

TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

- **Victimas de cólera y otras enfermedades.**
- **Conocimiento rol de M.O. en enfermedades**
- **Se comenzó construcción de plantas de tratamiento (siglo xx)**
- **USA 15.000 plantas**
- **80% pequeñas → 37 billones galones**
- **75% tiene tratamiento microbiológico.**

TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

- 1) Desechos domésticos
- 2) Desechos industriales (DI)

D.I: Desechos no tóxicos (Industria de alimentos)

D.I. Desechos tóxicos:

Ej.: Procesamiento de carbón, fenoles, amonio,
cianuro

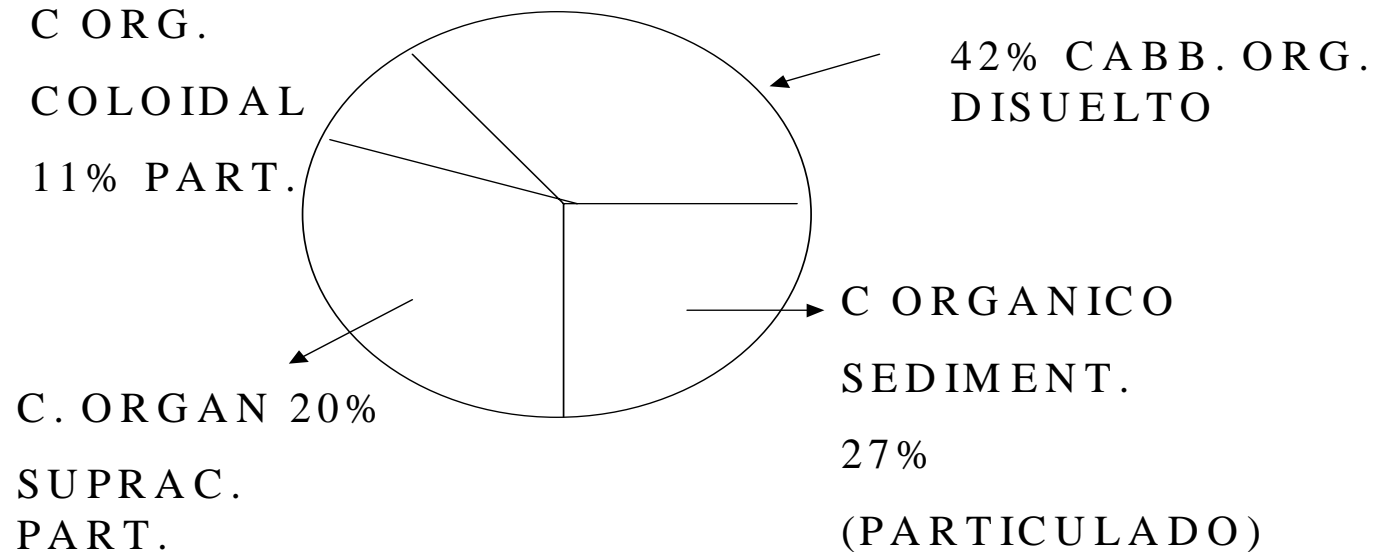
Petroquímica, Ind. Farmacéutica

Metales tóxicos: Cd, Zn, Cu, Ni

TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

- Contaminantes:
- orgánicos biodegradables
 - orgánicos volátiles
 - orgánicos recalcitrantes
 - nutrientes (N y P)
 - sólidos suspendidos
 - patógenos microbianos
- parásitos

DISTRIBUCIÓN DEL C ORGÁNICO EN AGUAS SERVIDAS



OBJETIVOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

- Reducir el contenido orgánico (DBO_5)
- Remoción de nutrientes
- Remoción o inactivación de M.O. y parásitos patógenos
- Todo el carbono orgánico particulado (60%) se puede separar por sedimentación.

OBJETIVOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

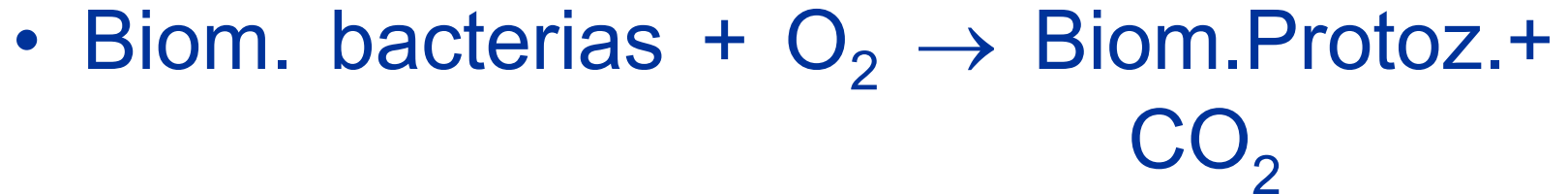
- Todo el carbono orgánico particulado (60%) se puede separar por sedimentación
 - Tres test se utilizan para determinación de carbono orgánico en aguas servidas:
 - DBO_5 , C O T , y DQO o C O D
- Trazas de orgánicos se determinan por cromatografía y espectrografía de masa

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO₅

- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por M.O. para oxidación bioquímica de orgánicos.
- DBO₅ carbónica
- Cantidad de oxígeno utilizada por una población heterotrófica de M.O. que oxidan compuestos orgánicos en la oscuridad a 20°C por 5 días.
- heterótrofos
- $$\text{Comp. Org.} + \text{O}_2 \xrightarrow{\quad\quad\quad} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4 + \text{biomasa}$$

REMOCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO

protozoos

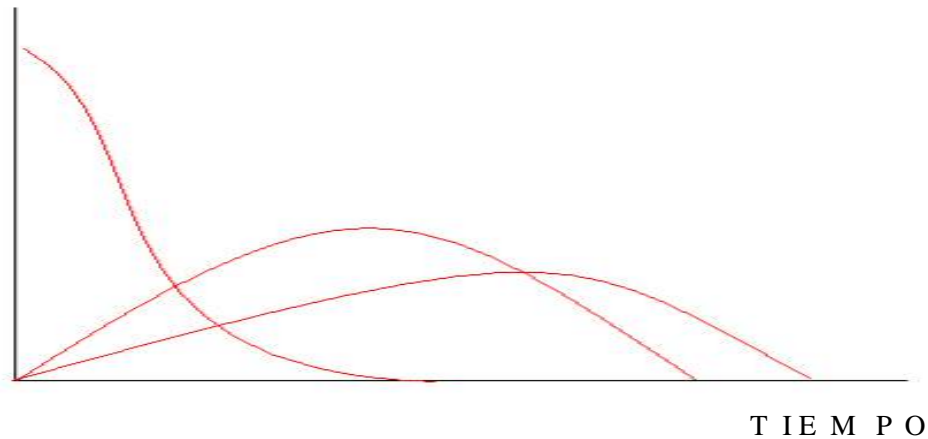


- Conversión :

0.78mg protoz/1mg bacterias

REMOCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO

PARAM
INDIC.



