

# 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

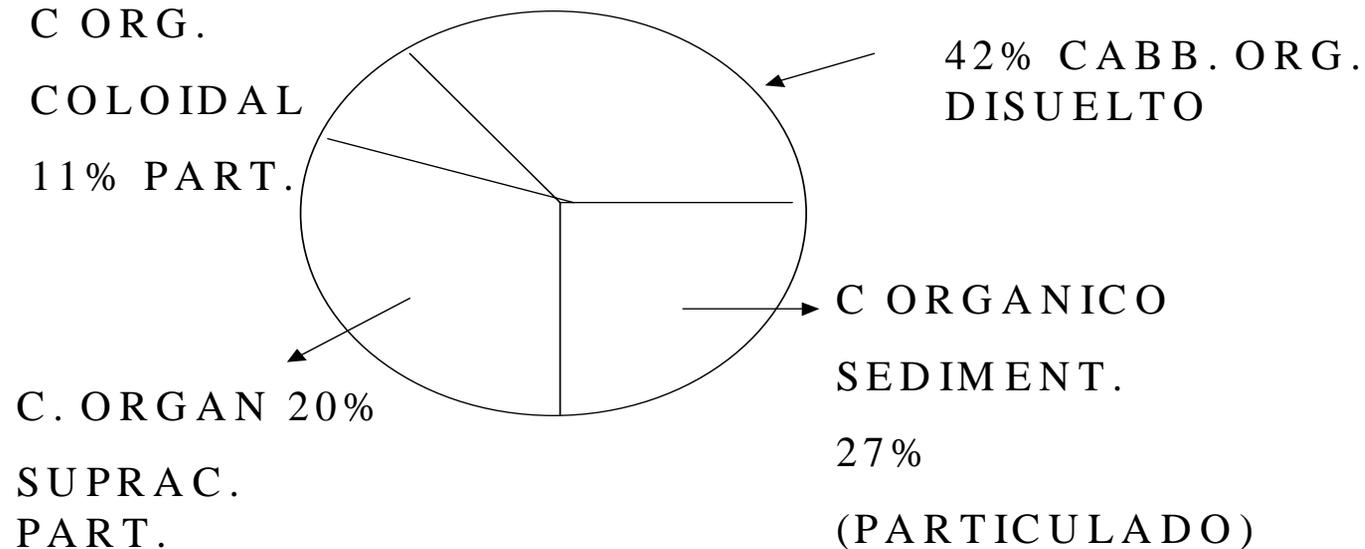
Petroquímica, Ind. Farmacéutica

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 ( $\text{DBO}_5$ )
- 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

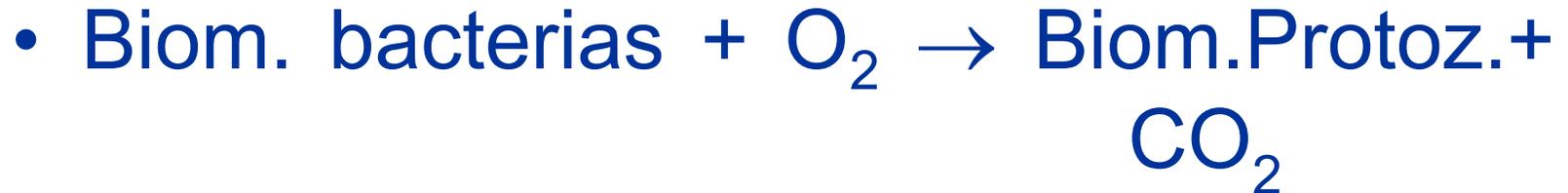
- Todo el carbono orgánico particulado (60%) se puede separar por sedimentación
  - Tres test se utilizan para determinación de carbono orgánico en aguas servidas:
  - $DBO_5$  , C O T , y DQO o C O D
- Trazas de orgánicos se determinan por cromatografía y espectrografía de masa

# DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO<sub>5</sub>

- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por M.O. para oxidación bioquímica de orgánicos.
- DBO<sub>5</sub> 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
- $$\text{Comp. Org.} + \text{O}_2 \xrightarrow{\hspace{10em}} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4 + \text{biomasa}$$

# REMOCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO

protozoos

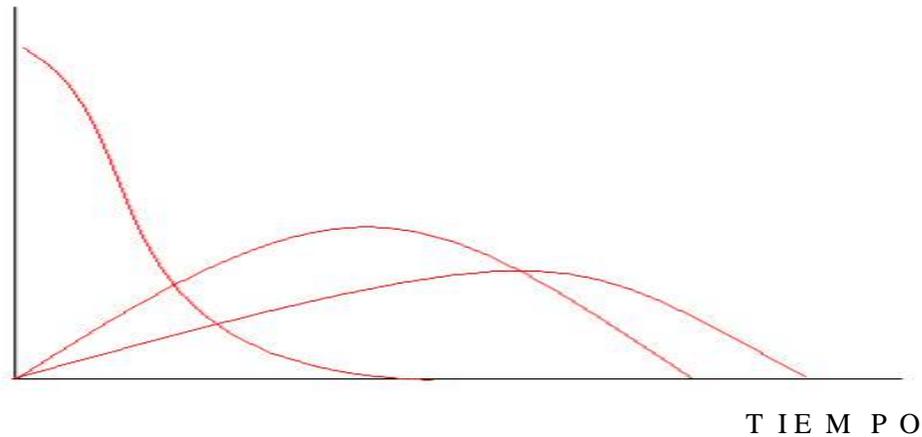


- Conversión :

0.78mg protoz/1mg bacterias

# REMOCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO

PARAM  
INDIC .



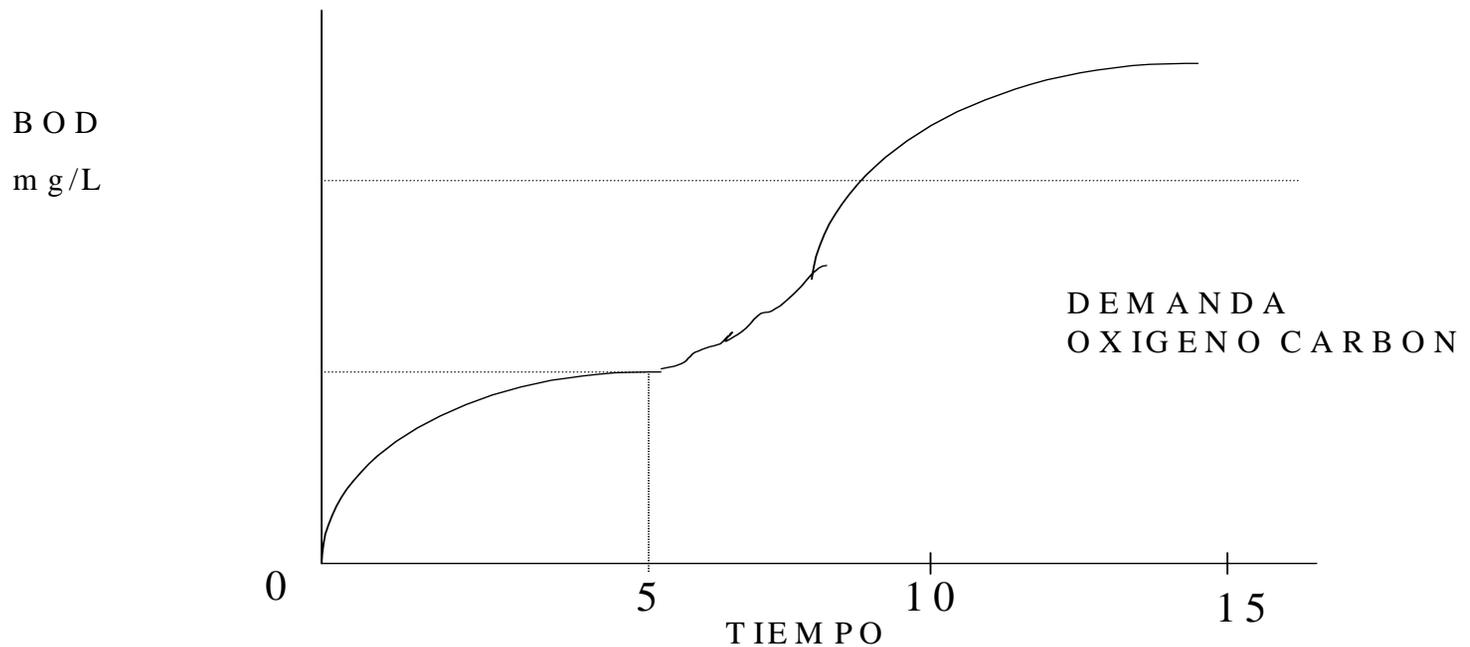
# DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO<sub>5</sub>

