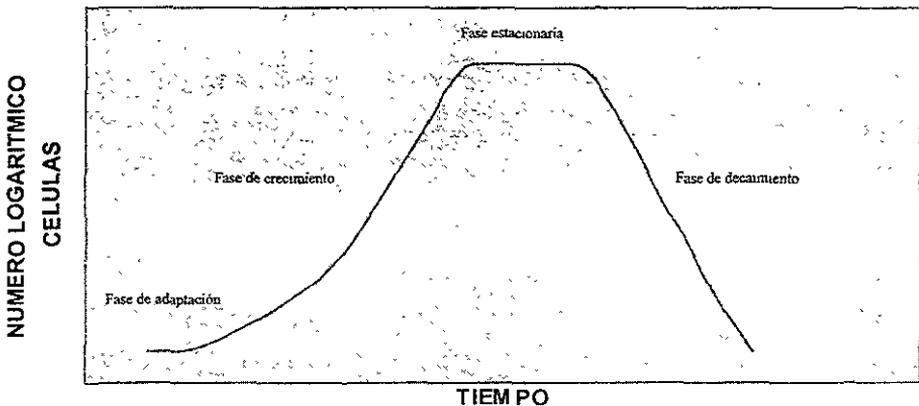


FIGURA II.4 Curva de crecimiento microbiano

Los procesos de tratamiento biológico ocurren con poblaciones mixtas y complejas que interactúan entre sí, donde cada uno de los microorganismos tiene su propia curva de crecimiento. El perfil de cada grupo con respecto al tiempo depende de la disponibilidad de nutrientes, de las condiciones ambientales como temperatura y pH, y del tipo de metabolismo empleado.

11.3.2 Tipos de Crecimiento microbiano

Los microorganismos pueden presentar diferentes formas de crecimiento microbiano.

1. Crecimiento en suspensión

En este caso los microorganismos crecen suspendidos en el líquido bajo tratamiento, formando conglomerados o floculos de diversos tamaños y consistencias; bajo esta estructura logran una *mayor superficie de contacto con los nutrientes en los que se encuentran inmersos, eliminando a la vez aquellos compuestos que no les son útiles.*

2. Crecimiento adherido

Este tipo de crecimiento se realiza mediante la adhesión de los microorganismos a algún medio fijo que sirva de soporte, como son rocas, materiales plásticos, o cerámicos según sea el tipo de tratamiento biológico empleado. En la película biológica activa fija, es donde se realiza la conversión de materia orgánica disuelta y otros constituyentes presentes en las aguas de desecho, a CO₂, H₂O y otros metabolitos disueltos. A partir de esta conversión es posible que los microorganismos presentes obtengan la energía suficiente para mantener su metabolismo basal y mediante su reproducción, incorporar nuevos individuos al medio de soporte.

De estos dos tipos de crecimiento es el de película biológica activa fija, el que ha tenido más auge en los últimos tiempos. Su uso se enfoca a los llamados filtros percoladores (lechos de oxidación biológica) y a los reactores biológicos rotatorios. Estos últimos presentan varias ventajas con respecto a los otros sistemas, las cuales se detallarán más adelante.

11.3.3 Interacciones entre poblaciones microbianas

Bajo condiciones naturales un microorganismo rara vez existe aisladamente. En un ambiente natural (hábitat), coexisten numerosas poblaciones con características diferentes, interactuando unas con otras formando a veces un consorcio microbiano, el cual está estructurado de manera que cada población contribuye al mantenimiento del mismo. Existen interacciones positivas (comensalismo, sinergismo y mutualismo), negativas (competencia y amensalismo) e interacciones que son positivas para una población, pero negativas para otra (parasitismo y predación), además de neutralismo que implica la carencia de interacciones entre dos poblaciones microbianas. Cada una de estas interacciones ocurren entre individuos dentro de una sola población microbiana y entre las diversas poblaciones de un consorcio.

Interacciones negativas

Las interacciones negativas se dan cuando todos los miembros de una población microbiana utilizan los mismos sustratos y ocupan el mismo nicho ecológico. Se sabe que las poblaciones interactúan con un mecanismo de retroalimentación o autoregulación que limita las densidades de población, esto beneficia a las especies porque previene la sobrepoblación.

Competencia.- Es una relación negativa entre dos poblaciones que se ven adversamente afectadas con respecto a su supervivencia y crecimiento

Amensalismo (antagonismo).- Cuando una población microbiana produce una sustancia que es inhibitoria para otra población, la relación es llamada amensalismo. La primera población puede no ser afectada por la sustancia inhibitoria o puede ganar una etapa competitiva que es benéfica. Los términos antibiosis y alelopatía han sido estudiados para describir algunos casos de inhibición química. Hay casos de amensalismo complejo entre poblaciones en hábitats naturales, como los factores virulentos en agua de mar y los fungicidas en suelos. Algunos microorganismos producen antibióticos, que en bajas concentraciones matan e inhiben el crecimiento de otros organismos.

Interacciones positivas

Las interacciones positivas dentro de una población están dadas por cooperación. Estas interacciones son particularmente importantes cuando existen sustratos insolubles o difícilmente degradables. El cooperativismo funciona también como un mecanismo de defensa contra factores ambientales hostiles. El intercambio genético es otro tipo de interacción cooperativista, la resistencia a antibióticos y metales pesados, y la capacidad para utilizar sustratos orgánicos poco comunes son algunas veces transmitidos a otros miembros de una población. Este fenómeno permite que la adaptación genética que ha surgido en un individuo se disemine a través de toda la población.

Comensalismo.- En una relación comensal una población se beneficia mientras que otra permanece sin ser afectada. El comensalismo en ocasiones resulta cuando la población no afectada, modifica el hábitat de tal forma que otra población se beneficia, debido a que el hábitat modificado es más satisfactorio para sus necesidades.

Las bases para que se lleven a cabo relaciones comensales entre poblaciones microbianas son: la producción de factores de crecimiento; la transformación de compuestos insolubles a solubles y la conversión de estos a su forma gaseosa, ya que el cambio de estado sólido a líquido y de líquido a gas moviliza compuestos hasta otros hábitats que benefician a otras poblaciones. Los productos de la degradación de moléculas orgánicas por una población, constituyen un sustrato para otra población; la remoción o neutralización de materiales tóxicos, son otro ejemplo de comensalismo.

Mutualismo (simbiosis). - El mutualismo, en ocasiones llamado simbiosis, es una relación obligatoria entre dos poblaciones que se benefician mutuamente. Esta relación requiere una proximidad física, es altamente específica y un miembro de la asociación no puede ser reemplazado por otra especie relacionada. El mutualismo permite a los organismos existir en hábitats que no podrían ser ocupados por ninguna de las poblaciones solas. Esto no excluye la posibilidad de que las poblaciones puedan existir separadamente en otros hábitats. Las actividades metabólicas y tolerancias fisiológicas de las poblaciones involucradas en la relación son normalmente muy diferentes de las de cada una de las poblaciones por sí mismas.

Interacciones disparejas

Parasitismo.- En una relación de parasitismo, la población que se beneficia el parásito, normalmente satisface sus requerimientos nutricionales a espensas de otra población (hospedero)

Predación - La predación ocurre típicamente cuando un organismo, el predador, engulle y digiere a otro organismo, la presa. Normalmente las relaciones predador-presa son de corta duración y el predador es más grande que la presa. Los principales depredadores microbianos son los protozoarios, los cuales pueden ingerir bacterias e incluso otros protozoarios

CUADRO I.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PATÓGENOS POR MEDIO DE VARIOS
PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*

TRATAMIENTO	VIRUS ENTERICOS	BACTERIAS	QUISTES DE PROTOZOOS	HUEVOS DE HELMINTOS
Primario-Secudario	0-30	50-90	10-50	30-90
Filtro percolador	90-95	90-95	50-90	50-95
Lodo activado	90-99	90-99	50	50-99
Zanja de oxidación	90-99	90-99	50	50-99
Lagunas de Estabilización. Tres Unidades en serie; con >= 25 días de retención	>=99.99	>=99.99	100	100
Tanques sépticos	50	50-90	0	50-90

REF. 22

III.- PROCESOS BIOLÓGICOS

El propósito del tratamiento biológico es remover la materia orgánica coloidal y disuelta presente en el agua residual, para lo cual utiliza a los microorganismos capaces de convertir compuestos complejos a productos finales simples como CO_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 y biomasa

La mayoría de los procesos biológicos de tratamiento de agua están basados en fenómenos biológicos que ocurren de forma natural, pero son llevados a cabo en biorreactores a mayores velocidades. En estos procesos los principales biodegradadores son las bacterias, aunque también juegan un papel muy importante otros microorganismos, tales como protozoarios, rotíferos, hongos y algas.

III.1 División metabólica de los procesos biológicos

Los procesos biológicos, en función del tipo de metabolismo empleado por los microorganismos que en él intervienen, se clasifican en tres grandes grupos: aerobios, anaerobios y facultativos.

1) *Procesos biológicos anaerobios*

Estos procesos los realizan microorganismos que no requieren oxígeno molecular libre en solución, ya que cubren las necesidades (Ref. 27). La Tabla III.2 Muestra los principales procesos anaerobios utilizados en el tratamiento de las aguas residuales.

2) *Procesos biológicos aerobios*

Al igual que el proceso anterior, es posible remover el material orgánico soluble, pero por medio de microorganismos que requieren para su desarrollo de suficiente oxígeno molecular libre en solución (cuando menos 2 mg/l). Procesos biológicos de estas características son los lodos activados convencionales, filtros percoladores, aireación extendida, lagunas de aireación, digestión aerobia y discos biológicos entre otros (Ref 21). En la tabla III.1 se muestran los principales procesos aerobios.

3) *Procesos biológicos mixtos o facultativos*

Consisten en una combinación de los dos procesos biológicos anteriormente mencionados.

TABLA III.1

PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS (AEROBIOS) UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tipo	Nombre común	USO
PROCESOS AEROBIOS		
Cultivo en suspensión	Proceso de lodos activados:	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Convencional ▪ Tanque de mezcla completa ▪ Aireación graduada ▪ Oxígeno puro ▪ Aireación modificada ▪ Contacto y estabilización ▪ Aireación prolongada ▪ Canales de oxidación 	Eliminación de la DBO (nitrificación).
	Nitrificación de cultivos en suspensión.	Nitrificación
	Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO (nitrificación).
	Digestión aerobia	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aire convencional ▪ Oxígeno puro 	Estabilización, eliminación de la DBO
Cultivo fijo	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO .
	Filtros percoladores	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja carga ▪ Alta carga 	Eliminación de la DBO (nitrificación)
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)	Eliminación de la DBO (nitrificación)
	Reactores de lecho compacto.	Nitrificación
PROCESOS COMBINADOS		
	Filtros percoladores, Lodos activados	Eliminación de la DBO
PROCESOS ANOXICOS		
Cultivo en suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión.	Desnitrificación
Crecimiento Fijo	Desnitrificación con cultivo fijo.	Desnitrificación

REF. 23

TABLA III:2

PRINCIPALES PROCESOS BIOLÓGICOS (ANAEROBIOS) UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

PROCESOS ANAEROBIOS

Cultivo en suspensión	Digestión aerobia	Estabilización, eliminación de la DBO.
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja carga, una etapa ▪ Alta carga, una etapa ▪ Doble etapa 	
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO
Cultivo fijo	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO (Nitrificación)
	Lagunas anaerobias (estanques)	Eliminación de la DBO (Estabilización).

PROCESOS AEROBIOS, ANÓXICOS O ANAEROBIOS

Cultivo en suspensión	Fase única	Eliminación de la DBO, nitrificación, desnitrificación.
	Nitrificación-Desnitrificación	
Crecimiento vinculado	Nitrificación-Desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación.
	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO
Procesos combinados de cultivo fijo.	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO.
	Estanques anaerobios-facultativos	Eliminación de la DBO (nitrificación)
	Estanques anaerobios-facultativos-aerobios	Eliminación de la DBO.

REF. 23

III.2- Lodos Activados

Es un proceso de tratamiento a través del cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un reactor totalmente mezclado o de flujo pistón, al cual se encuentra acoplado un sedimentador, desde donde se separa la biomasa del agua a tratar. Una parte de la biomasa se recicla al reactor y la parte restante se desecha. La parte que se desecha es de igual magnitud que la cantidad producida de biomasa y se hace con objeto de mantener constante la concentración de biomasa en el reactor (Figura III.1) La fracción que se recicla tiene como objetivo mantener un cultivo continuo de una población microbiana mixta (biomasa) a una concentración constante y elevada. En el proceso de lodos activados los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica del agua residual de manera que ésta les sirve de alimento para realizar sus funciones vitales

El proceso de lodos activados tiene la capacidad de convertir material orgánico e inorgánico en uniones químicas más estables y en material celular. Después de la sedimentación primaria el material orgánico soluble o suspendido coloidal es metabolizado por diferentes tipos de microorganismos para dar como productos principales, células, CO_2 y H_2O .

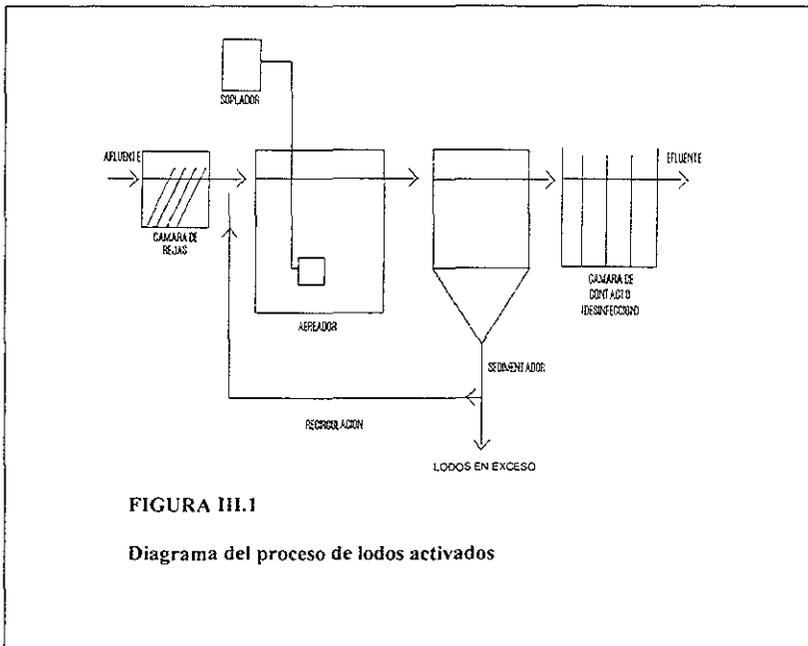


FIGURA III.1

Diagrama del proceso de lodos activados

III.2.1 Elementos básicos de las instalaciones del proceso de lodos activados

- **Tanque de aireación** Estructura donde el agua residual y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados. En esta unidad se lleva a cabo una reacción biológica, mediante la cual los microorganismos utilizan la materia orgánica del agua residual, como alimento y de esta forma se reproducen.
- **Tanque sedimentador** El efluente mezclado procedente del tanque aireador pasa por un proceso de sedimentación, que permite separar los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un efluente clarificado Figura III.3
- **Equipo de aireación:** Mediante este equipo se realiza la inyección de oxígeno necesario para activar a las bacterias heterótrofas. Figura III.2

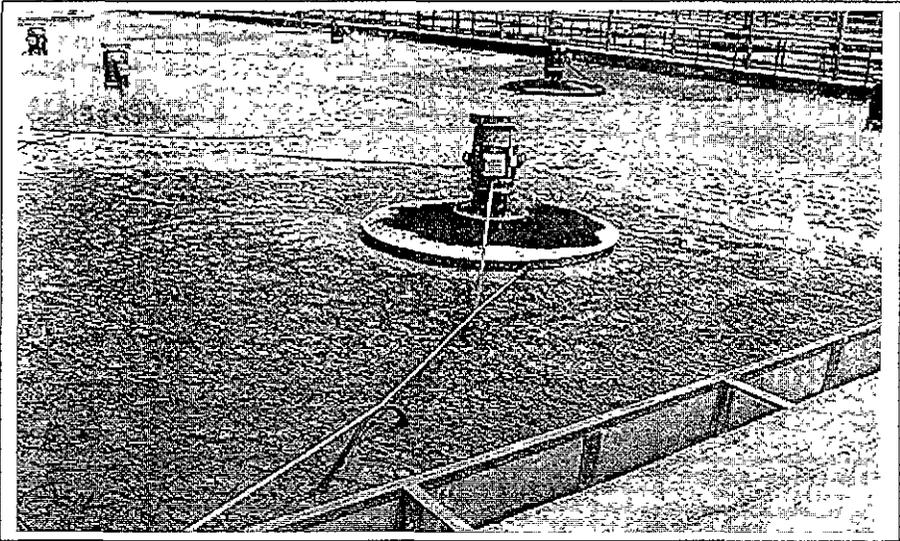


FIGURA III-2 Aireadores operando en un sistema de lodos activados.

- **Sistema de retorno de lodos:** El propósito de este sistema es el de mantener alta la concentración de microorganismos en el tanque de aireación. Para lo cual una gran parte de sólidos biológicos sedimentables del tanque sedimentador son retornados al tanque de aireación.
- **Exceso de lodos y su disposición:** Los lodos producidos en exceso, por el crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos.

III.2.1.1. Pretratamiento

Ajuste de Aguas Residuales

En algunos casos las aguas residuales deben ser acondicionadas antes de proceder a la aplicación del proceso de lodos activados, esto se debe al hecho de que ciertos elementos actúan como inhibidores de los procesos biológicos, como sucede cuando se tienen

- Sustancias dañinas a la actividad microbiana.(ejemplo. Cl_2).
- Grandes cantidades de sólidos.
- Aguas residuales con valores anormales de pH.
- Grandes fluctuaciones en los gastos.

III.2.1.2 Remoción de la DBO en un Tanque de aireación.

Las aguas residuales crudas mezcladas con el lodo activado retornado del sedimentador secundario son aireadas (como se observa en la figura III 3), hasta obtener 2 mg/l de oxígeno disuelto o más, en este proceso una parte de la materia orgánica contenida en los efluentes es mineralizada y gasificada y la otra parte es asimilada por los microorganismos para reproducirse.

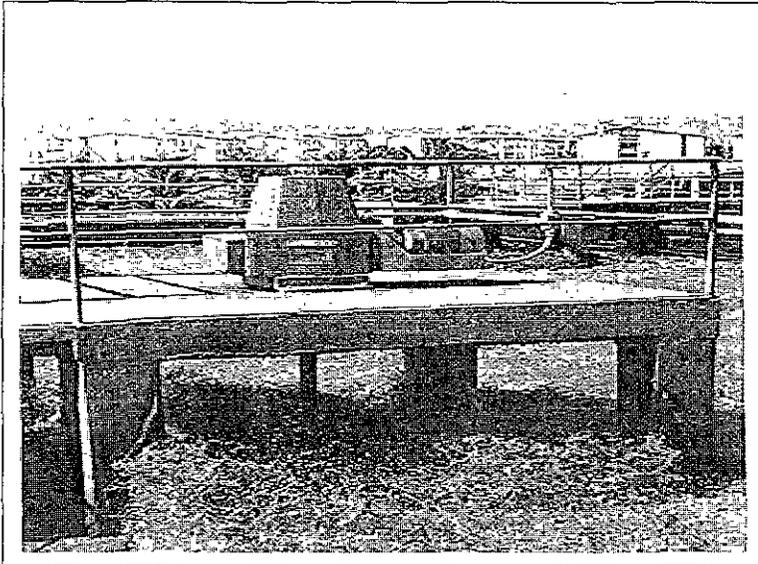


FIGURA III-3 Aireación de las aguas en un sistema de lodos activados.

III.2.1.3 Separación de sólidos en el Tanque de Sedimentación

Los lodos activados provenientes del tanque de aireación deben ser separados del licor mezclado, este proceso se realiza en el tanque de sedimentación (figura III 4), concentrándolos por gravedad. Su finalidad es:

- a) Conseguir un efluente clarificado con una mínima cantidad de sólidos suspendidos
- b) Asegurar el lodo de retorno.

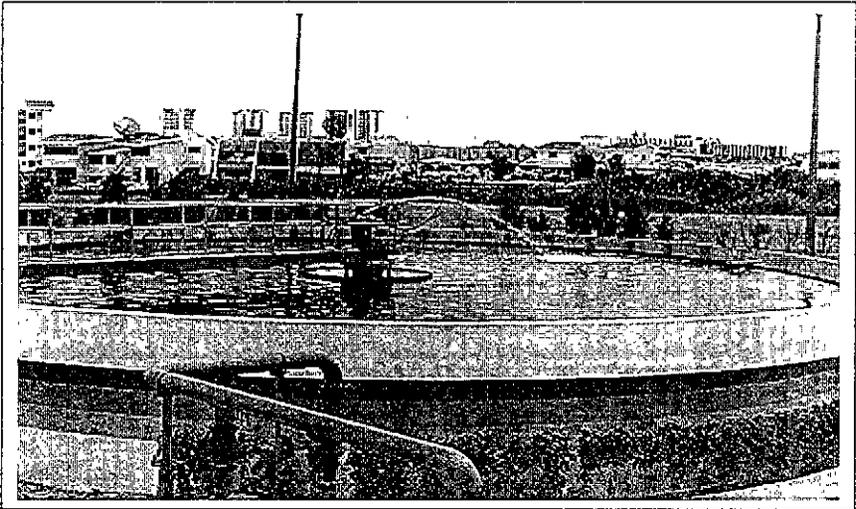


FIGURA III-4 Tanque Sedimentador

III.2.1.4 Descarga del exceso de lodos

Con la finalidad de mantener constante la concentración de los lodos activados en el licor mezclado, una parte de los lodos es eliminada del sistema y enviada a lechos de secado o espesadores y finalmente llevada a filtros mecánicos (filtros prensa, de cinta etc.) para posteriormente disponer del lodo seco como residuo sólido.

Los flóculos biológicos de los lodos activados, están compuestos de bacterias heterotróficas, constituyen el elemento principal para la purificación de las aguas y tienen dos funciones muy importantes:

- 1). Realizar una remoción eficiente de la materia orgánica.
- 2). Propiciar la eficiente separación de sólidos

III.2.2 Variantes del sistema de lodos activados

Actualmente se conocen muchas modificaciones del sistema de lodos activados. Estas modificaciones han sido desarrolladas para mejorar la operación del sistema bajo ciertas circunstancias como en los siguientes casos.

- La carga orgánica actual excede a la de diseño para operación del proceso convencional
- Se requiere adicionar nutrientes para tratar adecuadamente el afluente.
- Existen variaciones estacionales de flujo y carga orgánica.