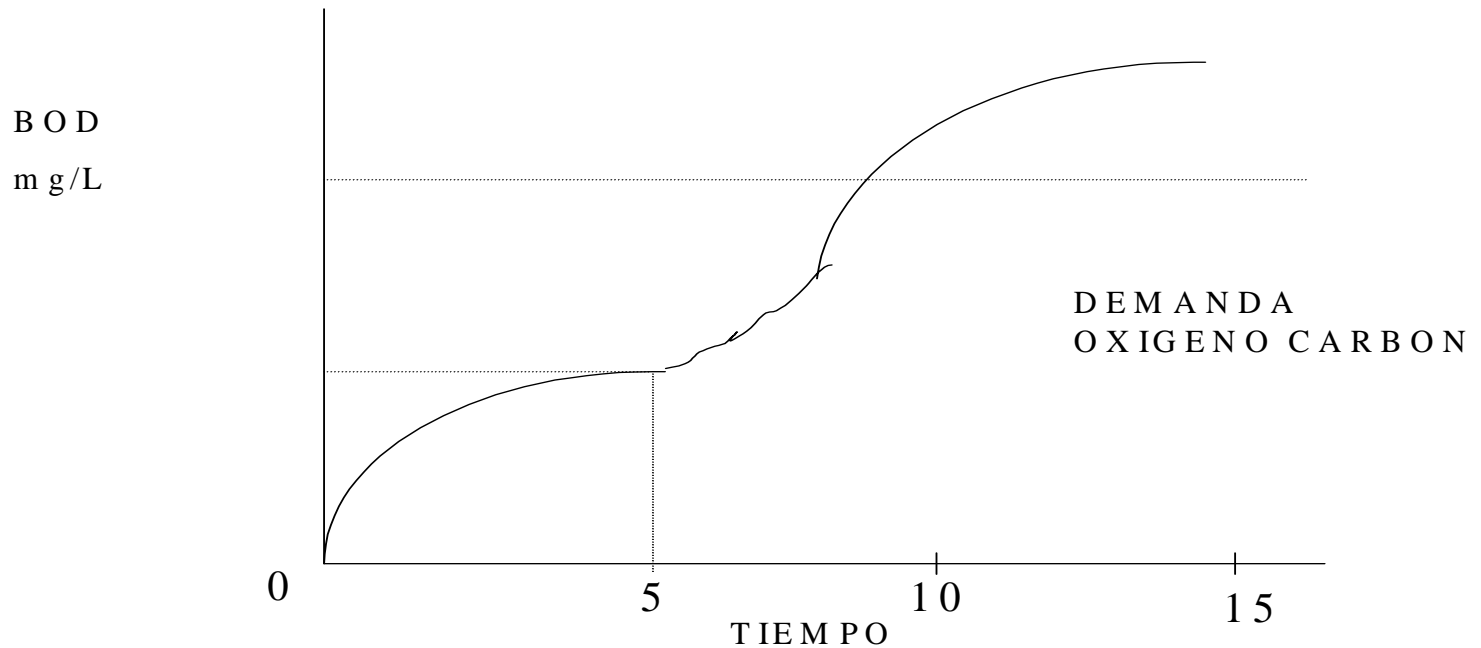
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO₅

- 300 ml + Buffer pH 7.2 + Nut. inorgánicos y saturados con oxígeno
- Se puede agregar un cultivo de bacterias heterotróficas.
- Pseudomonas, Nocardia, Bacillus, Streptomices.
- Se puede agregar inhibidor de bacterias nitrificantes ya que consumen 10mg/l de oxígeno.
- (2 cloro 6 triclorometil piridina)

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO₅

- Se incuba por 5 días y se mide el oxígeno por análisis químico o mediante un aparato manométrico.
- Se hace también sobre diluciones de la muestra.
- $DBO_5 = D_1 - D_5 / P(0.3l) = \text{mg O/L}$
- DBO₅ debiera hacerse siempre con M.O. adaptados

CONSUMO DE OXIGENO POR HETERÓTROFOS Y AUTÓTROFOS



DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO₅

- Agua potable 0.75 a 1.5 mg/L
- Agua poco contaminada 5 a 50 "
- Agua potable negra municipal 100 a 400 "
- Residuos industriales 5 00 a 10 000 "

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO

- Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar todo el carbono presente a CO_2 , H_2O y NH_4^+
- Se mide químicamente
- 1 g de Hidrato de Carbono o Proteína \rightarrow 1 g COD
- si $\text{COD} \gg \text{BOD}$ significa que el agua contiene muchos compuestos no biodegradables.