- 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 DBO<sub>5</sub>

- 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.
- $DBO_5 = D_1 - D_5 / P(0.31) = \text{mg O/L}$
- DBO<sub>5</sub> debiera hacerse siempre con M.O. adaptados

# CONSUMO DE OXIGENO POR HETERÓTROFOS Y AUTÓTROFOS



# DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO<sub>5</sub>

- 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_4^+$**
- **Se mide químicamente**
- **1 g de Hidrato de Carbono o Proteína  $\rightarrow$  1 g COD**
- **si COD  $\gg$  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 <sub>5</sub> /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 <sub>3</sub> -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.

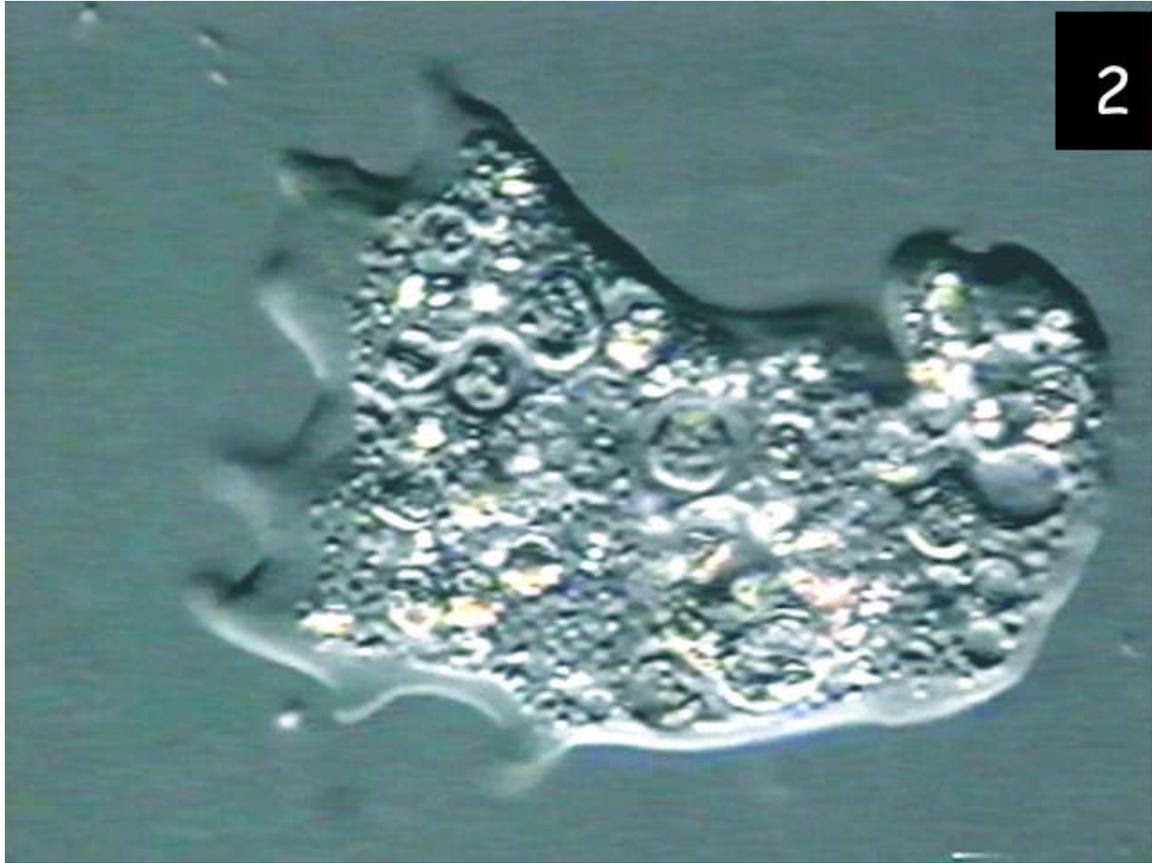
**El efecto más perjudicial del agua contaminada ha sido la transmisión de enfermedades por microorganismos que pueden habitar en ella. Por ejemplo:**