III.2.2.1. Sistema convencional de lodos activados

El sistema convencional de lodos activados consta de un tanque de aireación angosto y largo para que el mezclado se aproxime al modelo de flujo pistón (figura III.5). Para lograr una mejor aproximación se colocan los difusores de aire cerca del fondo y pegados a una pared a lo largo del tanque de aireación. De esta forma se logra un flujo con líneas de corriente en espiral a lo largo del tanque como se observa en la figura III.6

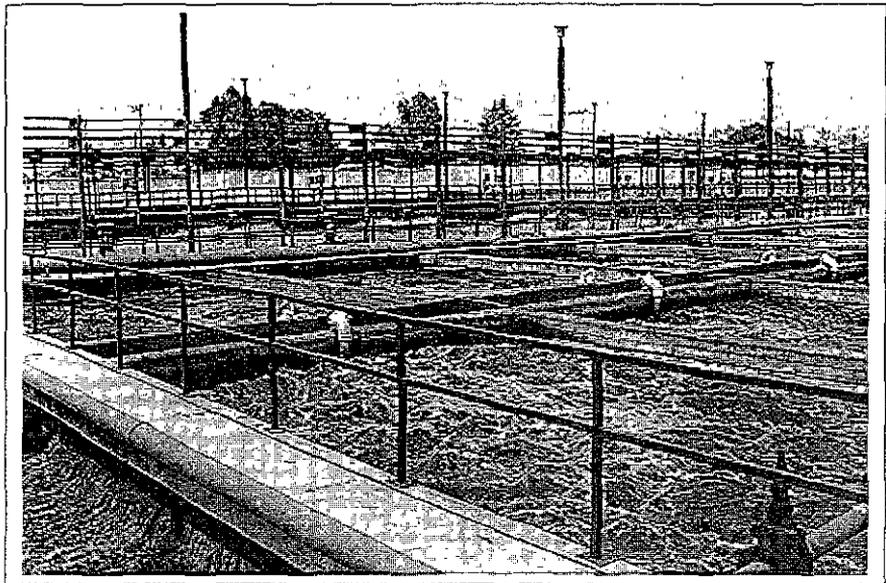
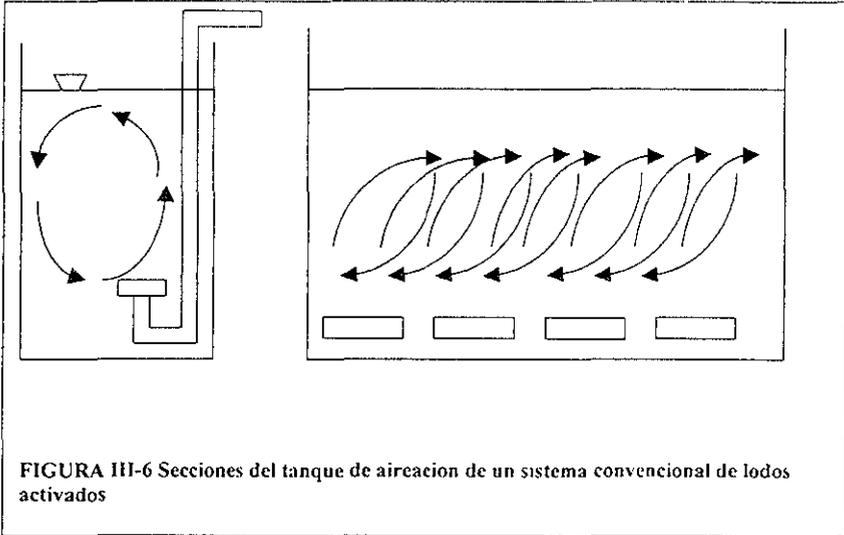


FIGURA III.5 Sistema convencional de lodos activados



Este sistema presenta la gran desventaja de que, cuando se presentan variaciones súbitas en el gasto y concentración de la materia orgánica, el sistema responde de una manera muy sensible desestabilizándose. Este efecto ha sido detectado cuando entran aguas de desecho, de forma súbita, con altas concentraciones de material orgánico, originando que el consumo de oxígeno a la entrada del tanque sea tan alto, que el sistema de aireación no alcance a proveer el oxígeno suficiente en esta región del tanque.

III.2.2.2. Aireación prolongada (o proceso de oxidación total)

Este proceso es una modificación del proceso de lodos activados (figura III.7). La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional de lodos activados, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados. Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena.

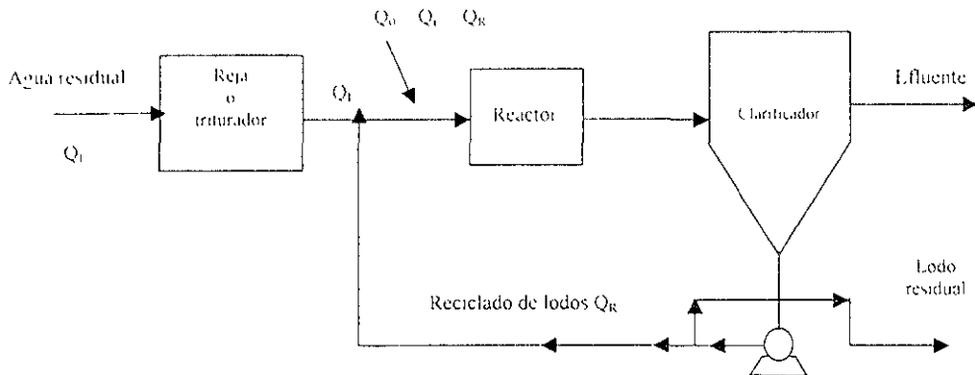


FIGURA III-7 Proceso convencional de aireación prolongada

La formación de biomasa se puede describir de la siguiente manera.

Formación total de biomasa	=	Formación neta de biomasa	-	Pérdida por decaimiento endógeno
-----------------------------------	----------	----------------------------------	----------	---

En el caso de la aireación extendida, para efectos de análisis, teóricamente se considera que no hay desecho de lodos y tampoco acumulación, o por lo menos las cantidades son mínimas. Entonces el tiempo de retención celular se vuelve infinito. Esto quiere decir que se debe proporcionar suficiente sustrato a la biomasa, para que lleve a cabo sus funciones catabólicas, lo cual puede lograrse manteniendo baja la carga orgánica. Esto puede efectuarse aumentando el tamaño del tanque de aireación. Sin embargo, para la operación real, los tiempos de retención celular son finitos.

III.2.2.2.1 Comparación de los procesos de aireación prolongada y lodos activados

El proceso de aireación extendida o prolongada tiene las siguientes características.

- 1.- Mayor tiempo de retención en el reactor.
- 2.- Cargas orgánicas menores. En el proceso de aireación prolongada, la carga orgánica, expresada como relación de sustrato a microorganismos (F/M), se encuentra normalmente comprendida entre 0.10 y 0.25 d⁻¹, frente a los valores de 0.3 a 0.7 d⁻¹ del proceso convencional de lodos activos (Ref. 37)

3 - Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor. Estos valores varían entre 3,500 y 5,000 mg/l en la aireación prolongada frente a 2,000-3,000 mg/l del proceso convencional de lodos activos. La combinación de las características definidas en 1 y 2 (menor sustrato para una mayor población de microorganismos) produce condiciones de inanición en los microorganismos. El cambalismo resultante (condiciones de respiración endógena) reduce la producción neta de MLSS (sólidos suspendidos en el licor mezclado), con lo que se consigue una disminución de la acumulación de lodos (Ref. 37).

4- Mayor consumo de oxígeno en el proceso de aireación prolongada. En la siguiente tabla III-3 se presenta una comparación de las principales características de los procesos de lodos activados convencional y aireación prolongada.

TABLA III-3 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE Lodos ACTIVADOS CONVENCIONAL Y AIREACIÓN PROLONGADA		
Características	Lodos activados convencionales	Aireación prolongada
Substrato a microorganismos, Kg DBO/día Kg MLSS	0.3-0.7	0.10-0.25
Concentración de MLSS en el reactor (mg/l).	2,000-3,000	3,500-5,000
Rendimiento global de disminución de la DBO, (incluye tanto la DBO soluble como la insoluble, %)	85-95	85-98
Características del efluente		
▪ DBO ₅ , soluble (mg/l)	10-20	10-20
▪ DBO ₅ total (en suspensión + coloidal + soluble), (mg/l)	15-25	20-40
▪ Sólidos en suspensión (mg/l)	< 20	< 70
Producción de lodos (Kg./Kg. DBO, consumida)	≈ 0.03	≈ 0.01
Requisitos de O ₂ (como % de la DBO, consumida)	90-95	120
Tiempo de residencia en el reactor biológico	4-8 hrs	15-36 hrs
Edad de los lodos.	5-15 días	20-60 días

Ref. 23

III.2.2.2.2 Unidades de aireación prolongada

En las figuras III 5 y III.13 se representa una unidad de aireación prolongada convencional y una variante de la misma conocida como canal de oxidación. En la unidad de aireación convencional (figura III 5) el afluente pasa primero por una reja para separar los sólidos en suspensión gruesos con objeto de proteger al reactor de posibles obstrucciones. En algunos lugares se utiliza un triturador en lugar de la reja. El diagrama de flujo de la unidad convencional es idéntico esencialmente al proceso de lodos activados. El efluente del clarificador puede clorarse antes de su descarga en las aguas receptoras.

En la fig.III 13 se muestra el diagrama del canal o zanja de oxidación. Parte esencial de este sistema es un canal de aireación provisto de un rotor de aireación. Este rotor tiene dos funciones: airear y proveer de velocidad al licor de mezcla en el canal. Los dos modelos de rotores utilizados con mayor frecuencia son los de cepillo y los de tipo jaula. La velocidad del líquido es del orden de 0.3 m/s. La mezcla de agua negra pasa repetidamente por el rotor de aireación a intervalos cortos. Los rotores tienen un diámetro de aproximadamente 75 cm, giran a 75 r.p.m., con una profundidad de inmersión de 15 cm y capacidad de oxigenación del orden de 3 Kg O₂/h

Debido a que el objetivo fundamental del proceso de aireación prolongada es reducir la manipulación de lodos, normalmente no se incluye la clarificación primaria como parte de dicho proceso.

III.2.2.2.3 Decantación de lodo en la aireación prolongada

Aunque teóricamente la producción de lodo en el proceso de aireación prolongada es nula, en la práctica esto no sucede así ya que parte del lodo no es biodegradable y en consecuencia se acumula. La producción neta de lodos debe eliminarse. En los procesos de aireación prolongada los microorganismos se ven obligados a realizar respiración endógena y a metabolizar el material del citoplasma de sus colegas. Lo que queda de este proceso son membranas celulares no degradables relativamente ligeras al compararlas con el material del citoplasma que decanta con dificultad. En consecuencia los tanques de decantación en los sistemas de aireación prolongada deben proporcionar tiempos de retención superiores a los requeridos en el proceso convencional de lodos activados. El tiempo de retención es de 4 h aproximadamente frente a las 2 hrs típicas del proceso convencional de lodos activados.

III.2.2.2.4 Nitrificación en la aireación prolongada

En la aireación prolongada se puede presentar nitrificación hasta un grado relativamente apreciable con la consiguiente conversión de nitrógeno amoniacal a nitritos y nitratos, ya que se cuenta en este proceso con una carga orgánica (relación F/M) débil y un suministro de aire en exceso. La nitrificación se relaciona con la caída del pH en el sistema debido a la formación del ácido nítrico. El pH puede descender hasta valores de alrededor de 4.5 en cuyo caso el proceso biológico puede verse seriamente afectado. En algunas plantas depuradoras se agrega lechada de cal al reactor biológico para mantener un pH neutro.

III.2.2.3 Aireación escalonada

Esta modificación consiste en alimentar las aguas de desecho a diferentes longitudes de un reactor tubular (ver figura III.8). En este sistema la aireación se introduce en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación. Esta disposición proporciona un reparto equitativo de las relaciones F/M a lo largo del tanque

El tanque de aireación se divide mediante pantallas en varios canales paralelos. Cada canal constituye una etapa del proceso y las etapas están unidas entre sí en serie. El lodo reciclado se introduce en la entrada del tanque de aireación. (Este proceso, el suministro y demanda de oxígeno a lo largo de la longitud del tanque quedan representados en la figura III.9)

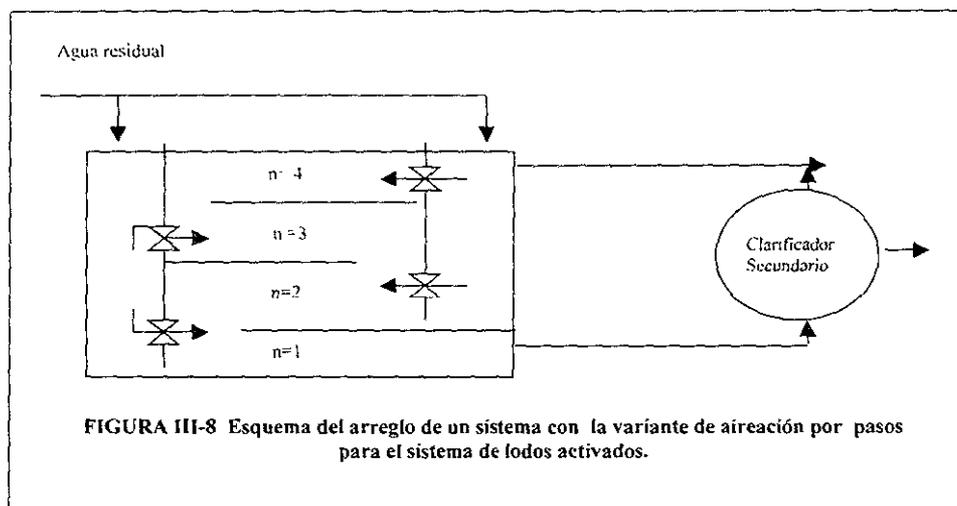


FIGURA III-8 Esquema del arreglo de un sistema con la variante de aireación por pasos para el sistema de lodos activados.

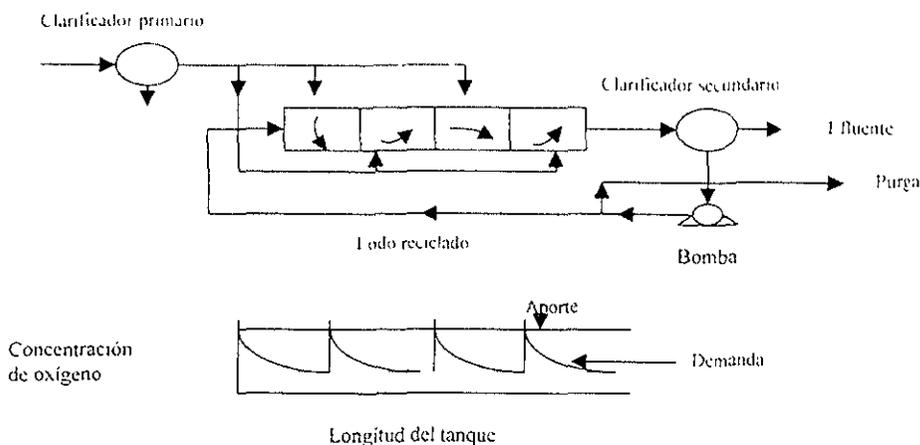


FIGURA III-9 Proceso de aireación escalonada

III.2.2.4 Sistema de lodos activados de alta tasa

Se caracteriza por la baja concentración de biomasa en el reactor (1000-18000 mg SST/l) y por los tiempos pequeños de retención hidráulicos (1-2 hrs).

Esta modificación proporciona bajos porcentajes de retención (60-75%), lo cual no permite obtener agua tratada de alta calidad.

III.2.2.5 Sistemas totalmente mezclados

En esta modificación del proceso de lodos activados la alimentación y el lodo de reciclado se combinan y se introducen en diversos puntos del tanque de aireación desde un canal central (fig. III.10). El líquido aireado abandona el reactor por canales del afluente a ambos lados del tanque de aireación. Consiste en un tanque de aireación totalmente mezclado. Presenta la gran ventaja de poder amortiguar los cambios súbitos de cantidad y calidad de las aguas residuales al distribuirlos en todo el reactor casi inmediatamente después de su entrada al tanque. El suministro y la demanda de oxígeno son uniformes a lo largo del tanque.

Para este caso la geometría del tanque y el arreglo del sistema de aireación juegan un papel importante para poder lograr el mezclado total. Para este tipo de sistemas se utilizan principalmente aireadores de superficie o difusión.

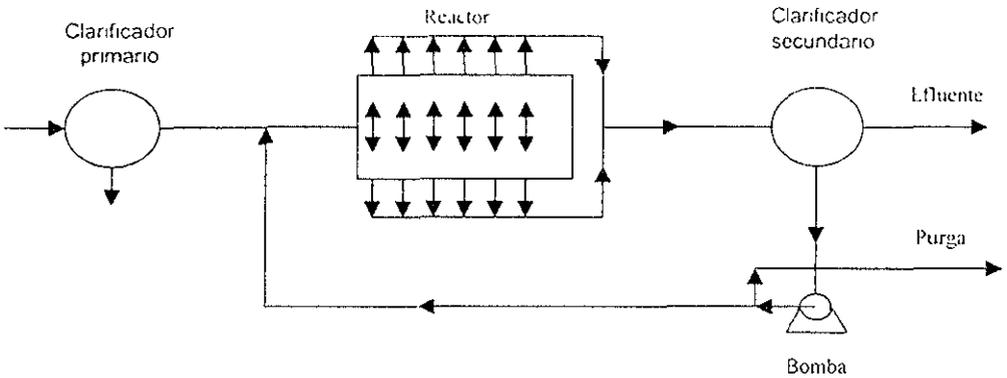


FIGURA III.10 Proceso de lodos activados mezcla completa

III.2.2.6 Estabilización por contacto

En este proceso el afluente se mezcla con lodo estabilizado y está mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 min, en este tiempo el material orgánico tanto soluble como coloidal debe ser absorbido y parcialmente biodegradado dentro del floculo. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de DBO, en suspensión y disuelta, mediante bioadsorción después de estar en contacto con el lodo activado suficientemente aireado. El efluente procedente del tanque de contacto inicial fluye al clarificador, una vez clarificado el efluente se separa y se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireado durante un período de 1.5 a 5 hrs.

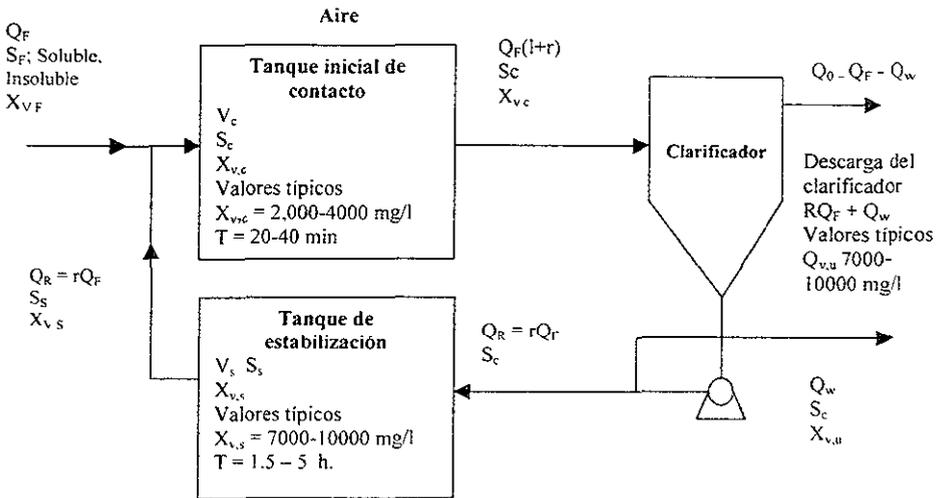


FIGURA III-11 Diagrama de flujo del sistema contacto-estabilización

Durante este período de estabilización los productos orgánicos son degradados en condiciones aerobias. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de manición y dispuesto por lo tanto a absorber residuos orgánicos (figura III 11).

III.2.2.6.1 Ventajas de la estabilización por contacto frente al proceso convencional de lodos activados

Debido a que solamente el lodo reciclado se somete a aireación prolongada, este sistema permite una reducción apreciable del volumen del tanque de aireación. Siendo esta su principal ventaja. Los rendimientos normales de separación son normalmente menores que en el proceso convencional de lodos activados, pero se puede alcanzar fácilmente una remoción de la DBO₅ del 85 al 90 %. Este proceso es adecuado cuando el agua residual contiene una proporción elevada de DBO en las formas coloidal y en suspensión. Las plantas de contacto-estabilización pueden funcionar sin necesidad de clarificación primaria.

La solución de este proceso debe basarse en estudios de laboratorio donde la adsorción de la materia orgánica en los flóculos de biomasa siga el comportamiento anteriormente descrito. Si el comportamiento no es el adecuado entonces este proceso tampoco lo es. Generalmente se utiliza este proceso para aguas de desecho sin sedimentación primaria.

III.2.2.6.2 Reaireación de la biomasa

Antiguamente era común encontrar plantas de lodos activados donde los sistemas de aireación no llegaban a cubrir los requerimientos de oxígeno durante las horas de gran actividad. Esto ocasionaba que los lodos en el sedimentador secundario se encontraran en condiciones de anaerobiosis durante algunas horas, originando la producción de metabolitos por procesos anaerobios. Al ser recirculados los lodos y entrar al tanque de aireación ocasionaban una demanda de oxígeno enorme para degradar tanto las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual como para degradar los metabolitos producidos durante la fase anaerobia, esto traía como consecuencia un déficit mayor de oxígeno, empeorando la calidad del efluente. Para evitar este problema se construyeron en algunas plantas un tanque de "reaireación", en el cual los lodos provenientes del sedimentador secundario eran aireados para propiciar la degradación aerobia de los productos metabólicos originados durante una etapa de anaerobiosis, semejante al esquema de la figura. De esta forma fue posible disminuir la demanda de oxígeno en el tanque de aireación. Además de la disminución del consumo de oxígeno en el tanque de aireación, se lograron tres efectos secundarios:

- 1) Un incremento en eficiencia de remoción de contaminantes, mejorando de esta manera la calidad del efluente.
- 2) Notable mejoría en la sedimentación de la biomasa,
- 3) Ligera reducción de la cantidad de biomasa producida.