CARBONO ORGÁNICO TOTAL

- C orgánico total, se determina por oxidación con calor + $O_2 \rightarrow CO_2$
- CO_2 se analiza por infrarrojo.
- En resumen se requiere varios métodos para determinar la calidad de las aguas servidas

COMPOSICIÓN DE HECES HUMANAS Y ORINA

• <u>Componente</u>	<u>Heces</u>	<u>Orina</u>
• Cantidad/p/d	100-400g	1-1.3 k
• Humedad	70-80%	93-96%
• N	5-7	15-19
• P (Fosfato)	3.0-5.4	2.5-5.9
• K	1.0-2.5	3.0-4.5
• C	44-55	11-17
• Ca	4.5	4.5-6.0
• DBO ₅ /p/d	15-20g	10g

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS

(mg/L)

• Parámetro	Alta	Media	Baja
• DBO5	400	220	110
• COD	1000	500	250
• N orgánico	35	15	8
• NH ₃ -N	50	25	12
• N total	85	40	20
• P total	15	8	4
• Sólidos tot.	1200	720	350
• Sólidos susp.	350	220	100

TIPOS DE ORGANISMOS DE SIGNIFICADO EN SALUD PUBLICA

- Bacterias: Salmonella, Shigella, Vibrio colerae.
- Virus : Hepatitis
- Protozoos : Giardia, Amebas
- Helmintos: Ascaris, Tenia

DOSIS INFECCIOSAS MÍNIMAS PARA ALGUNOS PATÓGENOS Y PARÁSITOS

- | Organismo | D.I.M. |
|-------------------|------------------------------------|
| Salmonella spp | $10^4 - 10^7$ |
| Shigella | $10^1 - 10^2$ |
| Escherichia coli | $10^6 - 10^8$ |
| Vibrio cholerae | 10^3 |
| Giardia lamblia | $10^1 - 10^2$ cyst |
| Entamoeba coli | 10^1 |
| Hepatitis a virus | 1 - 10 pfu |
| Virulencia: | Potencial para causar enfermedades |

EL AGUA ES ACEPTABLE PARA BEBER SI:

- Contiene menos de 10 bacterias intestinales en cada litro de agua;
- Si no presenta mal sabor, olor, color o turbiedad;
- Si no contiene impurezas químicas en concentraciones que puedan ser peligrosas para la salud del consumidor;
- Si no son corrosivas con respecto al sistema de conducción del agua, y
- Si no proviene de sistemas acuíferos sujetos a contaminación por aguas negras u otros contaminantes.

El efecto más perjudicial del agua contaminada ha sido la transmisión de enfermedades por microorganismos que pueden habitar en ella. Por ejemplo:

- La fiebre tifoidea causada por la bacteria *Salmonella typhi***
- El cólera causada por la bacteria *Vibrio cholerae***
- La disentería provocada por parásitos como las amebas *Entamoeba histolítica* y la bacteria *Shigella*,**
- La gastroenteritis causada por virus, bacterias y protozoarios,**
- La hepatitis infecciosa causada por el virus de la hepatitis y la poliomielitis causada por el virus de la poliomielitis**

Vibrio cholerae



Entamoeba histolítica



TIPOS DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS SERVIDAS

Tratamientos físicos o primarios : separación, sedimentación, filtración, flotación

Tratamientos biológicos o secundarios:
degradan la materia orgánica

Tratamientos químicos o terciarios:
desinfección, adsorción, precipitación

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

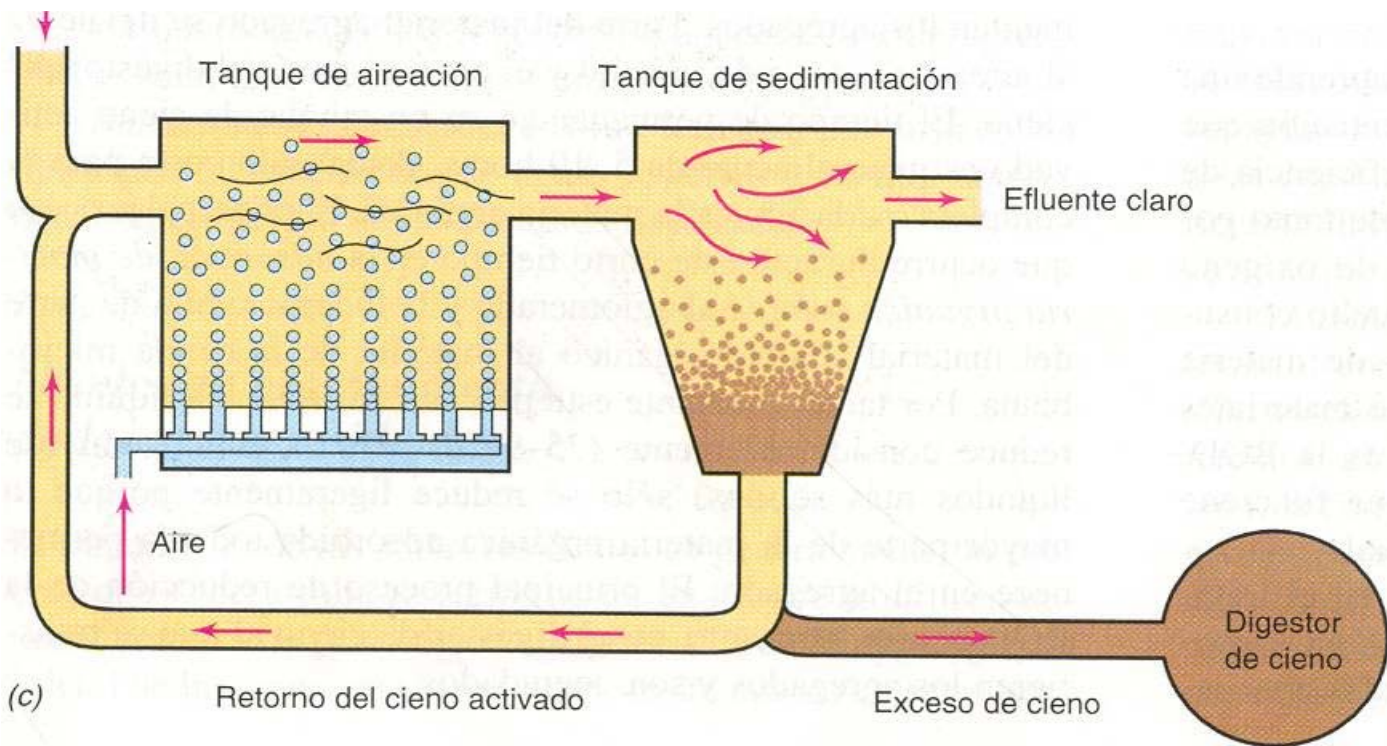
T. Secundarios:

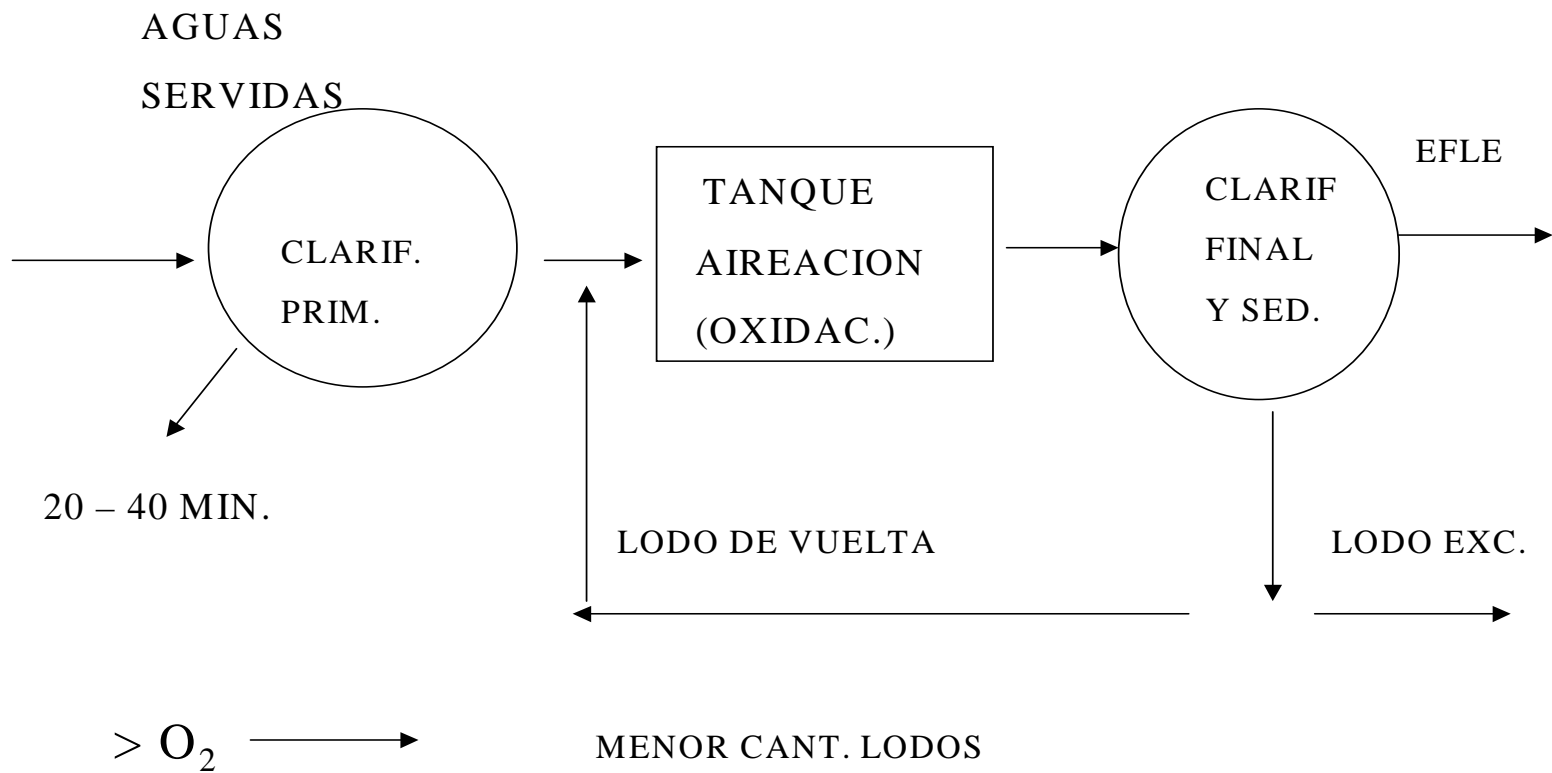
- **Lagunas de estabilidad**
- **Procesos de lodos activados**
- **Uso de filtros por goteo (lombrifiltros)**

- **T. terciarios: se utilizan para eliminar nutrientes, DBO, patógenos, parásitos y sustancias tóxicas**

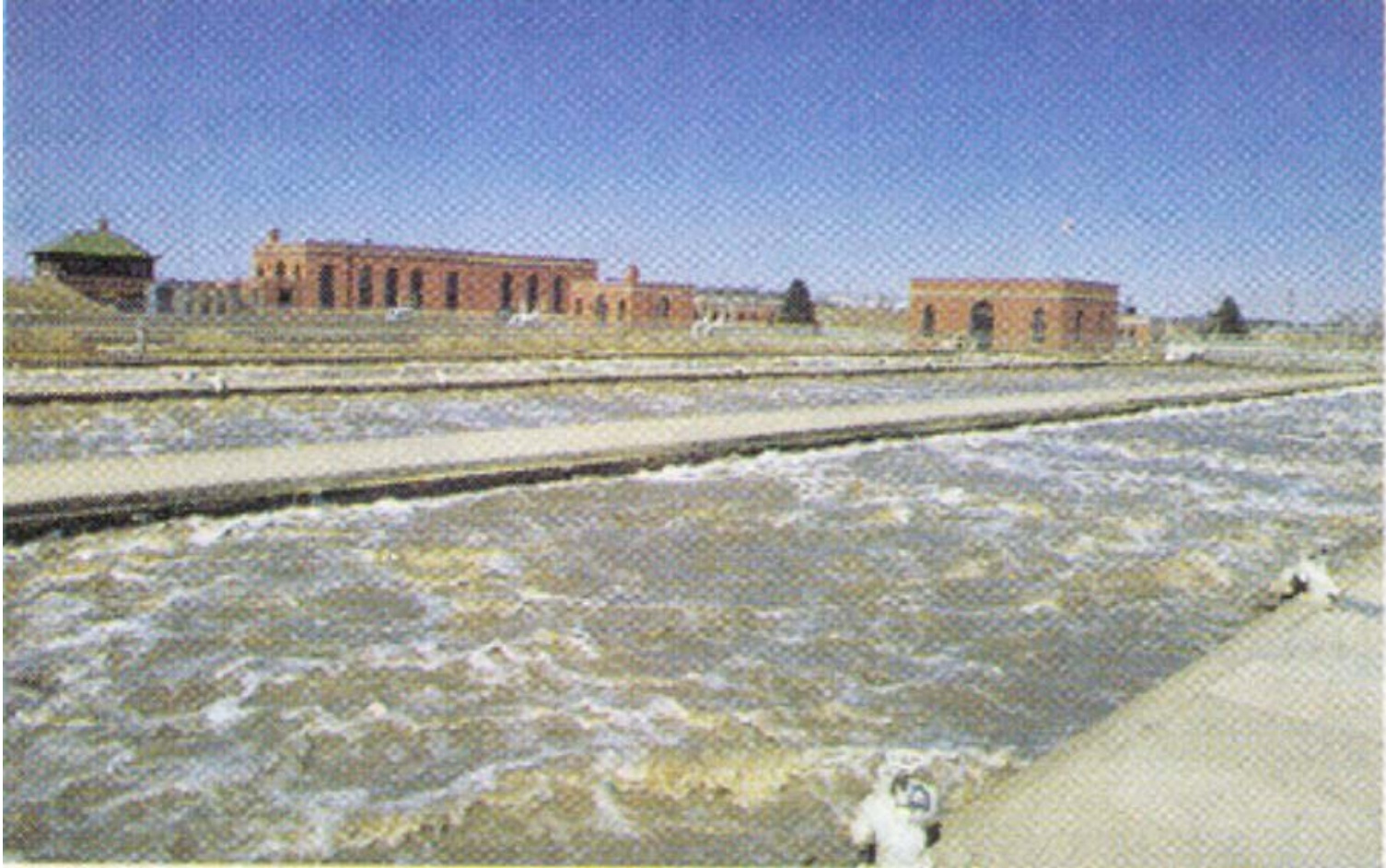
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