III.2.2.7 Aireación con oxígeno puro

Esta modificación utiliza oxígeno puro en vez de aire para enriquecer de O_2 el licor mezclado en el tanque de aireación. Esto obliga a tener tanques de aireación cubiertos y sellados para evitar pérdidas costosas del gas (figura III-12)

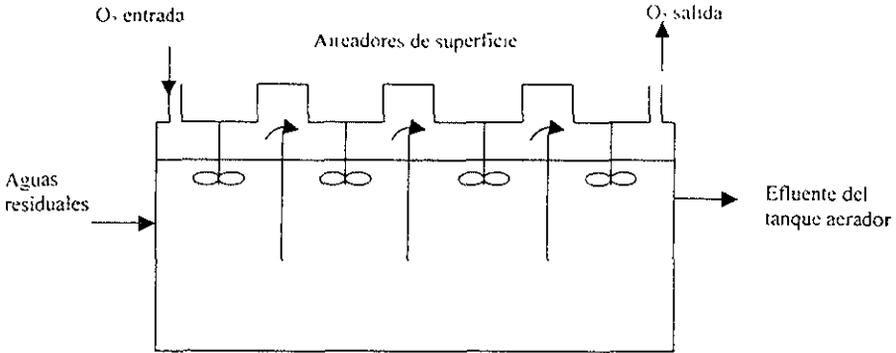


FIGURA III-12 Sistema de lodos activados con oxígeno puro

III.2.2.7.1 Ventajas y desventajas de la Aireación con oxígeno puro

El sistema presenta las siguientes ventajas sobre los sistemas que utilizan aire:

- 1) Capacidad de cubrir altas demandas de oxígeno.
- 2) Permite mantener altas concentraciones de biomasa en el tanque de aireación, reduciendo así el volumen del tanque.
- 3) Mejores características de sedimentación y compactación de la biomasa.
- 4) Menor formación de biomasa por DBO removida.
- 5) Mejor transferencia de O_2 por HP utilizado.
- 6) Mayor estabilidad del proceso.

Las desventajas que presenta son las siguientes:

- 1) Debido a la gran acumulación de CO_2 en el líquido baja el valor del pH, lo cual es nocivo si se desea que se lleve a cabo el proceso de nitrificación (Esto puede eliminarse añadiendo alguna base para neutralizar).
- 2) Requiere tamizado de las aguas residuales.
- 3) Requiere aireadores especiales para producir burbujas pequeñas.
- 4) No es económicamente factible para plantas pequeñas.

III.2.2.8 Aireación descendente

El objetivo de la aireación descendente es armonizar la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación. Ya que a la entrada la demanda de oxígeno es mas alta, los aireadores se sitúan más próximos a la entrada para proporcionar una velocidad más alta de oxigenación. El espacio entre aireadores se aumenta hacia la salida conforme la demanda de oxígeno disminuye.

III.2.2.9 Zanjas de oxidación

Este sistema de tratamiento es utilizado generalmente como un sistema de aireación extendida para tratar aguas de desecho de pequeñas comunidades. Rotores de cepillo son los sistemas de aireación más utilizados en zanjas de oxidación, estos rotores, además de difundir oxígeno le proporcionan al líquido movimiento unidireccional en el tanque de aireación, el cual tiene una forma especial (ver figura III.13).

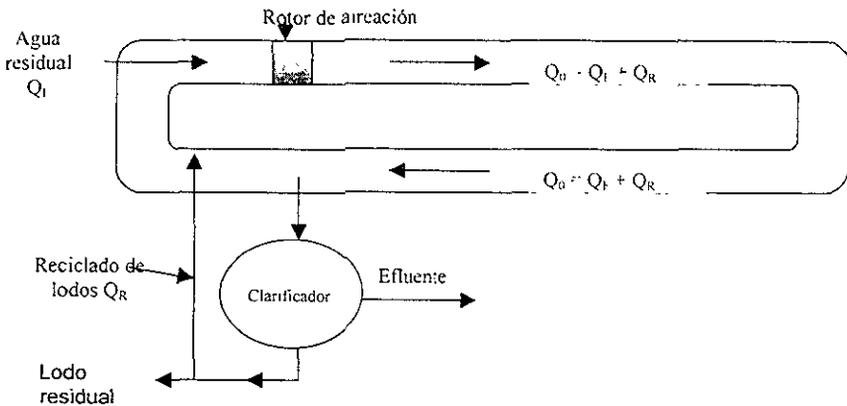


FIGURA III-13 Canal de oxidación

III.2.3 Características de la biomasa

III.2.3.1 Poblaciones microbianas

La biomasa que se encuentra en los sistemas de lodos activados tiene una composición de organismos muy heterogénea, se trata de un cultivo mixto conocido como lodo activado. El lodo está constituido principalmente por bacterias y en menor proporción existen hongos y otros organismos como bacteriófagos y depredadores (protozoarios, rotíferos, larvas de insectos). Las bacterias y hongos se encargan de utilizar como alimento el material orgánico soluble y coloidal. Los bacteriófagos juegan un importante papel porque se alimentan principalmente de bacterias libres, disminuyendo así el contenido de estos microorganismos en las aguas tratadas y de esta forma contribuyen a la clarificación del efluente que de otra manera tendría una concentración mayor e indeseable de microorganismos en suspensión.

III.2.3.2 Sedimentación de la biomasa

La sedimentación de la biomasa es un factor importante a tener en cuenta en el sistema de lodos activados, ya que influye de manera considerable sobre la calidad del efluente.

Esta característica de los lodos depende de muchos factores, tales como, el tipo de aguas residuales, la temperatura y la cantidad de nutrientes y de parámetros de operación como tiempo de retención celular. Estos factores determinan las condiciones bajo las cuales se desarrollará una biocenosis, y también la composición de organismos en el tanque de aireación.

Los tipos de bacterias, hongos, algas, protozoarios, etc. que componen la biomasa son los responsables de la sedimentación de los lodos activados. Los hongos filamentosos se consideran microorganismos indeseables en el proceso porque su presencia trae como consecuencia dificultades con la sedimentación de la biomasa.

III.2.3.3 Formación de flóculos

Los flóculos se forman gracias al efecto de polímeros extracelulares de la población bacteriana. Así, los lodos activados pueden clasificarse, de acuerdo a su sedimentabilidad, en lodos floculantes, no floculantes y abultados (figura III.16).

Lodos floculantes son los que poseen mejores características de sedimentación y se derivan de una buena operación del proceso. Su formación no implica que el sistema desarrolle una alta eficiencia de remoción de los compuestos orgánicos solubles y coloidales del agua residual, pero si garantiza un lodo de alta concentración para recirculación y fácilmente separable del efluente por sedimentación.

Lodos no floculantes o cultivos dispersos se presentan cuando existen condiciones de operación que no favorecen la unión entre las bacterias, permaneciendo dispersas, con lo cual se obtiene un efluente turbio con altas concentraciones de sólidos suspendidos que a su vez no implica una alta concentración de material orgánico que escape al tratamiento biológico. Esta pérdida de capacidad para formar flóculos puede ser temporal o permanente: la primera puede deberse a cambios en la temperatura, pH o salinidad; mientras que la segunda, a la falta de nutrientes.

Lodos abultados tienen muy baja velocidad de sedimentación. Las características de espesamiento y sedimentación de los lodos pueden presentarse con el parámetro denominado índice volumétrico de lodos (IVL) que corresponde al volumen, en mililitros, que ocupa para sedimentar un gramo de sólidos suspendidos. Es decir, un alto índice volumétrico indica que cada gramo de sólidos suspendidos requiere de un mayor volumen para sedimentar, lo cual correspondería a un lodo abultado: Mientras que valores bajos del IVL representan un lodo que sedimenta más fácilmente. El crecimiento de organismos filamentosos en el lodo activado causa problemas de abultamiento de lodos.

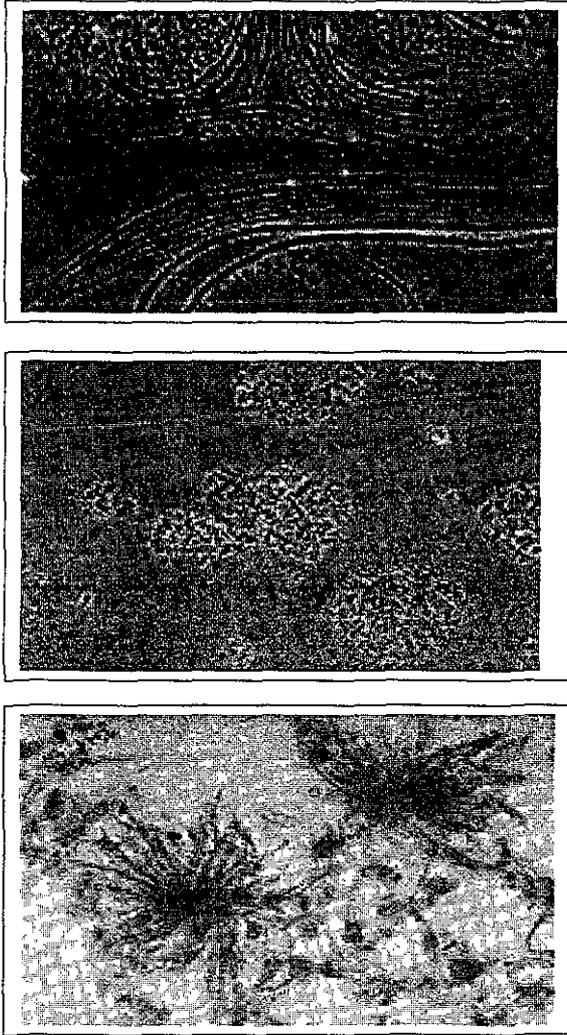


FIGURA III.14 Floculos observados al microscopio.

III.2 Lagunas de estabilización

Una laguna de estabilización (figura III.15) es un sistema de tratamiento de las aguas residuales, que se lleva a cabo a través de la actividad bacteriana con acciones simbióticas, entre las algas y otros microorganismos.

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza, en forma espontánea, un proceso de autopurificación o estabilización natural en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico.

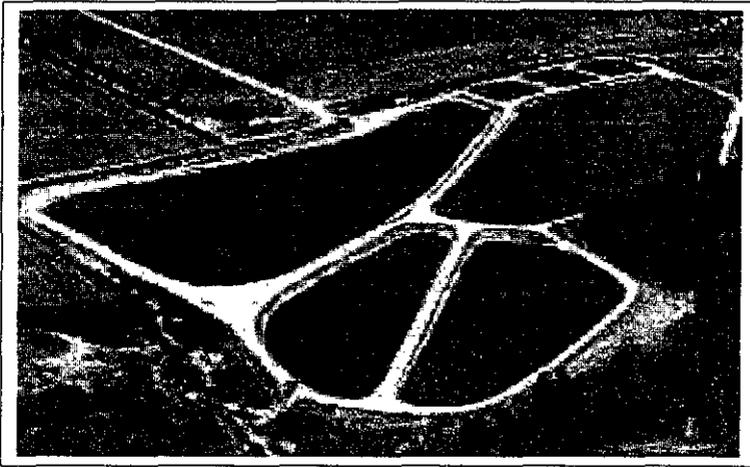


FIGURA III.15 Laguna de estabilización

III.2.1 Factores que influyen en la operación de las lagunas.

La producción de lagunas y microorganismos de una laguna a otra varía considerablemente, lo cual refleja la influencia de las condiciones ambientales (Ref. 31). Entre ellos destacan el clima, la intensidad de la luz solar, la latitud, la nubosidad, la precipitación pluvial y la temperatura.

Intensidad de la luz solar

La luz solar constituye una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna y determina su estructura térmica. La cantidad de luz se mide como la cantidad de luz que incide en el área donde se lleva a cabo la fotosíntesis. La iluminación que se requiere para la actividad biológica de las algas varía de 5000 a 7500 luxes (Ref. 31). La luz que llega a la laguna está en función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo de cuerpo de agua.

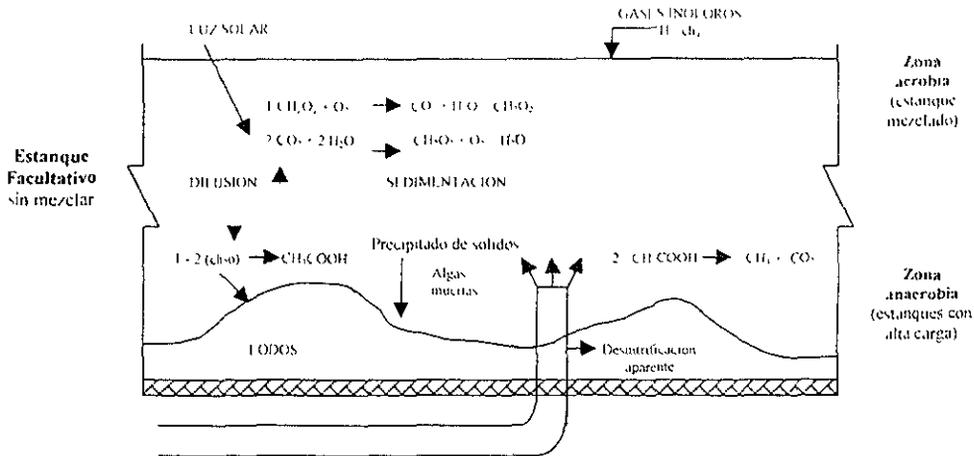


FIGURA III.16 Diagrama simplificado del proceso de degradación de la materia orgánica en una laguna

Aunque toda la luz incide en la superficie sólo una parte de ella penetra y otra es reflejada a la atmósfera. La parte que no es reflejada se dispersa en el agua y puede salir nuevamente fuera del agua o ser absorbida por algún material. Las longitudes de onda grandes (rojo y naranja) son absorbidas después de pasar a través de una pequeña distancia, calentando el agua superficial, mientras que las ondas cortas (verde y azul) penetran hasta las zonas profundas. La penetración de la luz depende de la composición del agua y de la cantidad de material suspendido o disuelto en ella. En general, se distinguen tres estratos en las lagunas: el superior que se caracteriza por un exceso de luz y que tiene un espesor de 10 cm; el central, donde ocurre la eliminación óptima para la fotosíntesis y es de unos cuantos centímetros; y el inferior, escasamente iluminado (Ref. 31) (Figura III.16).

Un cuerpo de agua no debe estar completamente estratificado ya que una alta eficiencia fotosintética sólo ocurre con el movimiento del agua y alternando las condiciones de luz y oscuridad. De hecho, se ha comprobado que intervalos cortos de radiación solar son mejores que una exposición prolongada a la misma. En cambio, la luminosidad excesiva conduce a un crecimiento y envejecimiento rápido de las algas, disminuyendo la depuración esperada del agua residual.

La fotosíntesis y, por tanto la luz solar son relevantes para las lagunas aerobias y facultativas ya que, la oxigenación suministrada por las algas es mayor que la aireación natural.

Viento

El viento interviene en el proceso de autodepuración en las aguas al provocar un mezclado y generar corrientes verticales del agua. Así, el oxígeno disuelto presente en la superficie es llevado a las capas más profundas. También, la dispersión del agua residual y de los microorganismos en toda la laguna ocurre por el mismo efecto. El viento ayuda al movimiento de las algas, principalmente de aquellas que son consideradas grandes productoras de oxígeno como son las algas verdes del género *Chlorella*.

Nubosidad

Las nubes son un agente importante para la dispersión y reflexión de la energía solar, capaces de reducir la radiación directa en un 80 o 90 %. Esta reducción varía en función de la distribución, tipo de nubes, la cantidad de absorción, la dispersión atmosférica y la distancia efectiva (espesor y contenido atmosférico)

Precipitación pluvial

Las precipitaciones pluviales tienen una influencia importante en el funcionamiento del proceso. Lluvias aisladas o escasas no provocan efectos significativos en las lagunas (Ref. 17). Con lluvia continua el tiempo de retención hidráulica se reduce mientras que lluvias intensas diluyen el contenido de materia orgánica en la laguna y acarrearán material orgánico y mineral por medio del escurrimiento.

Infiltración y evaporación

La infiltración y la evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. La pérdida de agua provocada por la evaporación, trae como consecuencia la concentración de sustancias contaminantes y aumenta la salinidad del medio. Ambos efectos resultan perjudiciales para algunos microorganismos y, en consecuencia, para el equilibrio biológico de la laguna.

Temperatura

La temperatura del líquido en la laguna es probablemente uno de los parámetros más importantes en la operación de ésta y, por lo general, se encuentra dos o tres grados arriba de la temperatura ambiente.

El incremento de la temperatura por arriba de 25 °C acelera los procesos de biodegradación. Las temperaturas altas permiten el desarrollo de algas azules pero su presencia se relaciona con la muerte de otro género de algas (Ref. 8). Por el contrario las bajas temperaturas abaten la eficiencia del tratamiento. Cuando la temperatura disminuye se presenta una reducción de la población de algas y del metabolismo bacteriano implicando una disminución de la eliminación de la contaminación orgánica.

III.2.2 Proceso natural de autodepuración.

- La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas y otros organismos superiores.
- Se presentan procesos físicos de remoción de sólidos suspendidos.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales.

Dependiendo de las condiciones del problema por resolver las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas

(sistemas lagunares de tratamiento), (Ref. 36) indican que el 60% de los sistemas que utilizan este proceso están compuestos por tres lagunas operando en serie y el 35%, de dos. Es frecuente el uso de lagunas para completar ("pulir") el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores, por ejemplo.

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que caracteriza la carga orgánica y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100ml), que caracteriza la contaminación microbiológica. También tienen importancia los sólidos totales sedimentables, en suspensión y disueltos.

Generalmente, cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (< 300 Kg de DBO/ha/día), y la temperatura ambiente varía entre 15 y 30°C en el estrato superior de la laguna suelen desarrollarse poblaciones de algas microscópicas (*clorelas*, *euglenas*, etc.) que, en presencia de la luz solar, producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que exista una alta concentración de oxígeno disuelto, que en muchos casos llega a alcanzar valores de sobresaturación. La parte inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaerobias. Estas lagunas con cargas orgánicas bajas reciben el nombre de facultativas.

Cuando la carga orgánica es muy grande, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas (y de la aireación superficial) y la laguna se torna totalmente anaerobia.

Conviene que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones estrictamente facultativas o anaerobias ya que el oxígeno es tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica; y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso. Por consiguiente, se recomienda diseñar las lagunas facultativas (a 20 °C) para cargas orgánicas menores de 300 Kg. DBO/ha/día y las lagunas anaerobias para cargas orgánicas mayores de 1000 Kg. DBO/ha/día. Cuando la carga orgánica aplicada se encuentra entre los dos límites antes mencionados se pueden presentar problemas de malos olores y la presencia de bacterias formadoras de sulfuros. El límite de carga para las lagunas facultativas aumenta con la temperatura.

Las lagunas de estabilización con una gran relación largo ancho (Largo/Ancho >5) reciben el nombre de lagunas alargadas. Estas lagunas son muy eficientes en la remoción de carga orgánica y bacterias patógenas, pero deben ser precedidas por dos o más lagunas primarias que retengan los sólidos sedimentables (Ref. 38).

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el afluente de una laguna primaria se llaman lagunas secundarias; y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, quinquenarias, etc. A las lagunas de grado más allá del segundo también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento. Siempre se deben construir por lo menos dos lagunas primarias (en paralelo) con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se eliminan los lodos de la otra.

El proceso que se lleva a cabo en las lagunas facultativas es diferente del que ocurre en las lagunas anaerobias. Sin embargo, ambos son útiles y efectivos en la estabilización de la materia orgánica y en la reducción de los organismos patógenos originalmente presentes en las aguas residuales. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo a través de la acción de organismos aerobios cuando hay oxígeno disuelto; éstos últimos aprovechan el oxígeno originalmente presente en las moléculas de la materia orgánica que están degradando. Existen algunos organismos con capacidad de adaptación a ambos ambientes, los cuales reciben el nombre de facultativos.

La estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales se puede realizar en forma aerobia o anaerobia dependiendo de la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua.

III.2.2.1 Proceso aerobio

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto. En este proceso, en el que participan bacterias aerobias o facultativas, se originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, estas a su vez producen más oxígeno lo que facilita la actividad de las bacterias aerobias. Existe una simbiosis entre bacterias y algas que facilita la estabilización aerobia de la materia orgánica. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas bacterianas durante el proceso.

A través de estos procesos bioquímicos en presencia de oxígeno disuelto las bacterias logran el desdoblamiento aerobio de la materia orgánica. El oxígeno consumido es parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Las algas logran, a través de procesos inversos a los anteriores, y en presencia de luz solar, utilizar los compuestos inorgánicos para sintetizar la materia orgánica, la cual es incorporada a su protoplasma. A través de este proceso, conocido como fotosíntesis, las algas generan gran cantidad de oxígeno disuelto.

Como resultado final, en el estado aerobio de una laguna facultativa se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica putrescible (muerta) originalmente presente en las aguas residuales, la cual se transforma en materia orgánica (viva) incorporada al material celular de las algas.

En las lagunas de estabilización el agua residual no se clarifica como en las plantas de tratamiento convencional pero se estabiliza, pues las algas son materia orgánica viva que no ejerce DBO.

III.2.2.2 Proceso anaerobio

Las reacciones anaerobias son más lentas y los productos de las reacciones pueden originar malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis por lo que la laguna se torna de color gris oscuro. El desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo en forma lenta, lo cual genera malos olores por la producción de sulfuro de hidrógeno. En la etapa final del proceso anaerobio se presentan las fases acetogénica y metanogénica.

III.2.3- Clasificación de las lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse de diversas formas, ya sea por:

- El tipo de la reacción biológica predominante,
- La duración y frecuencia de la descarga,
- La extensión de la laguna.

- La presencia o ausencia de equipo de aireación y
- El tipo de células presentes

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios). En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas.

➤ Lagunas aerobias

Son lagunas poco profundas, menores de 0.45 metros, donde el oxígeno disuelto se mantiene distribuido en toda la profundidad de la laguna principalmente por la acción de la fotosíntesis. En estas lagunas la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realiza en presencia de oxígeno disuelto, el cual se proporciona en forma natural o artificial.

Los sistemas de lagunas aerobias se usan principalmente para la producción de algas y requieren de grandes áreas por unidad de DBO estabilizada en comparación con los sistemas facultativos o anaerobios (Ref. 30).

Una laguna aerobia sin aireación superficial se puede diseñar para una producción máxima de algas o de oxígeno (lagunas aerobias de alta tasa), o bien, para mantener las condiciones aerobias a través de toda la laguna (lagunas aerobias de baja tasa). En este tipo de reactores, el oxígeno es provisto para la fotosíntesis y la reaireación. En general, el tiempo de retención es de 3 a 5 días con profundidades de 0.3 a 0.45 m y remociones entre 80 y 95% de la DBO soluble (Ref. 25). La concentración de DBO_T , que incluye la producida por las algas excede, y en mucho, la concentración de la DBO del afluente, pero como las algas no forman parte de la carga contaminante, se deben separar antes de evaluar la eficiencia de la laguna (Ref.30). Los lodos que sedimentan en la laguna deben ser removidos una vez cada 2 o 4 años para evitar la formación de capas anaerobias, (Ref. 39).