- Es un tratamiento aeróbico mediante el cual se oxida la materia orgánica a CO_2 , H_2O y NH_4^+
- Se introduce el aire mediante aireación mecánica.
- Las células forman flóculos que sedimentan en un tanque clarificador, una parte de estas se desechan, las otras regresan al tanque de aireación.





AIREACIÓN EN UNA PLANTA DE Lodos Activados



PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

- Edad del lodo: tiempo de residencia media de los M.O. en el sistema puede ser dias (5-15)
- $T = 1/\mu$
- Depende de la época del año
- Modificaciones a este sistema permiten una mayor oxidación de la materia orgánica

BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- Los mayores objetivos son:
- 1) Oxidación de la materia orgánica → biomasa
- 2) Floculación (separación de la biomasa)
- Lodos contienen tanto bacterias como materia orgánica e inorgánica.
- Partículas $< 1 \mu\text{m}$ -- $1.000 \mu\text{m}$
- Células viables → 5 – 20%
- (se piensa también → 1 – 3%)

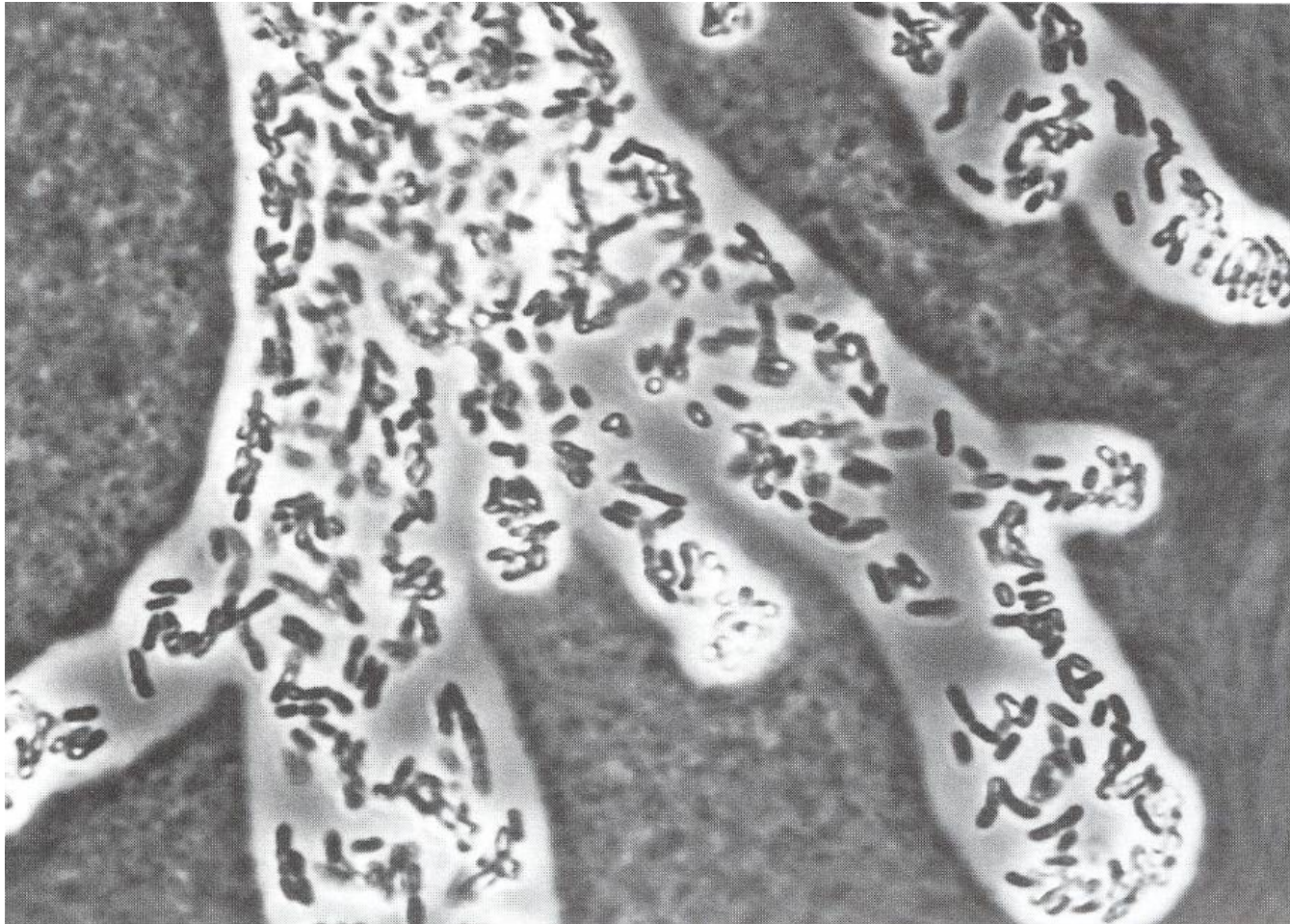
BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- Bacterias
- Constituyen la mayor parte de los flóculos, aproximadamente unas 300 cepas diferentes.
- Producen polisacáridos y materiales poliméricos.
- Géneros mas abundantes
- Zooglea, Pseudomonas, Flavobacterias, Alcaligenes, Achromobacter, Corynebacterias, Acinetobacter, etc.

BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- Muchos M.O. filamentosos.
- El nivel de aeróbicos decrece en la medida que el flóculo crece por problemas de difusión de oxígeno.
- Región interna del flóculo llega a ser anaeróbica.
- Aeróbicos totales 10^8 UFC / mg de lodo
- *Zooglea ramigera* produce exopolímeros, se encuentra en aguas servidas y en otros ambientes, 0.1-1% del total de M.O. en estos procesos.

Zooglea ramigera



BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- **Bacterias Nitrificantes**
- **Nitrobacter**



- **Nitrosomonas**



- **También se encuentran varias especies que oxidan compuestos reducidos de azufre.**

BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- Hongos
- Ocasionalmente en los lodos crecen a pH bajos, baja toxicidad y desechos deficientes en nitrógeno.
- Protozoos
Predadores en los lodos: ciliados, flagelados, amebas.

REMOCIÓN DE NUTRIENTES

- **Nitrógeno : por métodos químicos o por métodos biológicos.**
- **Por Nitrificación → Desnitrificación → N₂**
Procesos aeróbico y anaeróbico.
- **Usan varios tanques**
- **Fósforo: por métodos químicos o por métodos biológicos.**
- **Métodos químicos, precipitación con Fe o Al**

REMOCIÓN DE PATÓGENOS

- Aireación y sedimentación afectan a M.O. patógenos y parásitos.

Factores ambientales: luz, pH, M.O. antagónicos.

- Formación de flóculos
- Parásitos se aglomeran en el flóculo
- 80 – 99% de los M.O. indicadores son removidos. Bacterias son fagocitadas por protozoos y adsorbidas en el flóculo.

REMOCIÓN DE PATÓGENOS

- **Virus > 90% se asocia a sólidos, pueden también ser inactivados por bacterias y por ingestión por protozoos y nemátodos.**
- **Protozoos**
- **No son inactivados, pero floculan y sedimentan pasando a los lodos (concentrados)**

PROBLEMAS QUE PRESENTAN ESTAS PLANTAS

- **Relacionados con la separación de sólidos activados.**
- **Crecimiento disperso: los M.O. no forman flóculos, el efluente se ve turbio.**
- **Masa viscosa: mucho material extracelular, se reduce velocidad de decantación y compactación.**
- **Para la formación de un flóculo normal debe haber un balance entre bacterias floculantes y bacterias filamentosas para mantener la integridad del flóculo**

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN O LAGUNAS DE TRATAMIENTO

- **Se utilizan en grandes extensiones de terreno, de bajo precio y son el sistema mas antiguo y económico para tratar las aguas servidas.**
- **Lagunas facultativas**
- **Lagunas aeróbicas**
- **Lagunas muy aireadas**
- **Lagunas anaeróbicas**
- **Lagunas de maduración**