Al ser grandes depósitos de poca profundidad, los microorganismos se encuentran en suspensión y prevalecen condiciones aerobias. El oxígeno es suministrado en forma natural por aireación de la superficie en forma artificial o por la fotosíntesis de las algas. La población biológica comprende bacterias y algas principalmente; protozoarios y rotíferos, en menor medida. Las bacterias que realizan la conversión de la materia orgánica en las lagunas pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacteria*, *Norcadia*, *Mycobacteria*, *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Las algas constituyen la mejor fuente de oxígeno para mantener las condiciones aerobias y los protozoarios y rotíferos ayudan a mejorar la calidad del efluente al alimentarse de las bacterias.

El oxígeno liberado por las bacterias en la degradación de la materia orgánica. El dióxido de carbono y los nutrientes liberados por las bacterias son a su vez, utilizados por las algas para la fotosíntesis (Fig. III.17). Esta relación simbiótica constituye el componente fundamental del proceso.

Las lagunas aerobias se dividen en dos grupos: lagunas de baja tasa y de alta tasa.

El proceso para diseñar lagunas aerobias es muy similar a los empleados para lagunas facultativas, con base en la carga orgánica superficial y el tiempo de retención hidráulico. Las plantas de mayor tamaño se diseñan como reactores de flujo completamente mezclado, usando dos o tres reactores en serie. Una segunda aproximación es el uso de ecuaciones que consideran una cinética de primer

orden como la desarrollada por Wehner-Wilhelm para un reactor con un régimen arbitrario (entre flujo pistón y uno completamente mezclado), (Ref. 23)

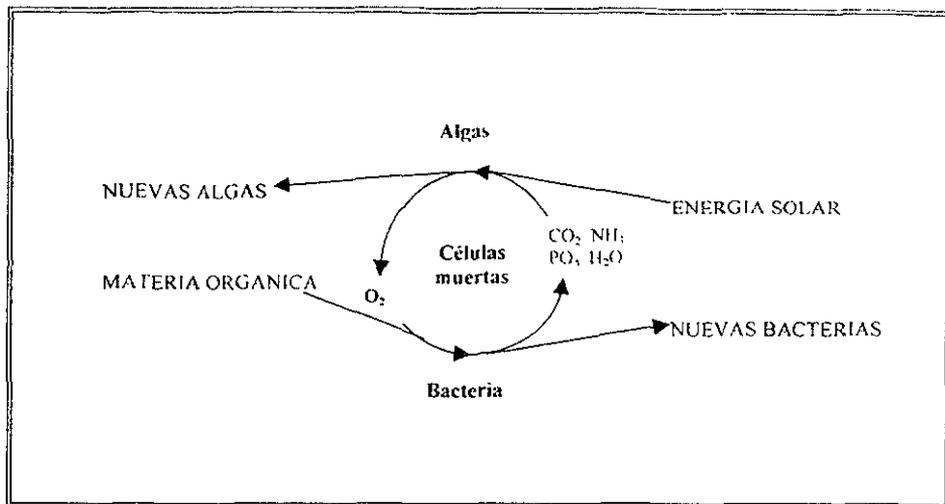


FIGURA III.17 Representación esquemática de la relación simbiótica entre algas y bacterias.

Lagunas aerobias de baja tasa

Las lagunas aerobias de baja tasa se diseñan para mantener las condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna maximizando la cantidad de oxígeno producido por un incremento masivo de algas. En general, se emplean para tratar residuos orgánicos solubles y efluentes secundarios.

Estos sistemas requieren grandes áreas por unidad de DBO estabilizada comparadas con los sistemas facultativos o anaerobios (Ref. 30) y no son recomendadas en climas fríos donde haya problemas de congelamiento. Por sus requerimientos de espacio y lo impráctico de mantener el oxígeno disuelto en todos los puntos durante todo el año, su empleo es poco común (Ref.41).

La eficiencia de la conversión de materia orgánica en las lagunas aerobias es alta (del 80 al 95% DBO₅), sin embargo debe recordarse que aunque la DBO soluble haya sido removida del agua el efluente tendrá una cantidad importante de algas y bacterias que pueden ejercer una demanda bioquímica de oxígeno, que, de hecho, es igual o mayor a la del agua residual sin tratar. Este aspecto se controla mediante la remoción de algas (cosecha) o la filtración del efluente.

Lagunas aerobias de alta tasa

Las lagunas aerobias de alta tasa (HRAP, high rate algal ponds) se diseñan para optimizar la producción de algas y alcanzar altas producciones de material proteico. Su aplicación se centra en la remoción de nutrientes y tratamiento del material soluble. Este tipo de lagunas requieren un mezclado continuo para favorecer la acción fotosintética de las algas, un mayor nivel de mantenimiento y personal altamente capacitado. La profundidad varía entre 30 y 45, y por lo común solo se operan en serie

Las lagunas de alta tasa tienen más ventajas que las facultativas ya que emplean tiempos cortos de retención y generan un efluente con elevado contenido de oxígeno disuelto. Un diseño con un mezclado adecuado puede generar de 45 a 135 Kg de oxígeno disuelto por 0.4 ha. Lo cual también produce de 113 a 138 Kg de algas/ha (34 a 90 Kg de biomasa, como ceniza en peso seco)

Las algas en el efluente de esta laguna sedimentan fácilmente. Se estima que del 70 al 80 % de las algas pueden removerse, en uno o dos días por clarificación. Las algas provenientes de este sistema tienen una baja tasa de respiración y pueden permanecer en los lodos por meses o años, sin liberar cantidades significativas de nutrientes. Por otro lado las algas pueden también considerarse como agentes para remover nutrientes (consumen nitrógeno, fósforo y potasio); como sustrato para la producción de biogas; como un medio selectivo para la remoción de metales pesados (como el oro, la plata y el cromo); o como alimento para peces e invertebrados acuáticos. Cabe mencionar que 1 Kg de algas fermentadas puede producir metano suficiente para generar 1 kW-h de electricidad que comparado con los requerimientos energéticos para producir 1 kg de algas (0.1 kW-h) resulta interesante. Durante el crecimiento, este kilogramo de algas puede producir cerca de 1 Kg de O₂ por tanto se puede decir, que la eficiencia de oxígeno de la laguna es del orden de 15 Kg de oxígeno por lo que la eficiencia de oxigenación de la laguna es del orden de 15 Kg O₂/KW-h. Considerando que la aireación mecánica transfiere cerca de 1 kg O₂/kW-h las algas generan 15 veces más rápido oxígeno sin costo alguno. Debido a que generalmente se produce un excedente de oxígeno disuelto, algunos efluentes son usados como recirculación a lagunas primarias para absorber olores, reducir el área de fermentación y asegurar la presencia de algas productoras de oxígeno en la capa superficial de la laguna primaria.

Otro beneficio de las algas en las lagunas de alta tasa es su tendencia a aumentar el pH del agua. Un pH de 9.2 por 24 horas puede eliminar el 100% de la *E. coli* y gran cantidad de bacterias patógenas. No es muy común que este tipo de lagunas alcance un pH de 9.5 a 10 durante el día, pero sí tiene una alta tasa de desinfección (Ref. 29). Si el agua tratada se va a utilizar para riego no es necesario remover las algas pero el tanque de sedimentación o de almacenamiento debe ser capaz de alcanzar un valor de coliformes fecales \leq a 10^3 de NMP/100 ml. que es suficiente para cumplir con la normatividad mexicana.

Lagunas aireadas en forma mecánica

Las lagunas aireadas son una mejora de los procesos de lagunas de estabilización que emplea aireadores para resolver los problemas de malos olores producidos por sobrecargas de materia orgánica y disminuye los requerimientos de área. Los sólidos se mantienen en suspensión en todo el cuerpo de la laguna, siendo más parecido el proceso al sistema de lodos activados sin recirculación que a una laguna aerobia con suministro natural de oxígeno.

Este tipo de lagunas se emplean en el tratamiento de residuos domésticos de pequeñas y medianas ciudades así como efluentes industriales (papelera, procesamiento de alimentos y petroquímica), (Ref. 9). En estos sistemas no se encuentran algas, y la mayor cantidad de organismos presentes son bacterias, protozoarios y rotíferos.

Descripción del proceso

Una laguna aireada se puede definir como una variable del tratamiento de lodos activados en la que los lodos biológicos se mantienen en equilibrio con los contaminantes aplicados. Este sistema difiere del de lodos activados convencional en que no es necesaria la recirculación de la biomasa activa y que la concentración de los microorganismos depuradores no es muy alta. Esta falta de organismos es compensada por un volumen considerable del tanque, correspondiente a varios días de retención del agua (3 a 20) por tratar (Ref. 7). Por lo común son tanques con profundidad de 2 a

6 m en el cual el oxígeno es proporcionado por difusores o sistemas mecánicos de aireación (Ref. 25). La transferencia de oxígeno en el agua depende de diferentes parámetros: calidad del agua, temperatura y presión atmosférica (altitud). El movimiento generado durante la aireación debe ser eficiente de manera que asegure la repartición uniforme del oxígeno disuelto en toda la extensión de la laguna.

En los sistemas aireados artificialmente no sólo se aplican las cantidades de oxígeno requeridas sino que se mantiene un contacto estrecho y uniforme entre la biomasa, el material contaminante y el oxígeno disuelto en toda la extensión de la laguna alcanzando tasas de oxidación de 1.5 a 2.0 d^{-1} y, en ocasiones, más elevadas (Ref. 9). Tal intensificación en el proceso de tratamiento permite incrementar la capacidad de oxidación en la laguna y, como resultado, el tiempo de retención se reduce considerablemente, asegurando más o menos tasas normales para las reacciones bioquímicas durante el período de invierno.

Debido al corto tiempo, la comunidad biológica de este tipo de lagunas no es tan diversa como en las lagunas facultativas. Las bacterias son la especie microbiana predominante. Todo esto permite la producción de un efluente con una calidad mejor y más constante durante todo el año.

Los principales factores para la determinación de una laguna aireada son: la remoción de la DBO, la aireación y la producción de lodos. Dado que la tasa de biodegradación es mayor que en las lagunas no aireadas, las cantidades de oxígeno producido por las algas no constituyen un factor de diseño. La figura III.18 Muestra un esquema de una laguna aireada.

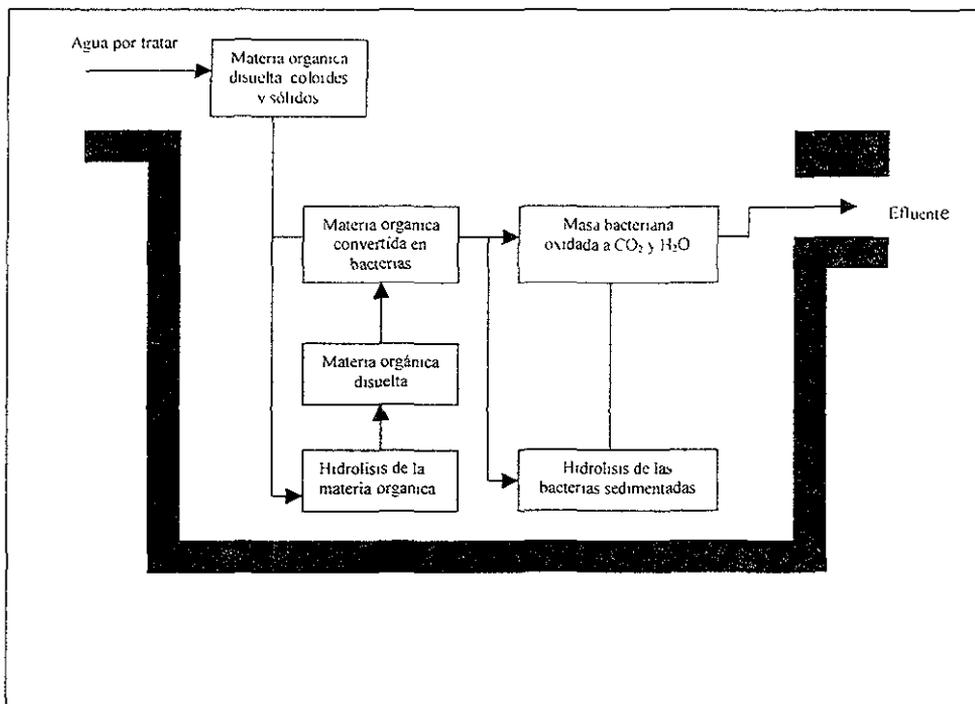


FIGURA III.18 Esquema de una laguna aireada

Las lagunas de aireación se clasifican en

- Aireadas con mezcla completa
- Aireadas con mezcla parcial

Las lagunas aireadas con mezcla completa y parcial se diferencian por el nivel energético empleado. En las primeras, la energía debe ser lo suficientemente alta para mantener todos los sólidos en suspensión con el oxígeno disuelto; la energía varía de 2.8 a 3.9 W/m³ (Ref. 7). En las segundas los aireadores son usados para proporcionar la tasa de la transferencia del oxígeno necesaria para mantener las condiciones aerobias. De esta manera la energía requerida inicialmente es reducida de celda en celda debido a la disminución de la materia orgánica (DBO) que se va a estabilizar.

- Aireadas con mezcla completa

En las lagunas aireadas con mezcla completa, el oxígeno disuelto y los sólidos son mantenidos en suspensión de manera uniforme a través del estanque por lo que se requiere una relación suministro de potencia/volumen alta. La remoción de DBO₅ varía de 50 a 60 % con la desventaja de que el efluente transporta una gran cantidad de sólidos. De hecho, funciona como un sistema de lodos activados sin recirculación.

- Aireadas con mezcla parcial

Las lagunas aireadas parcialmente mezcladas también se conocen como lagunas aireadas facultativas. En estas lagunas, la aireación sirve solo para proveer un adecuado abastecimiento de oxígeno, lo que no garantiza que todos los sólidos estén en suspensión, los cuales salen con el efluente, mientras que la parte restante decanta en el fondo del mismo (Ref. 26). La principal ventaja de estas lagunas es que requieren una menor área superficial que las lagunas facultativas sin aireación. Generalmente, se diseñan como reactores total o parcialmente mezclados, ya que la energía disipada es empleada para mantener el contenido de la laguna en suspensión (Figura III.19). La remoción de DBO₅ varía del 70 al 90 % (Ref. 9).

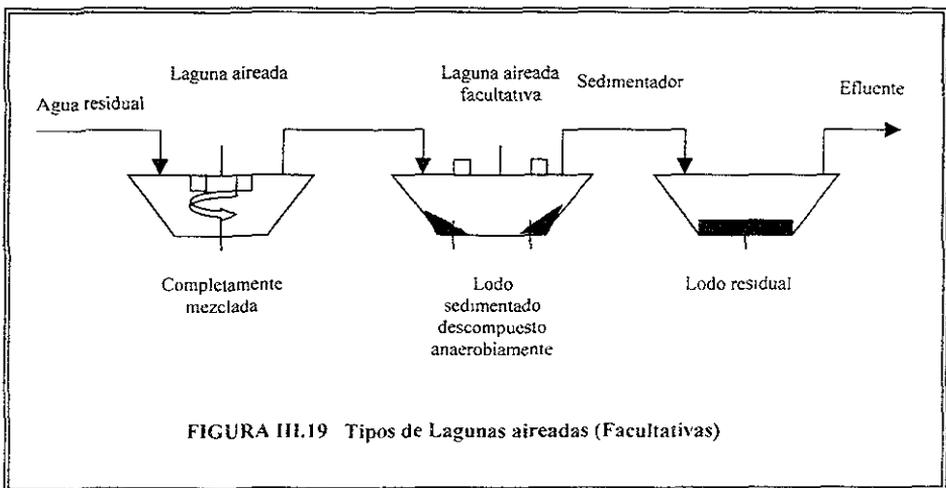


FIGURA III.19 Tipos de Lagunas aireadas (Facultativas)

➤ Lagunas Facultativas

Lagunas de 1.5 a 2 m metros de profundidad, las cuales tienen una zona más baja anaerobia en el fondo, una zona intermedia facultativa y una zona superior aerobia por la acción de la fotosíntesis y reaeración debida a la acción del viento. La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias

Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos fermentativamente. Y por último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (figura III.20).

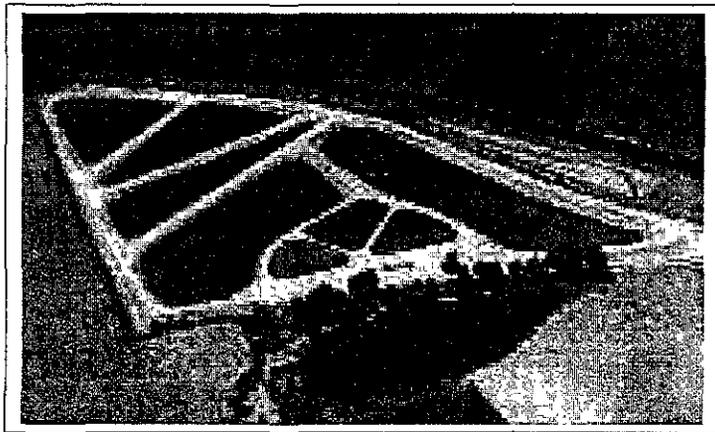


FIGURA III.20 Laguna Facultativa

La materia orgánica soluble coloidal es oxidada por organismos aerobios y facultativos utilizando oxígeno producido por algas que crecen abundantemente en la parte superior de la laguna. El dióxido de carbono producido sirve de fuente de carbono para las algas. Los sólidos presentes en el agua residual tienden a sedimentarse y acumularse en el fondo de la laguna, donde se forma un estrato de lodo anaerobio. La descomposición anaerobia de la materia orgánica que se realiza en el fondo de la laguna da como resultado una producción de compuestos orgánicos disueltos y gases tales como el dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y metano (CH_4), que son oxidados por las bacterias aerobias, o bien, liberados a la atmósfera.

Las lagunas facultativas se dividen a su vez en lagunas totalmente cerradas y de descarga controlada. Las primeras se aplican en climas en los cuales las pérdidas por evaporación son mayores que la precipitación pluvial. Mientras que las de descarga controlada tienen largos tiempos de retención y el efluente se descarga una o dos veces al año cuando la calidad es satisfactoria.

Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o lagunas fotosintéticas. El tiempo de retención hidráulica (T) varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a

2m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje así como absorber temporalmente sobre cargas hidráulicas. Figura III.21

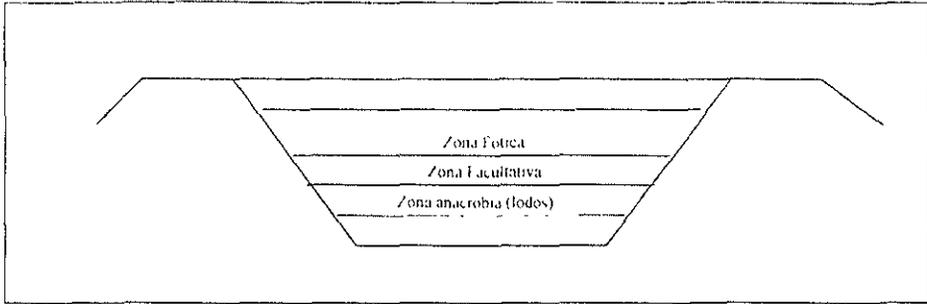


FIGURA III.21 Laguna Facultativa típica

➤ Lagunas Anaerobias

Lagunas profundas de 2.5 a 5 m de profundidad, que reciben cargas orgánicas elevadas, de tal manera que las condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno en el agua) prevalecen en toda la laguna (figura III.22). La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anoxicas) y/o combinado (anaerobia)

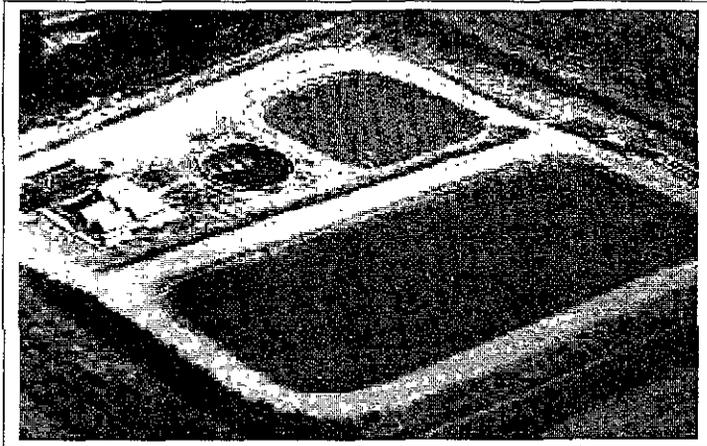


FIGURA III.22 Laguna anaerobia

En general cualquier tipo de laguna se puede utilizar para tratar aguas residuales domésticas. Las lagunas aireadas se utilizan normalmente para tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas de alta carga, mientras que las no aireadas se emplean casi en su totalidad para tratar residuos municipales. Las anaerobias se utilizan para tratamiento de residuos líquidos de origen industrial con elevado contenido de materia orgánica, casi siempre se usan como sistema lagunar de alta carga.

El término laguna de maduración o de pulimento se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares en serie o a las unidades que mejoran el efluente de otros sistemas de tratamiento biológicos. Este tipo de laguna se diseña primordialmente para remover microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos desinfectantes. También se utilizan para nitrificar efluentes.

Las lagunas aerobias de maduración o pulimento son concebidas como el último tanque en una secuencia de lagunas anaerobias-facultativas-aerobias o como lagunas de pulimento de una planta de tratamiento convencional. Estas tienen como función principal, la destrucción de los microorganismos patógenos (bacterias, virus, quistes y huevos de parásitos intestinales).

III.2.4 Ventajas y Desventajas

Las ventajas asociadas con el uso de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento son las siguientes:

- Bajo consumo de energía y costo de operación
- Bajo capital de inversión especialmente en los costos de construcción.
- Esquemas sencillas de flujo.
- Equipo y accesorios simples y de uso común (número mínimo de tubería, bombas y aireadores)
- Operación y mantenimiento simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmito.
- Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.
- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.
- En algunos casos remoción de nutrientes.
- Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa).
- Empleo como tanque de regulación del agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reuso.

Las principales desventajas son:

- Altos requerimientos de área.
- Efluente con elevado contenido de algas que al ser descargado en los cuerpos de agua es objetado, generando grandes controversias por su calidad proteica y su potencial de taponamiento del suelo, si se usa en riego.
- Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.
- Generación de olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo ciertas condiciones climáticas.
- Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en las lagunas construidas sobre suelos arenosos.
- Pérdida de agua debido a la evaporación e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes

III.2.5 Reutilización de aguas residuales tratadas por medio de lagunas de estabilización.

Los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. El dimensionamiento de estos sistemas estará ligado a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.