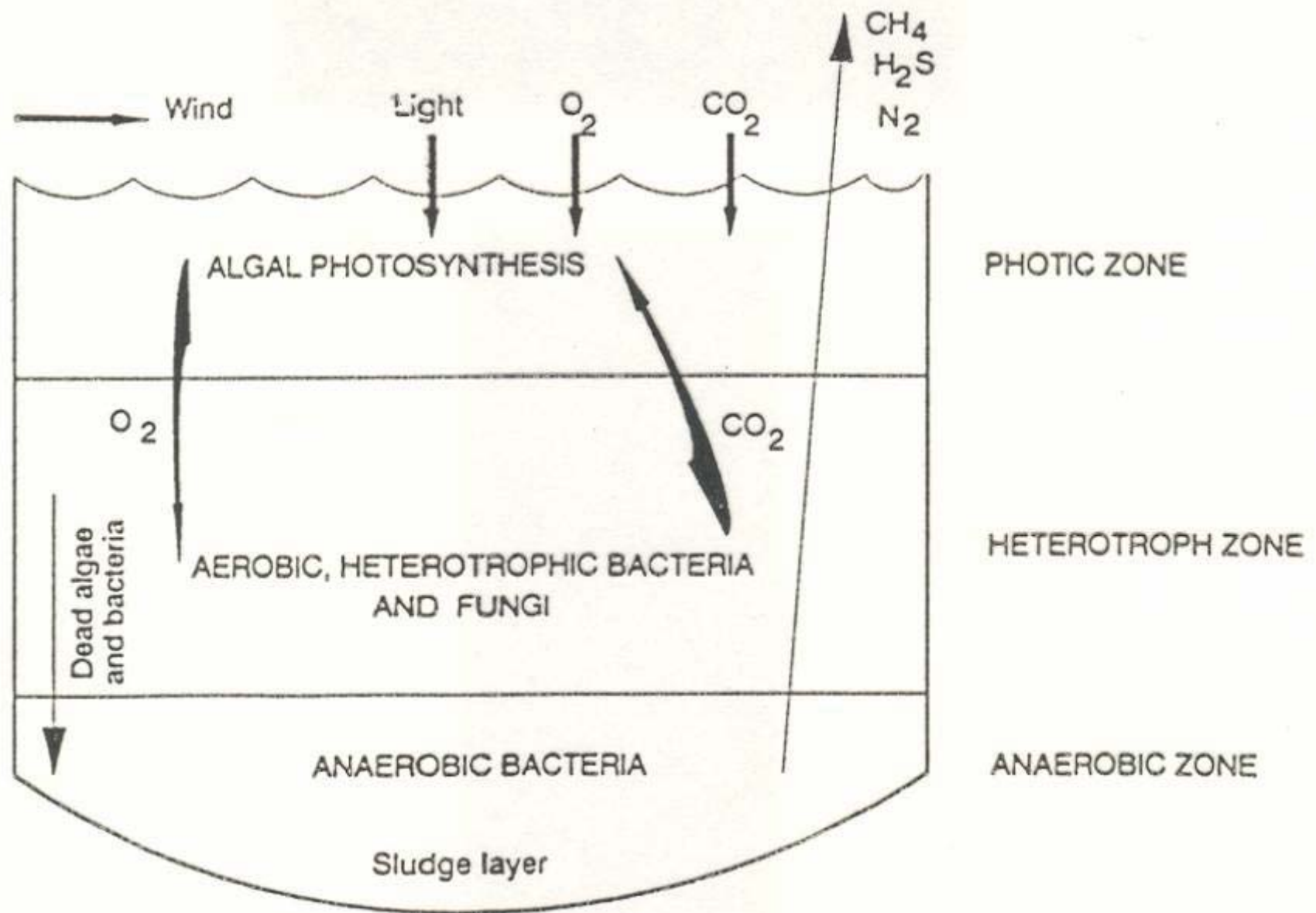


Fig. 11.1. Microbiology of facultative ponds. Adapted from Bitton (1980a).

LAGUNAS FACULTATIVAS

- Tienen una profundidad de 1-2.5 m
- Pueden ser aeróbicas y anaeróbicas
- El agua permanece entre 5-30 días
- Son económicas y fáciles de operar

ACTIVIDAD EN LA ZONA FOTICA

- Algas verdes y algas verde azules
- Productividad de 10-66 g de algas /m² /dia
- Clamydomonas
- Euglena
- Scenedesmus
- Oscillatoria
- Su prevalencia depende de la luz, T, nutrientes y gases

ACTIVIDAD EN LA ZONA FÓTICA

- Mezclado es importante para la manutención de las condiciones aeróbicas
- Algas consumen N y P
- pH aumenta con la fotosíntesis lo que ayuda a precipitación de fosfatos
- $\text{CO}_3^{=} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- pH: 9 pH:7 pH: 3
- M.O. que oxidan H_2S importantes
- Número de algas y bacterias fotosintéticas disminuye con el aumento de la carga.

ACTIVIDAD EN LA ZONA HETEROTRÓFICA

- La mas importante en la degradación de la materia orgánica
- Hongos y protozoos parecen menos importante
- $\text{Materia Orgánica} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{otros nutrientes que serían usados por algas}$
- Células de bacterias muertas y de algas se van al fondo, sufriendo degradación anaeróbica

ACTIVIDAD EN LA ZONA HETEROTRÓFICA

- Todo el Carbono presente en la materia orgánica se transforma en:
- CO_2 por oxidación completa aeróbica
- CH_4 por respiración anaeróbica
- Biomasa que sedimenta

ACTIVIDAD DEL ZOOPLANKTON

- Se nutre entre otros de bacterias y algas, controlando sus poblaciones.
- Aumentando o disminuyendo turbidez del agua

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA OPERACIÓN DE LAS LAGUNAS

- **Afecta en la fotosíntesis y a los heterótrofos aeróbicos y anaeróbicos.**
- **Por debajo de 15°C no se produce la reducción del Carbono y generación de CH₄**
- **Con frío no hay fotosíntesis y no se produce oxígeno, por lo tanto no se produce degradación aeróbica**

REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

- N(40-80%) → bacterias nitrificantes y desnitrificantes
- Se volatiliza NH_3
- P + Al o Fe → fosfatos insolubles (lento)

OTROS TIPOS DE LAGUNAS

Lagunas aeróbicas

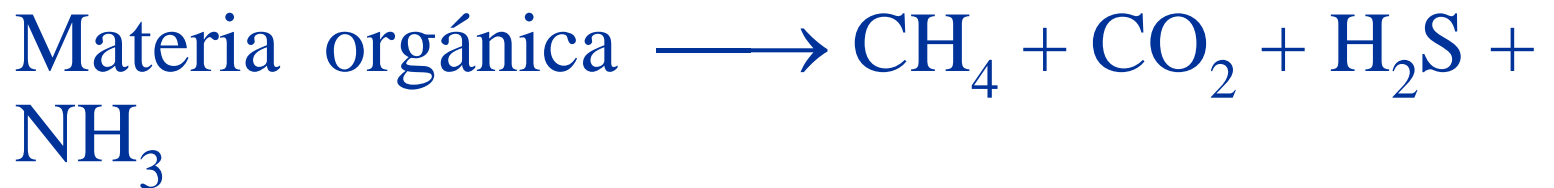
- Profundidad : 0.3 – 0.5 m
- Tiempo de residencia 3-5 días
- Las aguas son mezcladas para permitir penetración de la luz

OTROS TIPOS DE LAGUNAS

- **Lagunas aireadas**
- Profundidad : **2-6m**
- Tiempo de residencia 10 días
- Se utiliza para desechos domésticos
- Son aireadas con difusores
- Se puede disminuir en 85% la DBO_5 en 5 días

OTROS TIPOS DE LAGUNAS

- Lagunas anaeróbicas
- Profundidad : 2.5 - 9 m
- Tiempo de residencia: 20 – 50 días
- Para desechos orgánicos de alta DBO, conteniendo proteínas y grasas, sólidos.



- No requieren aireación y generan pocos lodos, se detiene a 10°C. De uso industrial.

OTROS TIPOS DE LAGUNAS

- Lagunas terciarias o de maduración
- Profundidad : 1-2 m
- Tiempo de residencia: 20 días
- Su rol es disminuir DBO, los sólidos suspendidos y nutrientes, e inactivar patógenos.

REMOCIÓN DE PATÓGENOS

- Serían responsables la temperatura, el pH, luz solar, acción lítica de bacteriófagos, predación, adherencia a sólidos decantables.
- Muerte de *E. coli* aumenta con la T, tiempo de retención, pH decrece con un aumento de la DBO_5 y con la profundidad de la laguna.
- Aireación, compuestos extracelulares de algas.