Si el único objetivo fuese descontaminar el recurso hídrico, todos los proyectos serían no viables financieramente. Sin embargo, si se aprovecha la excelente calidad bacteriológica y la riqueza en nutrientes que ofrecen las aguas tratadas mediante lagunas de estabilización, es posible obtener otros beneficios como el de una producción agropecuaria próxima a los centros de consumo. Así, la pronta recuperación de los limitados recursos hídricos sería una realidad.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas.

Debe hacerse especial mención a la presencia de tóxicos, como metales pesados, otros, provienen de las descargas de aguas residuales industriales a la red de alcantarillado municipal; esto representa una limitación para la estrategia del uso de aguas residuales. Las sustancias tóxicas no sólo inhiben o reducen la eficiencia de los procesos biológicos que se dan en una laguna, sino que además a lo largo de la cadena alimenticia se acumulan en los productos de consumo humano que se pretenden producir con el uso de aguas residuales tratadas o no, exponiendo a graves riesgos la salud de los consumidores.

Por ello, es necesario que los programas de ampliación de la cobertura de tratamiento de aguas residuales bajo esquemas integrados de tratamiento-uso, vayan acompañados de un programa de control de tóxicos de la industria. Esto requiere la implantación de una estrategia de minimización, reciclaje y tratamiento de residuos industriales, dentro de la industria donde se generan, es decir, en la misma fuente.

III.3. Filtro Percolador

Un filtro percolador o filtro rociador consiste en una estructura de material granular o de soporte sobre el que se forma una biopelícula y a través de la cual se hace pasar agua residual previamente clarificada, mediante un tratamiento primario (Fig. III.23).

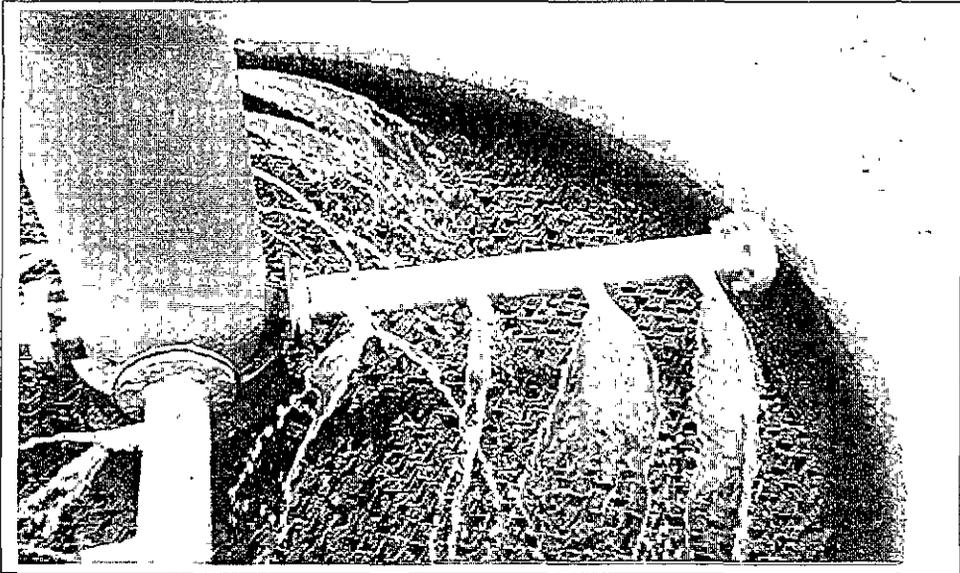
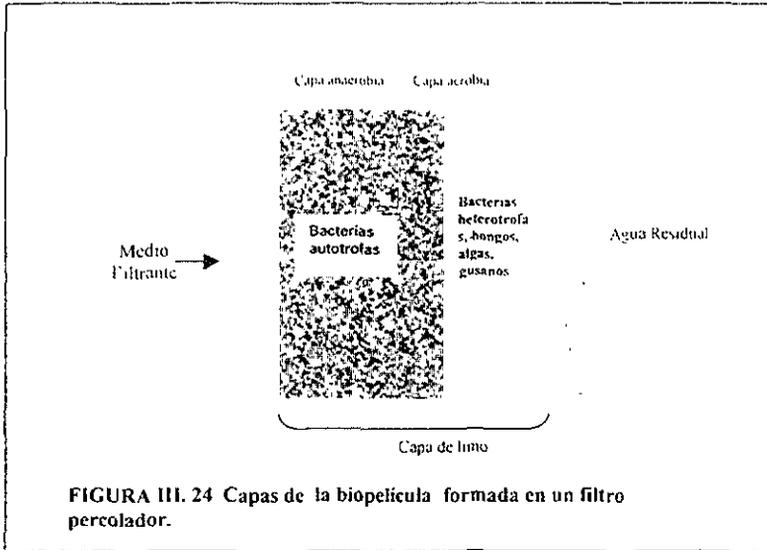


FIGURA. III.23 Filtro Percolador

En este sistema la degradación de la materia orgánica se produce al poner en contacto el agua residual con la biopelícula formada en la superficie del soporte. La circulación del aire se hace en forma natural o forzada, a contracorriente o en el mismo sentido del agua, el fundamento del proceso se basa en las reacciones producidas en la película biológica.

La película biológica está constituida principalmente por bacterias autótrofas (fondo) y heterótrofas (superficie), hongos (*Fusarium*), algas verdes y protozoarios. También se encuentran en la superficie de la película organismos más evolucionados, como gusanos, larvas de insectos y caracoles (Figura III.24).



El agua residual se vierte de la forma más uniforme posible en la parte superior del medio poroso, se recoge el agua en la parte inferior por un sistema de drenaje, que debe cumplir la doble misión de evacuar el agua residual y permitir el paso del aire.

Para lograr una buena eficiencia en la remoción de la materia orgánica en los filtros percoladores se debe tomar en cuenta lo siguiente

- El agua debe estar libre de grasas y sólidos en suspensión, para lo cual es necesario que haya pasado previamente por un proceso de sedimentación primaria.
- Debe prestarse atención a los elementos tóxicos e inhibidores de los procesos biológicos.
- La materia orgánica vertida sobre el lecho debe ser biodegradable.
- Debe conseguirse una correcta maduración del lecho bacteriano. Para lo cual se requiere un período de tiempo de semanas o meses, dependiendo de las condiciones ambientales.
- La forma y la estructura de los lechos bacterianos está muy ligada al sistema de distribución que se emplea. Si se utilizan distribuidores fijos o móviles de traslación, la forma suele ser rectangular. Cuando se utilizan distribuidores giratorios, la forma es circular

III.3.1 Partes básicas de un Filtro Percolador

Los filtros percoladores, al igual que otros procesos de tratamiento secundario como los filtros de arena y los contenedores biológicos constan de tres partes básicas

- Medio filtrante
- Sistema de distribución
- Sistema de bajo dren

III.3.1.1 Medio filtrante

El medio filtrante en un filtro percolador puede estar formado por grava, escoria, carbón, pedazos de ladrillo, esferas de plástico o cualquier otra sustancia durable y resistente; sobre la cual se propicia la formación de una película gelatinosa (llamada zooglea) constituida por una población microbiana heterogénea cuya acción física y fisicoquímica retiene la materia orgánica y se alimenta de ella.

El medio filtrante debe tener una relación de vacíos tal que permita su adecuada ventilación para propiciar condiciones aeróbicas, por lo que se usan materiales comprendidos entre 2 y 4 pulgadas (5 a 10 cm) con una granulometría casi uniforme; y una profundidad que oscila entre 1 y 2.5 m: colocados de tal manera que el material más fino ocupe las posiciones superiores.

El medio filtrante ideal es aquel material que posee una elevada carga superficial por unidad de volumen, económico, duradero y que no se obstruya fácilmente. El material más aconsejable por su economía suele ser la grava formada por roca volcánica triturada y clasificada por tamaños uniformes. Sin embargo este material es en la mayoría de los casos, sumamente pesado lo que requiere construir cimentaciones más profundas y costosas, por lo que se utilizan materiales plásticos más ligeros pero más caros que los anteriores.

Una característica muy importante del medio filtrante es su durabilidad y resistencia, la cual se determina mediante pruebas de intemperismo acelerado

III.3.1.2 Sistema de distribución

El sistema de distribución de un filtro percolador tiene por objeto repartir de manera uniforme el agua residual en el medio filtrante. El distribuidor rotativo ha sido el elemento estándar en estos filtros debido a su facilidad de mantenimiento, bajo costo de propulsión, y confiabilidad. Este sistema consiste de dos o más tuberías montadas sobre una columna que sirve como pivote en el centro del filtro y gira en un plano horizontal a pocos centímetros sobre el medio filtrante. El distribuidor puede ser impulsado por un motor eléctrico o bien por la reacción dinámica del agua residual a tratar. En el primer caso la velocidad de rotación es constante, mientras que en el segundo caso dicha velocidad depende del gasto con que este trabajando la unidad; pero en ambos casos la velocidad de giro deberá de ser del orden de una vuelta completa cada 10 minutos, o menos para distribuidores de dos brazos.

De acuerdo con la experiencia, los brazos al girar deben mantenerse a una distancia de 15 a 22 cm de la parte superior del medio filtrante para permitir que el agua residual salga por las boquillas de modo uniforme, distribuyéndose en todo el lecho, evitando así que en las regiones frías las posibles acumulaciones de hielo puedan impedir el movimiento de los brazos durante la época de heladas.

Los brazos del distribuidor están provistos de boquillas para proporcionar un chorro redondo o plano. El chorro redondo se obtiene mediante una boquilla de orificio, mientras que el chorro plano se produce haciendo que el chorro redondo pegue con una lámina situada bajo la boquilla. Otro tipo de salida muy común consiste en el esparcimiento del agua en forma de rocío lo que se logra con una boquilla cónica provista de un plato quebrachorros, o bien con una boquilla cónica que posea un balín de acero en su interior.

Los brazos del distribuidor en unidades pequeñas son de sección transversal constante, mientras que, para unidades grandes son de sección decreciente con el objetivo de tener un gasto de salida constante en todas las boquillas.

A lo largo de los brazos del distribuidor, algunos fabricantes colocan las boquillas irregularmente de tal manera que se consigue un gasto mayor por unidad de longitud en la periferia, lo que involucra un mayor número de orificios en el contorno.

III.3.1.3 Sistema de bajo dren

El sistema de bajo dren debe cumplir dos requisitos esenciales: a) recolectar el agua residual tratada y los sólidos que se desprenden del medio filtrante y b) Permitir una buena ventilación para mantener las condiciones aerobias en la zooglea, evitando que ésta se descomponga al entrar en condiciones anaerobias.

Los requisitos anteriores se cumplen si los drenes presentan una capacidad y pendiente suficiente para que operen satisfactoriamente por sí solos, permitiendo el libre paso del aire, por lo que es recomendable que los drenes inferiores y canaletas de recolección se diseñen para transportar el gasto de diseño con un tirante hasta la mitad de su altura.

Los drenes inferiores están constituidos por medios tubos de arcilla nitrificada, asbesto o cemento, con una pendiente de 1 a 2%. Estos drenes se encuentran tapados por un firme ranurado que permite el paso de agua residual y soporta el medio filtrante. Los drenes inferiores ventilan el filtro proporcionando aire a los microorganismos que viven en las capas inferiores del medio filtrante. La ventilación natural es muy conveniente y eficaz si se cumplen los siguientes requisitos.

- a) Que los drenes inferiores y canales recolectores estén diseñados para que, en Flujo máximo, estén llenos hasta la mitad de su altura.
- b) Que en ambos extremos del canal de recolección se instalen chimeneas de ventilación.
- c) Que los filtros de gran diámetro tengan canales recolectores secundarios con orificios o chimeneas de ventilación cercanos a la periferia.
- d) Que el área de los orificios de los bloques en los drenes inferiores no sea menor de 15% del área total del filtro.

- e) Que por cada 25 m² de área de filtro proporcione un área total de 0.1 m² de rejillas abierta en las chimeneas de ventilación

Cuando los filtros van a trabajar sumamente cargados o son extremadamente profundos, es adecuado proyectar un sistema de ventilación forzado proporcionando un flujo de aire de 0.3 m³/min.m² de superficie de filtro en cualquier dirección. El aire se puede suministrar por medio de sopladores y un sistema difusor cercano a los drenes. En este caso no es conveniente que se inunde el lecho filtrante para corregir estancamientos ya que puede averiarse el sistema de inyección de aire conjuntamente con la inclusión de agua residual.

III.3.2 Características constructivas y funcionales.

III.3.2.1 Distribución del agua

Debe ser lo más uniforme y continua posible. Por tanto, hay que evitar atascamientos y paradas. Los aspersores pueden ser fijos o móviles. Los fijos requieren un dispositivo más complicado de distribución y, por tanto, una mayor pérdida de carga. Los móviles consisten en brazos giratorios dispuestos radicalmente, con boquillas incorporadas y móviles por carga hidráulica. La velocidad es de 0.3 a 5 vueltas por minuto, dependiendo de la carga superficial.

III.3.2.2 Masa soporte

Es conveniente que la masa filtrante tenga la mayor superficie específica posible, para que se pueda formar la mayor cantidad de película biológica, pero esta característica hay que conjugarla con el índice de huecos, ya que éstos serán los que permitirán el paso del aire y del agua.

III.3.2.3 Ventilación

Puede ser natural o forzada.

Natural.- Se produce por efecto de la diferencia de temperaturas del aire y el agua. Al calentarse o enfriarse el aire en el interior del lecho se produce una variación de densidad que provoca el movimiento de las masas. Una diferencia de temperatura de 6 °C produce un tiro de 0.3 m³/m² min. Cuando la diferencia es de 2°C, se para el tiro. Por lo tanto el lecho estará aireado siempre que no se produzca una diferencia térmica, entre el agua y el aire, de 2°C. Si se prolonga esta situación, podrá producir efectos de anaerobiosis.

Forzada: En algunos casos, para evitar esta paro de oxigenación, se recurre a la ventilación forzada, inyectando 0.3 m³/m²min., de forma artificial. Se recurre a este sistema cuando, por causas exteriores como frío, hay que cerrar los lechos. Pero hay que tener en cuenta que representa un incremento de la potencia instalada.

III.3.3 Proceso de depuración de las aguas residuales

Cuando en el medio filtrante existen las condiciones propicias para el crecimiento de los microorganismos, es decir existe una alimentación constante del agua residual, aunada a una temperatura óptima y a una buena ventilación del filtro, se observa que sobre el medio filtrante se desarrolla una película gelatinosa (Zooglea) y formas de vida macroscópicas. La zooglea está formada por microorganismos y constituye la base de tratamiento biológico, mientras que las

formas de vida macroscópica ayudan a realizar el tratamiento y equilibran la vida biológica en el medio.

A grandes rasgos el proceso de depuración de las aguas residuales se efectúa de la siguiente manera. El agua residual cruda posee una cierta cantidad de materia orgánica y/o compuestos degradables, que son susceptibles de ser medidos mediante una prueba como la DBO, dichas sustancias sirven de alimento a los microorganismos, los cuales las utilizan en sus procesos metabólicos, generando nuevas células y oxidando la materia orgánica, a dióxido de carbono y agua.

La formación de nuevas células ocasiona el crecimiento de la zooglea, mientras que el proceso de oxidación produce la depuración del agua residual. Cabe mencionar que para que sucedan estos fenómenos es indispensable que el filtro sea alimentado constantemente con agua residual.

III.3.4 Microbiología de los filtros percoladores

El filtro percolador es un reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte de crecimiento biológico, en la superficie del soporte se forma una capa de limo a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. La capa del limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0.1 y 2.0 mm, está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia, tal como se observa en la figura III.24.

El espesor de la subcapa aerobia depende del caudal del agua residual aplicado y del DBO del afluente menor, ya que a mayor DBO se presenta un consumo más rápido de oxígeno. Por otra parte los caudales elevados favorecen el mantenimiento de una subcapa aerobia más espesa debido a el oxígeno disuelto suministrado en el afluente.

El proceso biológico que tiene lugar en la subcapa aerobia es típico. El sustrato se oxida parcialmente para proporcionar la energía necesaria al proceso biológico. Otra parte del sustrato se utiliza para sintetizar nuevo material de constitución del limo.

En la subcapa anaerobia, la degradación tiene lugar con la formación de ácidos orgánicos, CH_4 y H_2S . En los filtros percoladores la materia orgánica y coloidal se separa mediante oxidación aerobia, biosorción, coagulación y descomposición aerobia. En esencia, no existe disminución de la carga orgánica por filtración mecánica.

III.3.4.1 La película de lama microbiana

Como sucede con los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, el rango y proporciones de las diferentes especies de organismos presentes en la película microbiana dependen de las condiciones de operación del sistema, especialmente de la carga y la composición de nutrientes de las aguas residuales en el proceso de tratamiento. Sin embargo, la lama microbiana de los percoladores es ecológicamente más compleja que, por ejemplo, los lodos activados. El equilibrio entre varias especies varía también con la situación del lecho, y cuando la unidad está situada al aire libre, el equilibrio ecológico mostrará también variaciones estacionales. La película de lama interviene en una compleja serie de cadenas alimenticias y relaciones entre predador y presa, desde las bacterias hasta los insectos, teniendo cada una de ellas un efecto significativo en la operación del percolador. Los sistemas de película adherida reaccionan diferentemente ante los cambios en el ambiente operacional, como la temperatura y la presencia de cargas de choque y

materiales tóxicos, comparados con los sistemas de crecimiento en suspensión, como el proceso de lodos activados

III.3.4.2 El desarrollo de la película

Cuando el agua residual fluye sobre el medio de empaque cubierto de lama, el oxígeno y los nutrientes se consumen dependiendo de la difusión dentro de la película de lama, desde la interfase entre la lama y el líquido. Los microorganismos presentes en la película de lama crecen, y dependiendo del grosor de la película de lama, sus regiones cercanas a la superficie sólida de soporte y más alejadas de la película se vuelven anaeróbicas. Esta condición anaeróbica o anaerobiosis de la película, ha sido propuesta como una de las causas del inicio del proceso de desprendimiento, ya que las capas anaeróbicas padecen hambre, mueren, se disuelven y se separan de las superficies del empaque del medio de soporte, y la película remanente de microorganismos puede tener viabilidad defectuosa (Ref. 20). La eficiencia de purificación de la producción aeróbica de la película de lama microbiana se reducirá según los productos metabólicos de las regiones anaeróbicas de la película de lama, como alcoholes, aldehídos y ácidos. Estos productos pueden inhibir la toma de nutrientes de la capa líquida por los organismos aeróbicos. Las condiciones anaeróbicas pueden también originar la formación de cavidades de gas en la película de lama, lo que es de esperar aumente el proceso de desprendimiento. Por tanto la película de lama microbiana es hasta cierto punto autorregulante, pero pueden haber considerables variaciones locales en el espesor de la película microbiana de lama. Grandes proporciones de la lama desprendida pueden causar bloqueos en las otras partes del medio de empaque.

La eficiencia de purificación de la lama alcanza un máximo cuando hay una delgada película de lama completamente aeróbica, y la eficiencia puede bajar ligeramente según aumente el espesor de la película y las regiones más profundas de la película se vuelven inactivas o anaeróbicas. Así a pesar de que una película de lama puede tener un espesor de varios milímetros, solo una capa exterior de 0.05 a 0.15 de profundidad podrá ser aeróbica. Resultados experimentales han demostrado que la remoción del sustrato por una película de lama microbiana aumenta linealmente con el incremento del espesor de la película hasta un nivel máximo donde permanece constante con aumentos adicionales del espesor de la película (Ref. 43). El espesor de la película que proporciona máxima eficiencia ha sido citado como 0.25 mm. La profundidad crítica de una película predominantemente bacteriana alrededor de 0.2 mm y entre 0.05 y 0.1 mm de profundidad aeróbica activa en un espesor de 0.1 a 2 mm (Ref. 15). En contraposición, algunos residuos industriales ricos en nutrientes, como los provenientes de las industrias de procesamiento de alimentos, estimulan la formación de espesas películas que son, por lo general, predominantemente fungoides y que pueden alcanzar espesores de 5 a 8 mm, mientras se mantengan completamente aeróbicas.

El espesor de la capa de lama y la profundidad de la capa activa dependerán también de la carga de nutrientes del sistema y de la actividad metabólica de los organismos presentes en la película de lama. Las tasas a las cuales el oxígeno y los nutrientes se difunden dentro de la película de lama, dependerán de sus respectivas concentraciones en la capa líquida en contacto con la película de lama. Cuando sea alta la concentración de nutrientes en el líquido, la fuerza impulsora de la concentración causará una rápida difusión de los nutrientes dentro de la película de lama, de manera que penetran profundamente dentro de la película antes de ser consumidos.

Con muy altas concentraciones de sustrato en la fase líquida, la tasa de difusión de los nutrientes orgánicos en la película de lama puede ser más rápida que la del oxígeno necesario para su metabolismo aeróbico, de modo que la profundidad de la capa activa estará determinada por la profundidad de penetración del oxígeno.

Cuando la concentración de nutrientes en la capa líquida se baja y los nutrientes orgánicos penetran solo una corta distancia dentro de la película de lama antes de ser consumidos, el sistema está controlado por la disponibilidad de los nutrientes orgánicos y se dice que está controlado por los sustratos. No obstante la película más allá de la capa activa no es completamente superflua, ya que actúa como un amortiguador y proporciona al sistema la capacidad de moderar los efectos de los cambios en el ambiente operacional, como son los cambios en la temperatura o las cargas de choque. Si la actividad de la capa activa superficial de la película se reduce, por ejemplo por un descenso en la temperatura, los nutrientes penetran más en la película antes de ser consumidos, con lo que estarán en contacto con una mayor proporción de la población microbiana.

III.3.4.3 Ecología de la lama

La lama microbiana consiste de un sistema microecológico de bacterias, hongos, protozoarios y algunos organismos macroscópicos. Como las aguas residuales cambian su composición al pasar a través de los diferentes estratos del empaque, estarán en contacto con líquidos de diferente composición. El equilibrio ecológico de los organismos en la lama variará por consiguiente dentro del lecho. Esto permite la existencia de un rango más amplio de especies en el percolador, que en sistemas de mezcla total, y la distribución estratificada de las especies dentro del empaque contribuye a la capacidad de los percoladores para resistir cargas de choque. En el tratamiento de las aguas negras domésticas, las bacterias son los organismos predominantes, encontrándose ejemplos de especies aeróbicas, anaeróbicas y facultativas. Como el líquido que sale por el fondo del lecho tiene un contenido de nutrientes reducido, es de esperarse que se encuentren bacterias autotróficas, en los estratos inferiores que no dependen de los nutrientes orgánicos. Las bacterias nitrificantes autotróficas están por lo general asociadas con las regiones inferiores de los lechos de percolación. En los percoladores que tratan las aguas negras domésticas, la masa básica de zooglea de la lama está formada por *Zoogloea ramigera*, y a pesar de que están bacterias filamentosas, como *Sphaerotilus* y *Beggiatoa*, no originan los problemas en los procesos que causan los lodos activados. Los hongos son más comunes en la lama del percolador que en los lodos activados, especialmente cuando los percoladores se usan para el tratamiento de residuos industriales, y tienden a predominar en los estratos superiores del lecho donde es más alta la concentración de nutrientes en la capa líquida.