POSIBLES EXPLICACIONES PARA LA REMOCIÓN

- **Largo tiempo de retención usado en estas lagunas.**
- **Alto pH generado por la fotosíntesis y su relación con aguas tamponadas.**
- **Predación por zooplanton**
- **Efecto inactivante de la luz solar. UV(280-320 nm) destruye las bacterias coliformes. Importante en la superficie**
- **Altas concentraciones de oxígeno**

REMOCIÓN DE VIRUS O INACTIVACIÓN

- Temperatura y radiación solar
- En verano en 5 días el número disminuye 2 logaritmos, en invierno requiere 25 días.
- Virus se pueden absorber en sólidos y sedimentar, manteniéndose por mucho tiempo.
- Agitación del sedimento ayuda a resuspender virus y bacterias patógenas

PROTOZOOS

- Su remoción varia de 67 – 100% en lagunas aireadas
- Por esto los lodos contienen M.O. patógenos, protozoos y huevos de parásitos.
- Los lodos deben ser tratados
- Secados
- En digestores anaeróbicos
- Tratados químicamente
- Alrededor de 1/5 del lodo es mantenido como inóculo para un nuevo proceso.

DESTINO DE LOS LODOS

- Lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario son tratados por digestión anaeróbica la que descompone la materia orgánica a metano.
- El lodo no digerido (estabilizado) presenta problemas de disposición
- Ej. en EEUU a partir de 20.000 plantas de tratamiento de aguas servidas se generan 5-10 millones de ton. secas / año, estas son:
- quemados o enterrados, algo se seca y se aplica como fertilizante. (quedan algunos virus)?

FINAL DEL PROCESO

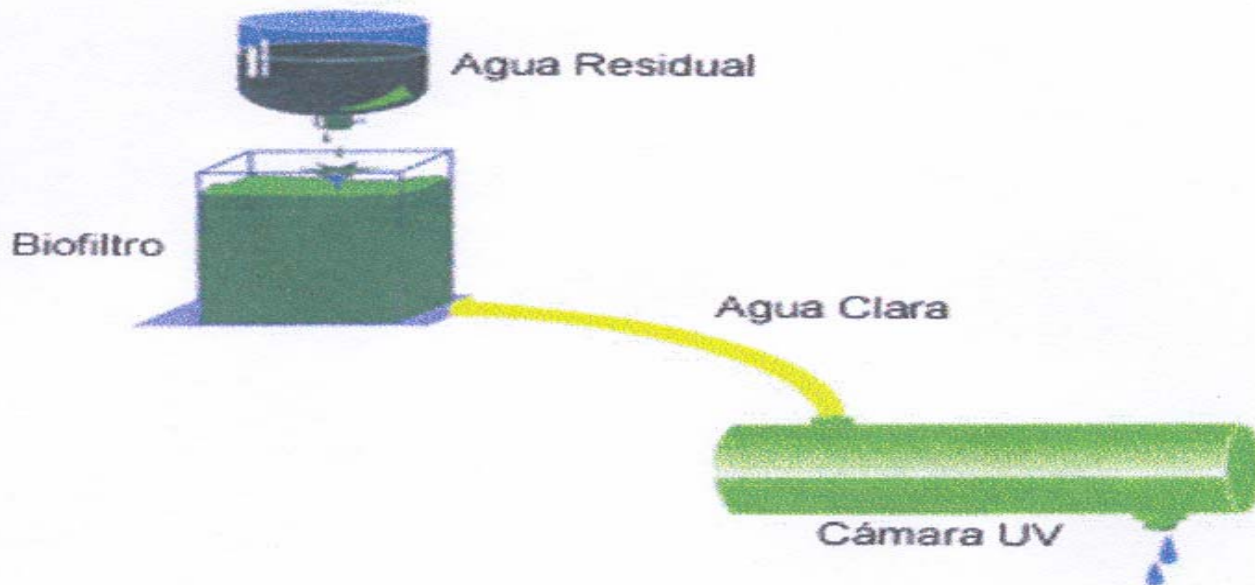
- M.O. patógenos disminuyen muy fuertemente al final del tratamiento secundario, son superados por los otros M.O. por selección natural.
- Los efluentes secundarios son usados por algunas comunidades para irrigar cosechas, ya que contienen grandes cantidades de fósforo y N, que se usan como fertilizantes y los M.O. ambientales digieren el resto de las soluciones orgánicas.
- Tratamiento terciario elimina completamente la DBO y son procesos físicos y químicos que producen agua limpia.

TRATAMIENTO DE AGUAS POR EL SISTEMA TOHA

- **El sistema consta de 2 etapas:**
- **En la primera, el agua residual escurre por gravedad a través de un biofiltro constituido por 4 capas de diversos materiales y que contiene micro y macroorganismos. Aquí se absorbe y procesa la materia orgánica.**
- **En la segunda etapa del tratamiento, el efluente es derivado a una cámara de irradiación ultravioleta en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas en menos de 1 minuto.**

SISTEMA CON BIOFILTROS

ESQUEMA DEL SISTEMA



SISTEMA TOHA

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:

- Es un tratamiento global del agua servida, no habiendo tratamientos primarios, secundarios ni terciarios.
- No hay formación de lodos, ya que la materia orgánica es consumida
- El tratamiento se hace en un soporte sólido, implica menos espacio
- El biofiltro no se satura, debido a la acción de micro y macroorganismos.

SISTEMA TOHA

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES:

- **Es ecológico porque no usa aditivos químicos no se producen residuos contaminantes, hay muy poco consumo de energía.**
- **Es eficiente porque se alcanza un alto grado de purificación con una remoción de hasta 96% de DBO y sólidos suspendidos.**
- **Se necesita poco espacio: el agua servida de 5 personas requiere solo 2m² de biofiltro para su tratamiento.**
- **Es económico porque los costos de construcción y mantenimiento son menores que en los sistemas tradicionales y el agua puede ser re-utilizada inmediatamente para regadío.**

EVOLUCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA POR TRATAMIENTO CON LUZ ULTRAVIOLETA