Hay capas muy gruesas de lamas predominantemente fungoides que pueden ser totalmente aeróbicas, y en las que la transferencia de oxígeno dentro de la lama se efectúa por corrientes protoplásmicas dentro de las hifas fungoides (Ref. 42). Los mohos que tienen la capacidad de adherirse fuertemente a las superficies, como son *Fusarium* y *Geotrichum* son más comunes y están entre los primeros organismos que establecen colonias en un empaque. Otros géneros ecológicamente importantes son *Sepedonium*, *Ascoidea* y *Subaromyces* (Ref. 13). A pesar de que el crecimiento algáceo está limitado a la superficie superior de los lechos, donde hay luz disponible, las algas pueden causar problemas cuando el excesivo crecimiento tapa el empaque e interfiere con la distribución de las aguas residuales sobre el lecho del percolador, y en ciertas circunstancias se puede presentar un crecimiento abundante de musgos y hepáticas. Esto se puede evitar techando el lecho. Los protozoarios abundan en los percoladores, predominando los ciliados, la separación en los diferentes estratos del lecho reducen las diferencias entre las distintas especies de protozoarios (Refs. 13 y 41); además de las especies microbianas los animales de un nivel superior pueden tener un nivel significativo en la operación del percolador. Los gusanos, caracoles y larvas de insectos pastan en la lama, y a pesar de que la presencia de moscas constituye una molestia, son útiles porque evitan la acumulación de lama sobre el empaque. La importancia que puede tener este efecto depende de la carga del sistema. Las altas tasas de flujo de líquido arrastran las larvas de los

insectos mientras que los gusanos lombriciformes y las tenaces permanecen y alivian la molestia causada por la eria de moscas en la lama. A bajas tasas de flujo de líquido, la actividad de los organismos macroinvertebrados es muy significativa para el inicio del desprendimiento de la película de lama. En unidades al aire libre, la cantidad de lama en el empaque varía estacionalmente, con acumulación de lamas en los meses de invierno y una descarga de sólidos en la primavera, que acompañan a un aumento de la población macroinvertebrada. La acumulación de sólidos en el empaque tiene un efecto muy significativo sobre el funcionamiento del percolador. La lama se puede acumular hasta un grado tal que el empaque resulta bloqueado y el flujo del líquido se ve seriamente impedido. El líquido tiende entonces a acumularse en charcos sobre la superficie del lecho, un efecto conocido como "encharcamiento", y que ocurre cuando el crecimiento de la película sobrepasa la tasa a la que se desprende. Esto ocurre cuando se trata de un desecho con alto contenido de nutrientes que estimulan el rápido crecimiento de la lama, y cuando la tasa del flujo del líquido es demasiado baja para arrastrar la lama. Los residuos con un alto contenido de nutrientes de sólidos en suspensión pueden ser también causa de bloqueo por el aumento en el volumen de lodos debido a la adsorción de los lodos en la lama y por la captura de sólidos en los intersticios del empaque. *El bloqueo parcial del empaque resulta en una desigual distribución de los líquidos a través del empaque, conocida como "canalización"*. Esto lleva a que parte del empaque sea privado de nutrientes y oxígeno, mientras que otras partes están sobrecargadas, con una consiguiente pérdida de eficiencia.

Se ha sugerido que la presencia de la superficie de soporte sólido aumenta la actividad microbiana al descomponer los nutrientes. Las aguas residuales están diluidas en lo que respecta a los nutrientes, comparadas con los medios de crecimiento utilizados en las fermentaciones industriales, y se dice que tiene lugar un efecto significativo de concentración por adsorción de los nutrientes y de las enzimas segregadas por los microorganismos, presentes en la película de lama en los intersticios entre las células microbianas y la superficie del soporte sólido. *La presencia de masa microbiana como una película de lama, continua y estática, más bien que como células dispersas en un medio mixto, inhibe la difusión de exoenzimas y metabolitos fuera de la masa de la célula, aumentando la utilización de los nutrientes.*

III.3.5 Comparación entre los filtros percoladores y el proceso de lodos activados.

- Para rendimientos en la disminución de la DBO de aproximadamente el 60%, se ha encontrado que normalmente los filtros percoladores son más económicos, en particular para caudales pequeños.
- Para rendimientos superiores en la disminución de la DBO (90% o más) el proceso de lodos activados es más económico debido a que el costo del material del relleno podría resultar demasiado elevado.

III.3.6 Problemas en la operación del Filtro Percolador

Puesta en marcha

En la puesta en marcha se precisan más de ocho días para formar la película biológica.

Las causas pueden ser:

- Insuficiente carga orgánica. Para reducir el efecto se puede reducir la recirculación

es cerrar parcialmente la entrada de aire frío con lo cual se puede mantener a la temperatura del agua residual. Hay que dejar siempre por lo menos una abertura que sea equivalente al 1% de la sección del lecho.

III.3.7 Aplicaciones

Los filtros percoladores son aplicados tanto para el tratamiento de aguas residuales municipales como industriales, siendo recomendable que el terreno donde se localice la planta de tratamiento presente un desnivel tal que proporcione la carga hidráulica suficiente para impulsar los distribuidores sin la necesidad de emplear motores eléctricos.

En el tratamiento de aguas residuales industriales se han usado filtros percoladores de medio plástico en la depuración de los siguientes desechos.

1. Compuestos amoniacales
2. Gaseras
3. Antitoxinas
4. Productos químicos orgánicos
5. Radiactivos
6. Empaquetado de comida
7. Azúcar de remolacha
8. Molinos de pulpa de papel
9. Carvecerías
10. Lavanderías
11. Productos de coque
12. Petroquímica
13. Conservas
14. Petróleo
15. Acetato de celulosa
16. Farmacéutica
17. Fenolesclorados
18. Refinerías del petróleo

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

- 19 Plantas de coque
- 20 Encantidos
- 21 Conservas de maíz
- 22 Almidón de papa
- 23 Cianuro
24. Rastro de aves
25. Bebidas
26. Fenol puro
27. Destilerías
28. Textil
29. Procesos de fermentación
30. 2,4-D
31. Procesamiento de comida
- 32 Vacunas

Como se puede observar el uso de los percoladores es sumamente versátil y su empleo queda restringido a las características del terreno y costos tanto de construcción como de mantenimiento y operación.

III.3.8 Ventajas

No necesitan muros impermeables (muros que encarecen la construcción).

Posibilidad de establecer aireación adecuada por medios diversos, que permiten adaptar, en las mejores condiciones posibles, los fenómenos de depuración por vía aerobia a las características del afluente a tratar.

Continuidad, estableciendo los dispositivos adecuados para el vertido sobre el lecho, y los dispositivos de evacuación de las aguas de salida.

III.4 Biodiscos

Los reactores biológicos rotatorios, también llamados biodiscos (figura III.25) son un sistema biológico para el tratamiento de aguas residuales, que tiene como objetivo principal la eliminación del material orgánico disuelto que se encuentran en las aguas residuales. También pueden ser utilizados de forma simultánea, para la oxidación del amoníaco que se encuentra en las aguas residuales o que se produce por actividad de los microorganismos presentes en el agua

Los reactores biológicos rotatorios se encuentran asociados, al igual que otros sistemas biológicos, a sedimentadores primario y secundario.

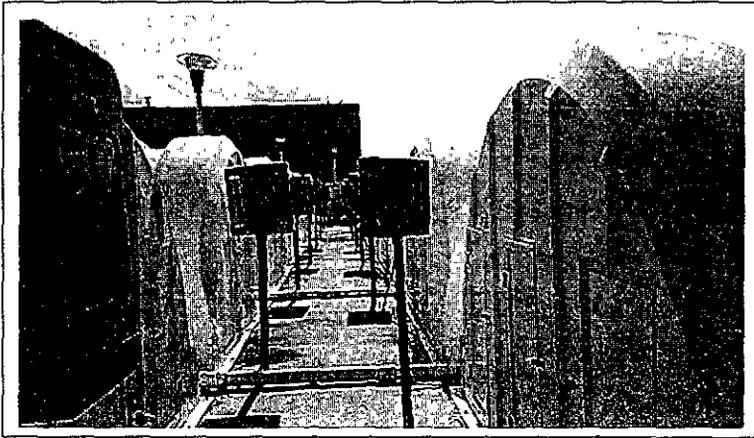


FIGURA III.25 Sistema de biodiscos

Los biodiscos son un conjunto de placas de material plástico corrugado, generalmente de forma circular (discos), soportadas en el centro por una flecha de acero. La flecha tiene, en sus extremos, soportes rotatorios (rodamientos, chumaceras) y, en uno de los extremos se coloca el sistema de tracción. Este sistema de tracción es, generalmente, un motor eléctrico acoplado a un reductor de velocidad que hace girar la flecha lentamente. El biodisco se instala sobre un tanque, permitiendo que las placas de plástico se sumerjan parcialmente en el agua residual.

Este sistema se caracteriza por su alta efectividad en el tratamiento de aguas residuales, fácil operación, poco mantenimiento, supervisión mínima y bajo consumo de energía. El principio de este proceso de tratamiento secundario es muy similar a los filtros rociadores y consiste de una serie de discos de material plástico de alta densidad (polietileno o poliestireno) de 3 a 4 m de diámetro, soportados en una flecha horizontal e instalados en un tanque de concreto. La flecha y medio plástico (tambor) se hacen girar por medio de un mecanismo motriz acoplado a la flecha, entre 1 y 2 rpm, manteniendo aproximadamente el 40% del área superficial del tambor sumergido en el agua residual. Los microorganismos presentes en el agua residual comienzan a fijarse y a crecer en la superficie de los discos que se cubre con una película biológica de 2 a 4 mm de espesor.

Los biodiscos (hojas planas corrugadas) al unirse, forman una estructura rizada con un espaciamento entre capa y capa de 3.2 cm y una densidad de área superficial de 121.4 m²/m³, permitiendo que esta unión forme canales radiales a 30° del centro del disco hacia la periferia, con el fin de asegurar que el agua residual, aire y biomasa que se desprende, pase libremente dentro y fuera del medio. (Figura III.26)

El giro de los biodiscos ocasiona una fuerza de fricción sobre la película biológica, lo que provoca el desprendimiento de biomasa conservando constante el espesor de la película y manteniendo la biomasa desprendida en suspensión hasta que salga del reactor y sea conducido a un sedimentador

Esta forma de operar el sistema permite que se cumpla con los siguientes requisitos básicos

- Proporcionar el área necesaria para el desarrollo de los microorganismos
- Proporcionar contacto vigoroso entre la población microbiana y el agua residual
- Mantener el sistema en condiciones aerobias, exponiendo continuamente al aire la película biológica.
- Permitir una distribución uniforme del oxígeno del aire con el substrato soluble en la biomasa.
- Provocar un desprendimiento continuo de la biomasa en exceso, manteniendo de esta forma el espesor de la película biológica casi constante
- Mantener completamente mezclado el contenido del tanque, para mantener los sólidos en suspensión.

El sistema de biodiscos normalmente se divide en cuatro diferentes etapas (figura III 27), cada etapa se separa por un baffle removible y opera con un mezclado completo en el cual se encuentran en equilibrio dinámico la tasa de crecimiento biológico y la tasa de desprendimiento de biomasa. El flujo de agua residual generalmente es paralelo a la flecha, pero puede fluir en forma perpendicular dependiendo del número de etapas o del flujo de etapa por etapa. Cada baffle lleva un orificio en la parte inferior lo que permite el flujo de una etapa a otra. Cada baffle lleva un orificio en la parte inferior lo que permite el flujo de una etapa a otra. Esta separación es utilizada para optimizar la efectividad del área superficial del medio. Los organismos de la primera etapa son expuestos a mayores niveles de carga orgánica (DBO) y la tasa de remoción de DBO es mayor, disminuyendo a medida que se avanza en etapas.

Las plantas de tratamiento que requieren cuatro o más flechas (tambores) generalmente son dispuestas de tal forma que cada flecha actúe como una etapa individual de tratamiento, en las cuales el flujo es perpendicular a las flechas. El efluente de la última etapa del sistema, conteniendo los sólidos desprendidos de la película biológica, fluye al clarificador secundario, donde son removidos por sedimentación.

Se recomienda el uso de cubiertas sobre los discos por las siguientes razones:

- Evitar que la película biológica se congele en climas fríos.
- Prevenir que las lluvias intensas laven la película biológica.
- Aislar el medio de la luz solar para prevenir el crecimiento de algas y proteger la integridad estructural del medio.

El material de construcción de las cubiertas debe de ser resistente a la corrosión, normalmente no se requiere ventilación forzada ni calentamiento, son suficientes ventanas o respiraderos, los cuales se deben abrir en verano y cerrar en invierno. Generalmente el material utilizado es plástico, ya sea con o sin instalación térmica, dependiendo de las condiciones climáticas.

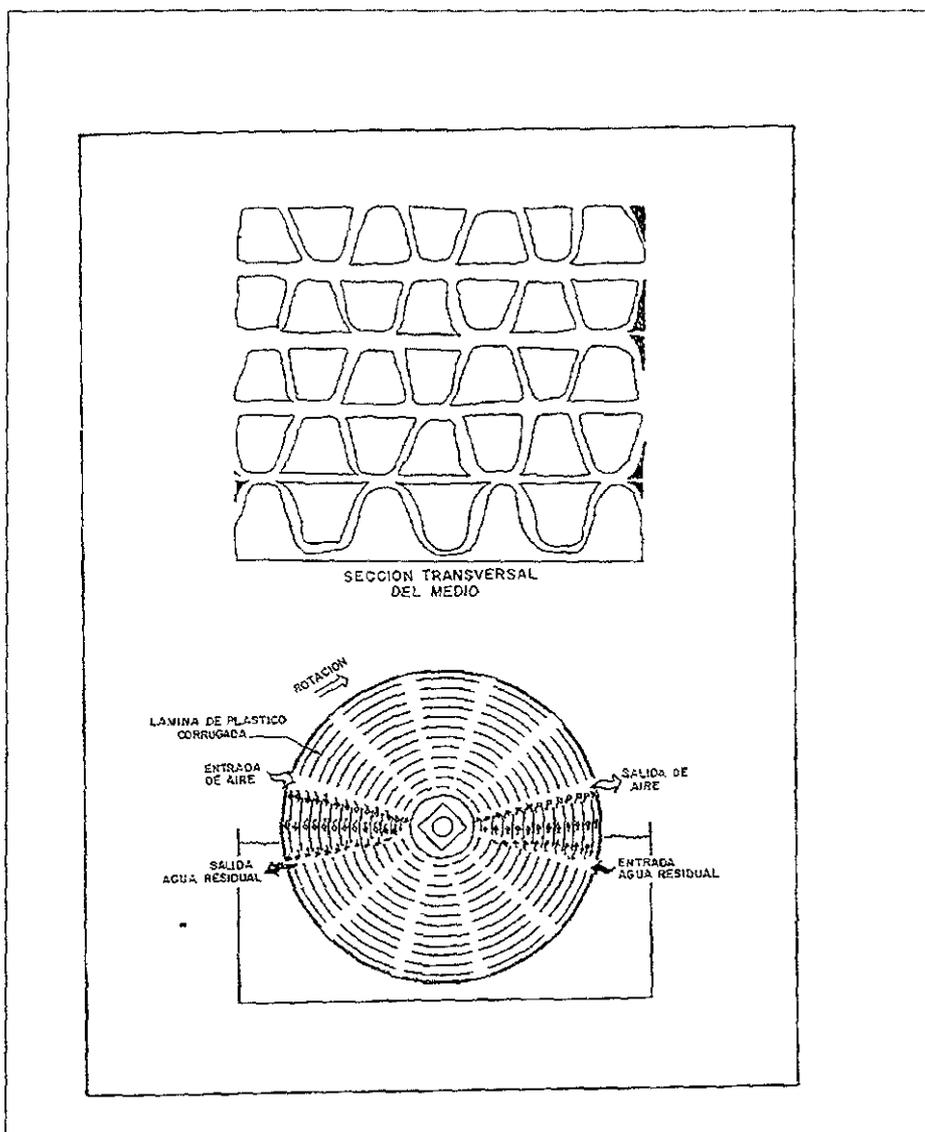


FIGURA III.26

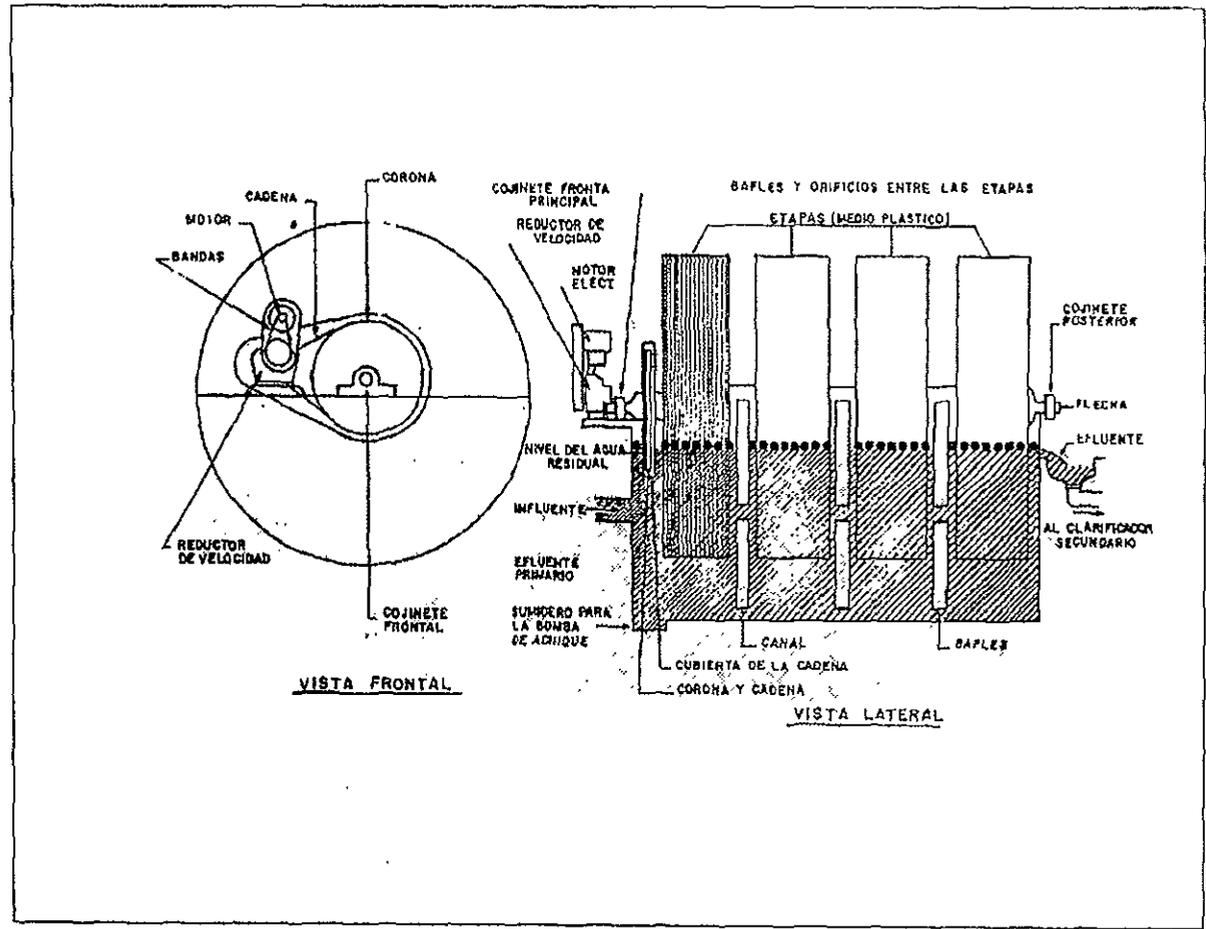


FIGURA III.27 Sistema de discos biológicos

Los tanques en que se apoyan los discos generalmente son de concreto aunque pueden ser de cualquier otro material resistente. La forma y volumen del tanque estará en función del caudal a tratar.

III.4.1 Necesidades de pretratamiento y sedimentación final.

Como todo proceso biológico, los reactores de discos biológicos deben estar precedidos por un pretratamiento, o remoción primaria de sólidos suspendidos, consistente de rejillas para gruesos, desarenadores y sedimentación primaria (Figura III.28). El no remover estos materiales puede ocasionar sedimentación de arena y otros materiales orgánicos en el fondo del tanque de biodiscos, reduciendo por un lado el volumen de estos y por otro ocasionando condiciones sépticas y arrastre de la película biológica de los discos y posible atascamiento de la unidad. Es por esto que se debe contar con un equipo adecuado de tratamiento primario para obtener un buen rendimiento en el sistema de discos biológicos.

También, debido a que todos los procesos biológicos se ven afectados por la presencia de sustancias tóxicas, las restricciones aplicadas a otros procesos biológicos en cuanto a calidad del afluente se deben aplicar a los sistemas de discos biológicos.

Algunas plantas de biodiscos cuentan con tanques de regularización antes del clarificador primario, para absorber flujos picos y variaciones de carga. Esto permite la disolución y/o neutralización del desecho y en generar eliminar las cargas shock: Cargas orgánicas muy altas en el afluente pueden ocasionar sobrecargas de la primera etapa del sistema, resultando una disminución en la reducción de DBO y en algunos casos alterarse las características de sedimentación del lodo biológico producido.

La distribución del flujo en el afluente de un sistema de discos biológicos no tiene gran importancia en el rendimiento del sistema, debido a que la velocidad rotacional de los discos mantiene en mezcla casi completa todo el licor mezclado del tanque.

Los sólidos biológicos generados por el reactor rotatorio, en forma de grandes flóculos y que son desprendidos de la superficie de los discos, son mantenidos en suspensión hasta que salen de la última etapa y son separados y procesados como lodos. La separación de estos lodos se hace en un tanque convencional de sedimentación secundario.

Para obtener el mayor grado de remoción de la materia orgánica lograda en el reactor biológico (biodiscos), el tanque de sedimentación final debe ser operado en forma correcta. Esto es, evitar que se formen condiciones sépticas en el sedimentador purgando la cantidad necesaria de lodos, para mantener un colchón, teniendo cuidado en no diluir demasiado los lodos. En la práctica esto se logra a prueba y error con el objeto de determinar la frecuencia de purgas y poder establecer, si se quiere, un sistema automático de control.

III.4.2 El proceso de biodiscos

Al girar los discos, la película biológica adherida a ellos entra en contacto, alternadamente, con el agua residual que está en el tanque y con el oxígeno atmosférico. Al salir del agua del tanque, las placas de material plástico arrastran una capa líquida sobre la superficie de la película biológica, lo cual permite la oxigenación del agua y de los microorganismos. Debido a la sucesión de inmersiones y emersiones, la capa líquida se renueva constantemente. La oxigenación se lleva a

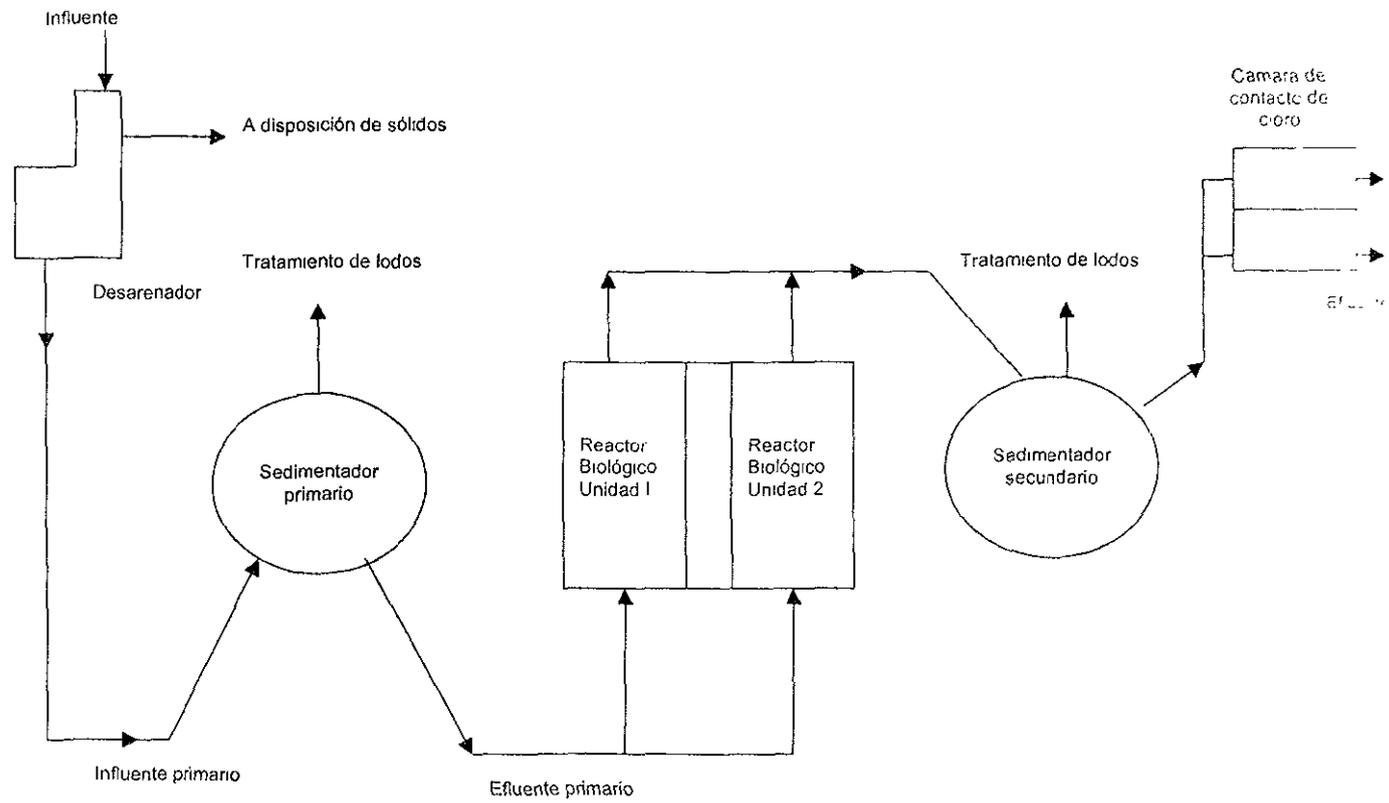


FIGURA III.28 Componentes de un sistema integral de discos biológicos

cabo por difusión a través de la película líquida que queda adherida a la biomasa. Los microorganismos utilizan el oxígeno molecular disuelto para efectuar la degradación aerobia de la materia orgánica. Cada vez que pasa por el agua de desecho, la biomasa absorbe materia orgánica que es utilizada como fuente de nutrientes. Los principales productos de la oxidación bioquímica son: agua, bióxido de carbono, amoníaco y microorganismos que aumentan la población microbiana. El exceso de microorganismos se desprende de los discos debido a las fuerzas cortantes originadas por la rotación de estos al pasar por el agua. Los microorganismos desprendidos se mantienen en suspensión en el líquido, salen del tanque con el agua tratada y son conducidos hacia el sedimentador secundario, donde son separados de está.

Los discos o material plástico cumplen con varios propósitos: son un soporte para las poblaciones microbianas, sirven como dispositivo de mezclado en el tanque y permiten la oxigenación del medio.

Cuando el proceso inicia su operación, los microbios del agua de desecho se adhieren a la superficie del material plástico y se desarrollan hasta que toda esta área queda cubierta con una capa o película microbiana.

III.4.2.1 Detalles constructivos

Tipos de biodiscos

En la actualidad, los biodiscos pueden ser considerados como otra alternativa para el tratamiento secundario de aguas residuales de tipo domésticos y municipal. Se conocen múltiples casos de la utilización de biodiscos en la industria.

Las compañías más grandes, así como los mayores consumidores de este sistema se encuentran en los Estados Unidos de Norteamérica. En este país, los biodiscos han tenido una aplicación preponderante en el tratamiento de aguas residuales de tipo municipal. Muchas plantas, pequeñas y grandes, han instalado biodiscos como sistema para tratamiento secundario. Durante casi 20 años, la configuración más utilizada (actualmente denominada estándar) es la de unidades con diámetros de 3.6 m (12 ft), longitudes de 8 m (28 ft) y con área superficial entre 9,300 y 11,100 m² (100,000 y 120,000 ft²). Cuando las unidades de biodisco tienen separaciones internas para ser divididos en etapas, se tiene una pérdida de área superficial, lo cual no sucede cuando las unidades son fabricadas sin divisiones. Dentro de los denominados "países en vías de desarrollo", México es el único que fabrica biodiscos con tecnología propia en la configuración "estándar".

Un tipo de biodisco que se ha popularizado mucho en el Reino Unido es el denominado "planta paquete". Es un sistema integrado de sedimentador primario, biodisco y sedimentador secundario que se fabrica en tanques de acero al carbón o de fibra de vidrio, dependiendo del tamaño y la resistencia estructural deseada. Los discos de polietileno coarugados tienen diámetros entre 1.5 y 2.5 m y el sistema de tracción es con motoreductor. Su principal aplicación es para el tratamiento de aguas residuales de pequeños conjuntos habitacionales.

Actualmente, en países europeos, se cuenta con más de 50 fabricantes de sistemas de "paquete", que utilizan biodiscos como sistema de tratamiento secundario.

III.4.3 Aspectos microbiológicos del proceso

Como en todos los procesos biológicos es de vital importancia conseguir un ambiente y control adecuado del proceso para que un agua residual pueda ser tratada. Para entender el funcionamiento de un sistema de discos biológicos, es importante conocer la forma, estructura y actividades bioquímicas de los microorganismos.

Reportes de estudios realizados sobre el efecto de la superficie en la actividad microbiana, indican que las bacterias producen un polímero extracelular que les permite adherirse a las superficies y que esta adhesión puede ser permanente o temporal. Por otro lado el desarrollo microbiano es un proceso selectivo, es decir primero aparecen los gusanos pequeños, algunas horas después aparecen los cocos, espirilos y gusanos más grandes y finalmente se presentan los organismos estáticos y de vida libre.

Por otra parte, se ha encontrado que la densidad y morfología de la película biológica, manifestada por las diferentes especies de microorganismos presentes, depende de las concentraciones de alimento en el afluente. En nuestro proceso la relación alimento-microorganismos disminuye de la primera a la última etapa, es decir en la primera etapa es donde se tendrá una mayor concentración de alimento y por lo tanto mayor crecimiento de biomasa.

El crecimiento escaso de la biomasa en las últimas etapas del sistema, se debe al desarrollo de predadores, tales como protozoarios, rotíferos y nemátodos. En sistemas de película fija, esta predación se considera como uno de los mecanismos de control del espesor de la película biológica. La presencia de rotíferos en las últimas etapas de una unidad de discos biológicos indica una remoción de materia orgánica casi total (mayor a 85%).

Observaciones experimentales en la unidad de discos biológicos de Ciudad Universitaria, indican la siguiente distribución de microorganismos en un sistema de 4 etapas :

Etapa	Microorganismos presentes
Primera	Predominan las especies de ciliados
Segunda	Además de los ciliados se encuentran <i>Euglena</i> y <i>Amoeba</i> .
Tercera	Muchos ciliados, rotíferos y Píldido.
Cuarta	Presencia de gusanos planos, ciliados y rotíferos.

La presencia de ciliados indica la estabilidad del medio, su predominancia se debe a que éstos requieren menos energía para desarrollar sus funciones alimenticias y a que se reponen más rápido en condiciones anaerobias.

Cada tipo de microorganismo tiene sus propias características y predomina bajo ciertas condiciones, por tal motivo la observación microscópica es fundamental en la evaluación de un proceso biológico de tratamiento, ya que esta información puede ser suficiente para detectar la presencia de algún problema y para sugerir una solución.

Los mecanismos involucrados en las reacciones bioquímicas de metabolización de la materia orgánica por los microorganismos son muy complicados y sólo debemos preocuparnos por entender los mecanismos de operación de éstos y tratar de hacer un proceso a la medida de estos organismos, en vez de adaptarlos a un proceso.

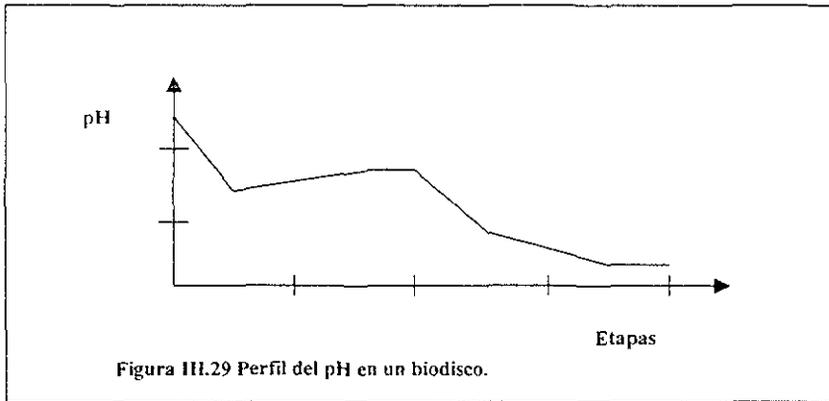
III.4.4 Factores que afectan el proceso

En este punto nos referiremos a las variables que se considera tienen un efecto significativo en el proceso y que de alguna forma afectan el funcionamiento del sistema. Estas variables se listan a continuación.

III.4.4.1 *pH*

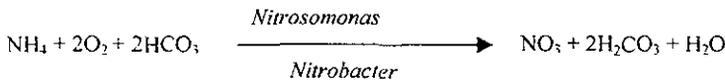
El proceso de biodiscos funciona en forma adecuada en un rango de pH de 6.5 a 8.5. fuera de este intervalo se puede tener desprendimiento de la película biológica de los discos. Normalmente en un sistema de biodiscos tendremos una caída de pH en las primeras etapas debido a la producción de ácidos orgánicos o puede indicarnos una condición limitante de oxígeno disuelto en la figura III.29 se observa el perfil del pH. para un sistema de biodiscos. Por otro lado, la caída de pH en las últimas etapas del sistema, se debe a la nitrificación.

Es importante tener el pH sin modificaciones significativas dentro del intervalo recomendado. Si el agua de desecho no amortigua los cambios de pH, es necesario agregar sustancias que eviten las variaciones drásticas de este factor, normalmente, las aguas de desecho doméstico tienen suficiente alcalinidad para amortiguar las modificaciones del pH.



III.4.4.2 *Alcalinidad*

La alcalinidad de las aguas de desecho funciona como amortiguador de los cambios de pH en los biodiscos. La oxidación de amoníaco por bacterias nitrificantes se puede expresar con la siguiente reacción:



Al formarse nitratos, se produce ácido carbónico, este cambio ocasiona la destrucción de alcalinidad en una proporción de 7.1 mg (como CaCO₃) por cada miligramo de amoníaco oxidado. Como el proceso de nitrificación reduce la alcalinidad y produce ácido carbónico, el pH puede bajar de 6 y afectar de manera negativa la nitrificación. Este decremento en el pH puede prevenirse o minimizarse por aireación o aumentando la alcalinidad con sustancias químicas. Comúnmente las aguas de desecho domésticas tienen una alcalinidad entre 150 y 200 mg/l (como CaCO₃), por tanto, su capacidad amortiguadora permite el desarrollo eficiente de los procesos de degradación y nitrificación.

III.4.4.3 Salinidad

Las concentraciones de iones cloruro están relacionadas inversamente con la DBO en el afluente, a mayores concentraciones de cloruros corresponden menores valores de DBO. Por tanto se puede esperar que el sistema de biodiscos funcione satisfactoriamente con aguas de desecho salinas y produzca efluentes con la calidad deseada en un proceso secundario.

III.4.4.4 Velocidad de rotación

La velocidad de rotación es un factor importante, ya que afecta el tratamiento de las aguas residuales de diferentes maneras. Hay una velocidad de rotación óptima arriba de la cual no se tendrán aumentos en los niveles de tratamiento. Esta velocidad óptima varía con la concentración de la DBO en el agua residual, así es mayor para desechos industriales que domésticos. La velocidad de rotación óptima disminuye de etapa en etapa a medida que decrece la DBO. Para aguas residuales domésticas la velocidad periférica óptima es de 18.3 m/min (60 pies/min), cuando las etapas del sistema giran a la misma velocidad.

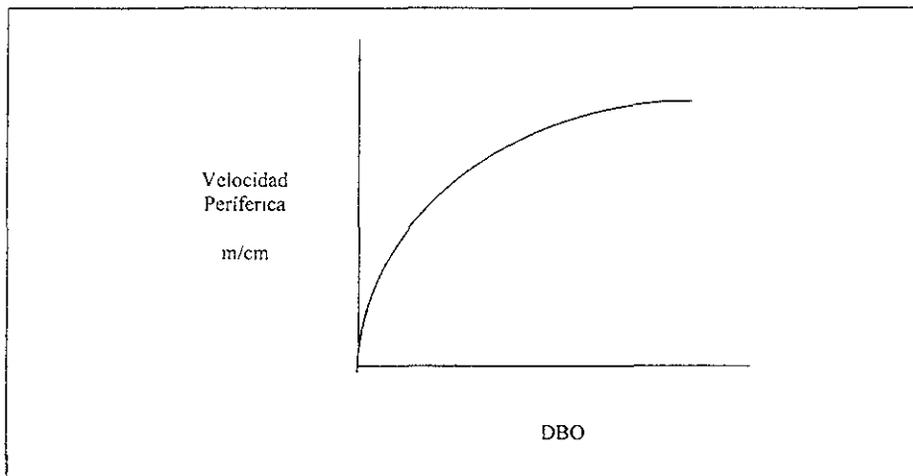


FIGURA III.30 Perfiles de oxígeno disuelto para diferentes velocidades periféricas.

De acuerdo a estudios realizados en este sentido se concluye que:

La concentración de oxígeno disuelto cambia a lo largo del reactor (en cada etapa) y depende de la velocidad periférica de rotación. La figura III.30 muestra el perfil de las concentraciones de oxígeno disuelto para diferentes velocidades cuando la carga orgánica es 37.2 g DQI/d.m².

III.4.4.5 La película biológica

La parte esencial del tratamiento es el crecimiento biológico sobre el medio, si no hay crecimiento no habrá tratamiento del agua residual. La película biológica o biomasa como parámetro de control

es muy importante ya que solo con la observación visual de su apariencia se pueden identificar algunos problemas de operación. La película biológica deberá tener un color entre café y gris, con un aspecto rugoso uniforme, no deberá haber presencia de algas y muy pocos o nada de espacios vacíos. No se debe detectar ningún olor desagradable, sobre todo de sulfuros.

En las etapas de nitrificación la película biológica es mucho más delgada, menos rugosa y de un color café más brillante. El crecimiento se puede presentar en forma más irregular, debido a que en estas etapas, la actividad de los depredadores (protozoarios, rotíferos y gusanos) es más grande.

a) Desarrollo de una película biológica negra

Si la película tiene una apariencia negra y algún olor fuera de lo normal, nos indicará que existe una sobrecarga de sólidos o de DBO y posiblemente se manifieste en una baja de OD en el efluente de la planta. Este problema se puede solucionar poniendo otra unidad en servicio, si se tiene, o se puede probar preaireando el afluente del sistema. También se deberá revisar la operación del clarificador primario, para determinar si éste no es la fuente de la sobrecarga.

b) Desarrollo de una película biológica blanca

La apariencia blanquecina de la película se debe al efecto que producen las bacterias que se alimentan de compuestos de azufre. Estos compuestos pueden estar presentes en algunas descargas industriales. La solución es la misma que en el caso anterior. También se puede quitar el baffle entre las etapas 1 y 2, durante el periodo de altas cargas orgánicas y/o de compuestos sulfonados.

Otra causa de sobrecarga puede deberse a los depósitos de lodos acumulados en el fondo de las secciones (etapas) del tanque, los cuales deben ser removidos. Para esto se tendrá que parar la unidad, drenar cada sección del tanque y lavar los depósitos de lodos, teniendo cuidado que los orificios de los baffles entre las etapas queden perfectamente limpios.

c) Desprendimiento de la película biológica.

Dentro de las etapas de estabilización de la película biológica, generalmente en la primera semana después del arranque, habrá desprendimientos normales de la biomasa, los cuales no causan problemas y se corrigen por sí solos. Si los desprendimientos son severos y ocurren después del periodo de estabilización o éste es difícil de alcanzar, las causas pueden ser la presencia de sustancias tóxicas e inhibitorias en el agua residual, las cuales pueden matar a los organismos de la biomasa o inhibir su capacidad de tratamiento (biodegradación). Para resolver este problema se deben tomar las medidas necesarias para eliminar estas sustancias tóxicas, aunque esto puede representar altos costos y dificultades de operación, sin embargo, un proceso biológico nunca trabajará adecuadamente en presencia de sustancias tóxicas.

Una medida de atenuación sería diluir el afluente por medio de un tanque regulador, de tal forma que se alcance un nivel medio de toxicidad y que los efectos sobre los microorganismos no sean tan significativos.

También puede haber pérdidas de la película biológica por variaciones en el flujo o la carga orgánica. La eficiencia de eliminación de materia orgánica se incrementa al aumentar la velocidad periférica.

III.4.4.6 Número de etapas

La acción de dividir el proceso de biodiscos en etapas hace más eficiente la utilización del área de contacto. Esto implica el empleo de varias unidades conectadas en serie (reactores en cascada). Estudios realizados demuestran que al trabajar con dos unidades de igual área superficial total, una dividida en dos etapas y la otra de cuatro, la unidad con más etapas eliminó el 85% de la DBO, mientras que la otra eliminó solo el 75 %. Posteriormente, se ha confirmado que un equipo que consta de varias etapas requiere menos área superficial de contacto para dar un porcentaje determinado de eliminación de contaminantes.

Una característica importante de los biodiscos divididos en etapas es que permiten que la película biológica contenga en cada etapa diferentes tipos de población bacteriana especializada en la degradación del sustrato correspondiente.

La tasa de crecimiento de los microorganismos es más alta en la primera etapa y disminuye en cada una de las subsecuentes. Lo mismo sucede con la tasa de eliminación de materia orgánica, hasta que la DBO llega a ser tan baja que el crecimiento de microorganismos enfrenta serias limitaciones. Además la composición microbiana de la película cambia las poblaciones, los organismos heterótrofos predominan en las etapas iniciales y las bacterias autótrofas (nitrificantes) en las finales.

La acción de dividir el proceso en etapas contribuye a mejorar el comportamiento hidráulico, puesto que se dispone de una serie de tanques perfectamente mezclados y la distribución del tiempo de residencia se aproxima al comportamiento tipo flujo-pistón.

Aunque la calidad del efluente sea superior, si el número de etapas aumenta, el desarrollo de organismos depredadores, que afectan la supervivencia de las poblaciones bacterianas hace que se considere seriamente, la opción de dividir el proceso en más de cuatro etapas.

III.4.4.7 Recirculación del afluente

La recirculación del afluente mejora la eficiencia de eliminación de contaminantes en un biodisco. El principal efecto de la recirculación es la reducción de la carga orgánica en la primera etapa. Sin embargo para sobrecargar hidráulicamente el biodisco, es necesario aumentar el área superficial, lo cual origina una reducción de la carga orgánica lo cual incrementará la eficiencia.

La recirculación es un recurso útil cuando se presentan condiciones de sobrecarga orgánica con gastos bajos (altas concentraciones en el efluente). En estos casos, como se muestra en la figura III.31 la recirculación ocasiona que la concentración de la DBO en el efluente sea menor. Sin embargo en la figura se puede ver que solo conviene recircular para cargas orgánicas mayores de 20 g DBO/d.m², además no es recomendable operar con cargas orgánicas altas, ya que se pueden presentar condiciones anaerobias en el reactor con la consiguiente disminución en la eficiencia del proceso.

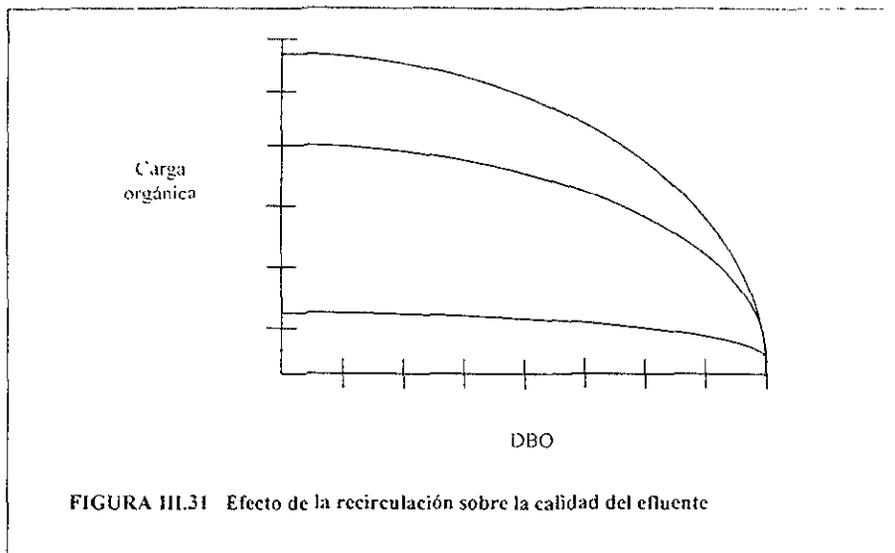


FIGURA III.31 Efecto de la recirculación sobre la calidad del efluente

Como se puede apreciar en la figura la recirculación no es necesaria para cargas orgánicas inferiores a 12.2 g DBO/d.m^2 , se pueden obtener efluentes con valores de DBO inferiores a 30 mg/l . por esto se recomienda que la carga orgánica no sea superior al valor antes mencionado.

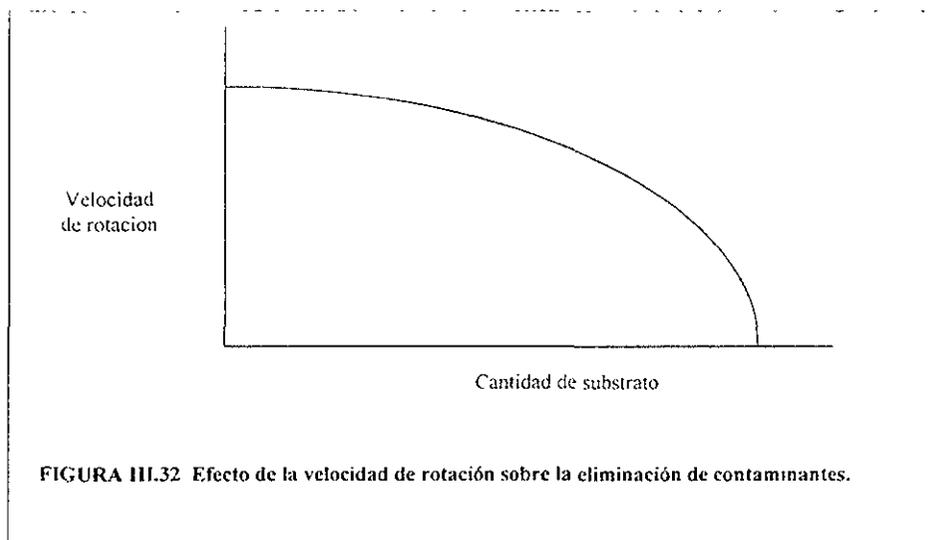
En conclusión se sugiere prescindir de la recirculación en un biodisco, lo cual minimiza apreciablemente los costos de construcción, operación y mantenimiento.

III.4.4.8 Oxigenación

Al igual que para todos los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, las condiciones anaerobias son uno de los principales problemas relacionados con la operación del biodisco.

Al presentarse anaerobiosis, se origina la degradación de los polímeros que dan consistencia a la película y, como consecuencia, se desprende la biomasa de la superficie del medio de soporte.

En un sistema de biodiscos, la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas de desecho está limitada generalmente por la rapidez de difusión de oxígeno hacia la película y dentro de ella, y no por la rapidez de difusión del sustrato. Se ha comprobado que la rapidez de utilización del sustrato aumenta con la velocidad de rotación, ya que las velocidades altas mejoran la transferencia de oxígeno (ver fig III.32.)



Existen dos alternativas para mejorar la transferencia de oxígeno en el biodisco; una es reemplazar el aire por oxígeno puro en un sistema cerrado y la otra es presurizar el sistema usando oxígeno puro o aire.

Es recomendable utilizar oxígeno puro cuando se presenten casos de aguas de desecho con alto contenido de contaminantes, es decir, con cargas orgánicas mayores de 24 DQO/d.m³, porque se evitan condiciones de anaerobiosis y se incrementa notablemente la eficiencia del proceso, sin embargo, hay que comparar las ventajas anteriores con el costo que representa la utilización de oxígeno puro.

III.4.4.9 Carga orgánica

El concepto de carga orgánica involucra el gasto, la concentración de contaminantes y el área superficial. De manera cuantitativa, la carga orgánica se define como:

$$Co = (Q \cdot So) / A$$

Donde

Co = Carga orgánica (M/TL²)

Q = Gasto (L³/T)

So = Concentración de substrato (M/L³)

A = Área superficial (L²)

Se ha demostrado que cuando existe sobrecarga orgánica, el biodisco tiene problemas de operación, por una parte, la concentración de oxígeno disuelto en la primera etapa alcanza niveles tan bajos que se presentan indudablemente condiciones anaerobias, por otra parte, el sistema muestra un crecimiento excesivo de bacterias que causan taponamiento del medio de soporte. Como consecuencia, se reduce la eficiencia del tratamiento. La carga orgánica superficial no solo determina el gradiente que provoca la difusión de substrato en la biopelícula, sino también el tiempo de reacción.

Una de las ventajas de la carga orgánica es su capacidad para predecir la eliminación y eficiencia del tratamiento bajo cualquier condición de carga, independientemente de que la cinética sea de *cero, primero o segundo orden*. La cantidad de materia orgánica eliminada por el sistema es proporcional a la carga orgánica, sin tomar en cuenta si las cargas están originadas por alta concentración de materia orgánica y caudal bajo o bien por caudal alto y baja concentración

La carga orgánica es un factor que tiene gran influencia sobre los procesos de nitrificación. En la Figura III.33 se muestran varios perfiles típicos de la concentración de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) a través de las etapas sucesivas del proceso, con diferentes cargas orgánicas en la primera etapa. Como puede apreciarse, la nitrificación comienza en distintas etapas para cada carga orgánica y no se lleva a cabo cuando está carga es muy grande. En general, los resultados experimentales sugieren que la tasa de nitrificación disminuye al aumentar la carga orgánica. Las primeras etapas son los más afectados pues, al recibir cargas orgánicas altas, la población microbiana queda constituida prácticamente por organismos heterótrofos y la nitrificación es nula. Incluso puede ocurrir un aumento de la concentración de amoníaco en las primeras etapas, como resultado del metabolismo heterótrofo.

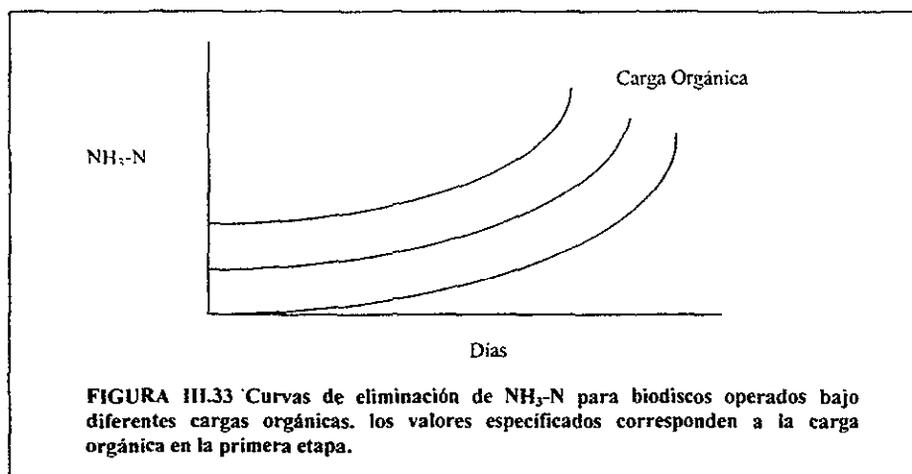


FIGURA III.33 Curvas de eliminación de $\text{NH}_3\text{-N}$ para biodiscos operados bajo diferentes cargas orgánicas. los valores especificados corresponden a la carga orgánica en la primera etapa.

III.4.5 Ventajas y desventajas

A continuación se describen en forma breve las ventajas e inconvenientes del proceso de biodiscos, con base en las conclusiones de estudios comparativos.

Ventajas

- Las principales ventajas del proceso de biodiscos sobre otros tratamientos biológicos de aguas de desecho son el bajo consumo de energía y la simplicidad de operación y mantenimiento.
- Otra ventaja del sistema es que se pueden diseñar fácilmente unidades para aumentar su capacidad en el futuro.
- El proceso no necesita recircular lodos desde el sedimentador secundario, con lo cual se ahorran las bombas de recirculación y la tubería correspondiente. Además el control del proceso es muy simple ya que no es necesario controlar la recirculación de lodos, como en el sistema de lodos activados.

- El biodisco no es afectado negativamente por sobrecargas hidráulicas, ya que tiene una población de microorganismos adherida. Antonie informa que una sobrecarga hidráulica con duración de tres minutos no causa un desprendimiento significativo de la biomasa; sin embargo un impacto de la misma magnitud en el sistema de lodos activados puede, afectar a la población de microorganismos suspendida.
- Cook y Wu opinan que el biodisco puede recobrar rápidamente su estabilidad en los casos donde la carga hidráulica y/u orgánica aumente y/o disminuya en forma súbita o varíe de manera intermitente. En su trabajo, estos autores presentan un caso en donde el biodisco recupera en 48 horas las condiciones de operación estables, después de haber sido sometido a un periodo de ayuno durante tres días. Esta es una característica muy importante del proceso, sobre todo cuando se tratan aguas de desecho de una industria o de alguna zona de recreación.
- En gran número de casos, se informa que el tiempo de retención hidráulica en un biodisco es menor de sesenta minutos, mientras que resulta de más de seis horas para el proceso de lodos activados; por lo tanto utilizando un menor volumen el biodisco puede tratar un caudal mayor en un tiempo equivalente.
- La concentración de sólidos en el efluente de un biodisco es menor que la DBO o igual que esta; esto significa que para aguas de desecho de tipo doméstico, dicha concentración es igual a 30 mg SST/l o menor. Aunque en algunos casos la concentración de sólidos alcanza valores de 200 mg/l, resulta mucho menor que los 3000 mg SST/l del efluente de un tanque de aireación de un sistema de lodos activados. Lo anterior implica que el tamaño del sedimentador secundario debe ser más pequeño para el proceso de biodiscos, ya que la carga de sólidos es menor. Además, la biomasa desprendida de los discos se presenta en forma de agregados grandes y densos, los cuales sedimentan fácilmente.
- Comparando con otros procesos de película fija, es posible afirmar que el biodisco retiene una película biológica que se utiliza efectivamente en toda el área de contacto. Este proceso no es susceptible de taponamiento por desarrollo excesivo de la película como puede suceder en filtros percoladores. Además, no es necesario lavar el biodisco para eliminar el exceso de biomasa, ya que no hay acumulación.
- En el caso de plantas pequeñas, en el biodisco se puede utilizar con éxito el clarificador subyacente o subterráneo, el cual ofrece ventajas pues reduce costos de construcción, requerimientos de área de terreno y pérdidas de carga hidráulica.
- El proceso de biodiscos carece de los problemas de aerosol y ruido que se presentan en todos los sistemas de lodos activados. Cuando se tratan aguas de desecho con agentes tensoactivos, se produce el problema de la espuma, el cual es más severo en el sistema de lodos activados (sobre todo en el aireado mecánicamente) que en el de biodiscos.

Desventajas

- La principal desventaja de los biodiscos con hojas corrugadas de polietileno es su difícil fabricación. Por otra parte el diseño mecánico del sistema debe ser riguroso, pues se han registrado varios casos de rompimiento y desanclaje de la flecha que soporta los discos. Además, para efectuar la instalación, generalmente se requieren grandes grúas y personal especializado.
- Como el proceso involucra tres fases- líquida, sólida y gaseosa, no se ha podido desarrollar un modelo matemático que lo represente satisfactoriamente. Los modelos simples resultan insuficientes y los complicados involucran tantas variables que es necesario invertir tiempo y capital en su calibración.
- Otro inconveniente es que sus costos se comportan de una manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede en otros sistemas convencionales. Cuando el caudal por tratar es mayor de 200 a 250 l/s, los costos de los sistemas tradicionales son menores que los correspondientes a un comportamiento de crecimiento lineal.

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Actualmente se han desarrollado una multitud de tecnologías encaminadas al tratamiento de aguas residuales, debido a la importancia de este líquido vital para la humanidad. En México, existen grandes problemas al no contar con un agua de calidad adecuada, además la mayoría de las aguas contienen microorganismos capaces de provocar enfermedades gastrointestinales en la población.

➤ Los procesos de tratamiento de agua tiene como objetivos:

- 1) Eliminar del agua las sustancias físicas, químicas y biológicas, que alteran sus propiedades, calidad y usos.
- 2) Obtener agua de buena calidad.

Para lograr que estos objetivos se cumplan se debe establecer un tren de tratamiento adecuado, tomando en consideración las características físicas, químicas y biológicas del agua a tratar, así como el uso final al cual se va a destinar el agua tratada, el cual determinará la calidad y características del efluente, así como el número de etapas del tren de tratamiento..

Los procesos biológicos constituyen una buena alternativa, que permite obtener un alto porcentaje de remoción de los materiales indeseables presentes en el agua, en estos procesos los microorganismos juegan un papel muy importante como degradadores de la materia orgánica.

- Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos de película fija y de película suspendida. En el primer caso se forma una película de cierto espesor en la cual existe una rica variedad de microorganismos, trabajan en conjunto degradando la materia orgánica. Como procesos de película fija se pueden mencionar a los filtros percoladores y biodiscos. Los procesos de película suspendida consisten en poner en contacto el agua residual con los microorganismos sin que estos estén adheridos a un material determinado, como ejemplos se pueden mencionar los lodos activados y lagunas de estabilización.
- En estos procesos biológicos las interacciones microbianas juegan un papel muy importante, ya que durante los proceso de degradación de la materia orgánica ciertos microorganismos degradan los contaminantes a otras sustancias, que a su vez sirven de alimento a otros microorganismos hasta ser finalmente degradados a dióxido de carbono, agua y energía que a su vez es utilizada por los microorganismos para realizar sus funciones vitales.
- La selección del proceso biológico a utilizar dependerá de varios factores como son

Características del agua a tratar

Uso final del agua a tratar

Área disponible para la instalación de la planta

Costos involucrados en el tratamiento

- Antes de la aplicación de cualquier proceso biológico es necesario que el agua residual pase por un proceso de sedimentación primaria que elimine los sólidos, ya que estos pueden afectar la operación del sistema.
- Dentro de los parámetros que se deben controlar para una operación adecuada de nuestros sistemas de tratamiento encontramos el pH, alcalinidad, carga orgánica, temperatura, toxicidad de los compuestos presentes en el agua residual, etc. el mal manejo de estos factores puede ocasionar la muerte de los microorganismos involucrados en el proceso, y disminuir considerablemente la eficiencia del proceso.
- Es muy importante que antes y durante la aplicación del tren de tratamiento se determinen los parámetros microbiológicos del agua, ya que estos nos permiten conocer el grado de contaminación de nuestro sistema.
- En la aplicación de procesos biológicos de tratamiento es muy importante que el operador de la planta sea muy cuidadoso de los cambios de color y olor del agua en los proceso de tratamiento, ya que estos cambios pueden deberse a una mala operación de nuestro sistema de tratamiento.
- En los sistemas de lodos activados es muy importante mantener constante la concentración biomasa, para obtener el mayor porcentaje de remoción posible, por lo que se debe tener mucho cuidado en la cantidad de lodos a recircular.
- Es muy importante conocer las características de los principales microorganismos presentes en las aguas residuales, así como las posibles interacciones entre ellos.
- Los efluentes procedentes de lagunas de estabilización, presentan una alta calidad bacteriológica lo cual permite el reuso de dicha agua en actividades agropecuarias, acuicultura, etc.

- Es muy importante eliminar las sustancias tóxicas que pueden inhibir o reducir la eficiencia de los procesos biológicos
- En los procesos de película fija la biodiversidad está en función de las condiciones de operación del sistema, especialmente de la carga y de la composición de nutrientes de las aguas residuales
- La presencia de gusanos, caracoles y larvas es útil para evitar la acumulación de lama sobre el empaque
- En los procesos de película fija es muy importante esperar el tiempo necesario para la formación de la película.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Apuntes del curso intensivo No. 8 (1966) "Lagunas de estabilización" Apuntes del curso intensivo, Centro de Ingeniería Sanitaria, UNAM, pp. 38, México
- 2 Babbitt, Harold; Baumann, Robert, Alcantarillado y Tratamiento de aguas negras Editorial Continental, Octava Reimpresión, México D.F., febrero 1993
- 3 Brower, C. J. (1991) "Options for the rational design and operation of oxidation ponds" Water Science Technology, Vol. 24, No. 5, pp. 21-32, Gran Bretaña.
- 4 Campbell, R. "Ecología Microbiana", Limusa, 1a edición, 1987
- 5 CNA e IMTA (1994) "Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento" Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.
- 6 Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica, Urbana e Industrial; Gerencia de Normas Técnicas, Sistemas alternativos de Tratamiento de Aguas residuales, México D.F., 1994.
7. Communications Scientifiques, (1982). "L'épuration par Lagunage". Technologie, Fonctionnement, Valorisation, Montpellier 2-3-4. Communications Scientifiques, pp. 94 Francia.
8. Delaunoy M. (1982) "Étude des conditions d'une optimisation de la production de biomasse et de sa valorisation sur une installation de lagunage" Société Lyonnaise des Eaux et de l'Éclairage, Laboratoire Central, Le Pecq, pp. 55, Francia
9. Eckenfelder Jr. (1989) "Industrial water Pollution Control", Capítulo 7 Biological wastewater-treatment processes. Mc Graw Hill, 2ª Edition, pp. 189-210, Estados Unidos de América.
10. Fair, Gordon; Geyer, John; OKUN, Daniel. Purificación de aguas, Tratamiento y remoción de Aguas residuales, Editorial LIMUSA, 1992.
11. González Martínez, S.; Elías Castro, G. (1989) "Diseño de Biodiscos" Cuaderno técnico número 520 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México
12. Hammer, Mark J.; Hammer Mark J. Jr. Water and Wastewater Technology, Prentice Hall International Inc. Tercera Edición, U.S.A., 1996.

BIBLIOGRAFIA

13. Hawkes, H. A. (1963) "The Ecology of Wastewater Treatment, Pergamon, London
14. Hawkes, H. A. (1971) "Microbial Aspects of Pollution", Academic, London.
15. Harris, J. y Hansford, R. (1976) "The Ecology of the Wasterwater", EUA
16. Heukelekian, H. H. E. Orford, and R. Manganeli, "Factors Affecting the Quality Improvement, University of Texas Press, Austin, 1968
17. IMTA, CNA y TACSA, (1994) Curso "Manual de operación y mantenimiento de sistemas lagunares" Centro de Capacitación IMTA, Jiutepec, Morelos, México.
18. Jiménez B., Sotomayor C. y Arévila A. (1995) "Análisis de la propuesta de Norma Oficial Mexicana en materia de protección ambiental para las descargas de aguas residuales. Elaborado por la Comisión Nacional del Agua Proyecto 5370, pp. 84.
19. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (y disposiciones generales), Colección Porrúa S.A., Novena Edición, México D.F., 1994.
20. McKinney, R.E: (1962), "Microbiology for Sanitary Engineers, McGraw-Hill
21. Mehta, D.S., H.H: Davis, and R.P.Kingsburg (1972) "Oxygen Theory in Biological Treatment Plant Desing, J. Sanit. Eng. Div., ASCE, vol.98, No.SA3,
22. Miguel, M. (1998) "Procesos de depuración de aguas residuales y potables", UNAM. Facultad de Ingeniería
23. Metcalf, C. and Eddy, R. (1991) *Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales*, Editorial Labor, Barcelona.
24. Metcalf, C. and Eddy, R. (1996) *Tratamiento, Vertido y Reutilización Tomo I*, Editorial McGraw Hill, México D.F.
25. Middlebrooks E.J. (1995). "Upgrading pond effluents: An overview" *Water Science and Technology*, Vol. 31, No. 12, pp. 353-368. Gran Bretaña
26. Middlebrooks E.J. y Crites R. (1988) "Natural systems for waster management and treatment", *Chapter four, Mc. Graw-Hill Copp. Estados Unidos de América.*
27. Noyola, A.. (1994) "Tratamiento biológico", Instituto de Ingeniería, México, D.F.
28. Oswald, W. (1991) "Introduction to advanced integrated wastewater ponding systems", *Water Science and Technology*, Vol 24, No. 5, pp. 1'7. Gran Bretaña.
29. Oswald W. (1995) "Ponds in the twenty-first century" *Water Science and Technology*, Vol. 31, No. 12, pp. 1-8. Gran Bretaña.

30. Ouano, E. (1981) "Principles of wastewater treatment" Vol 1 Biological processes. Chapter V Lagoons National Science, pp. 148-200 Estados Unidos de América.
31. Parker, S. y Corbitt, R. (1992) "Environmental Science & Engineering" McGraw-Hill, Inc. pp. 721. Estados Unidos de América.
32. Pasveer 1992, "Microbial Ecology", Estados Unidos de América.
33. PROGRAMA DE CAPACITACION DE OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO. Tomos 1,2,3,4,5 y 6. SEDUE, 1985
34. Purschel, W. "Tratado General del Agua y su Distribución"; Tomo 6: Tratamiento de aguas Residuales Domésticas: Técnicas de depuración. Urmo S.A., de Ediciones Espartero, España 1976.
35. Recault, Y. (1993) "Pond malfunction: case study of three plants in the south-west of France", Water Science and Technology, Vol 28, No. 10, pp. 183-192. Gran Bretaña.
36. Racault, Y et al (1993) "Pond malfunction: case study of three plants in the south-west of France", Water Science and Technology, Vol. 23, pp. 1525-1534. Gran Bretaña.
37. Ramalho, R.S., Tratamiento de Aguas Residuales, Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1991.
38. Ramos Hernández J., (1997)
39. Rolim Mendonca, S. (1990) "Lagoas de estabilizacao e aeradas mecanicamente: novos conceitos". Joao Pessoa, pp. 388. Paraíba, Brasil.
40. Steel, E. y McGhee, T. "Abastecimiento de Agua y Alcantarillado", Editorial Gustavo Gil S.A., Quinta Edición, Barcelona, 1981.
41. Thirumurthi D. (1991) "Biodegradation in waste stabilization pond (facultative lagoons)" Martin, A.M.C Biological Degradation of Wastes. Elsevier applied science, pp. 231-246. Gran Bretaña.
42. Tomlinson, F. y Snaddon, R. (1966), "Biological Degradation of Wastes", Mc. Graw Hill, EUA.
43. Winkler, M.A. y Cox, E.J (1980) " Stalked bacteria in activated sludge, Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol, 9,235-242.