- 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

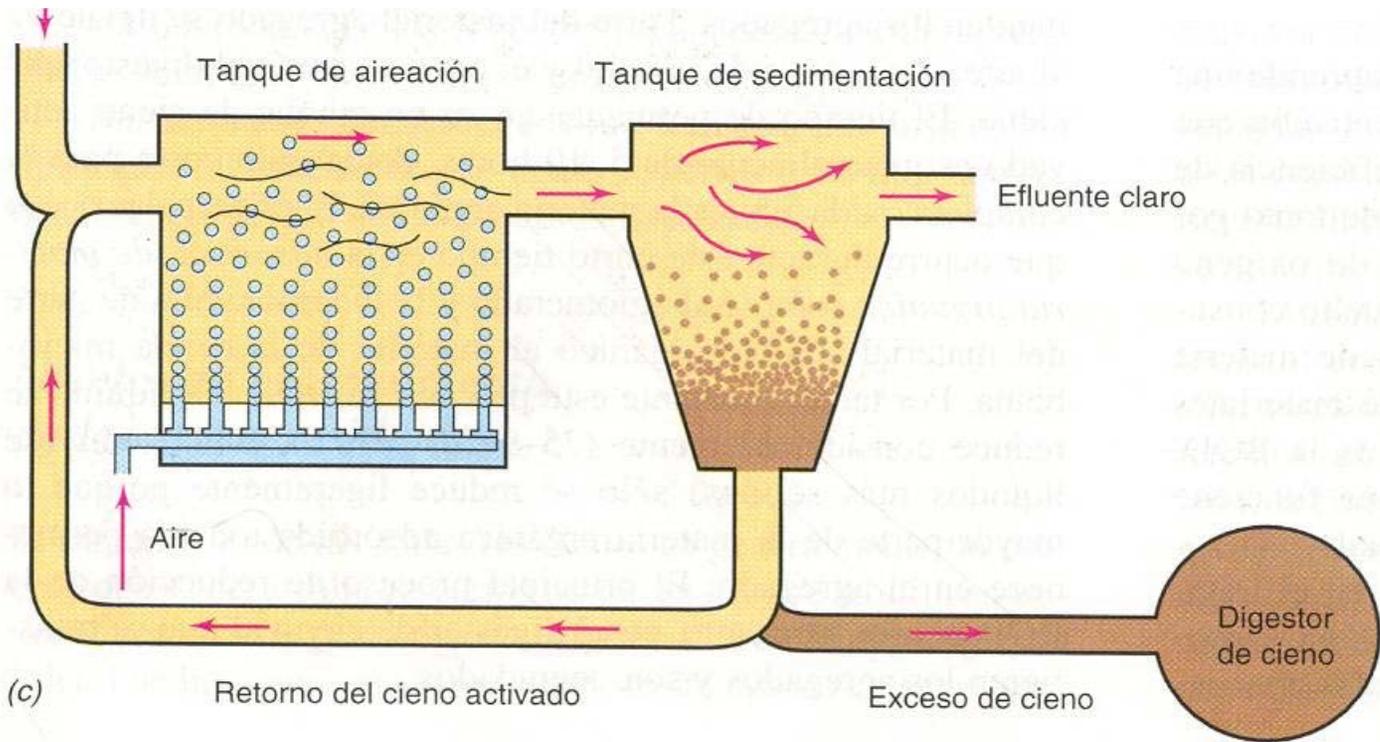
# TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

## **T. Secundarios:**

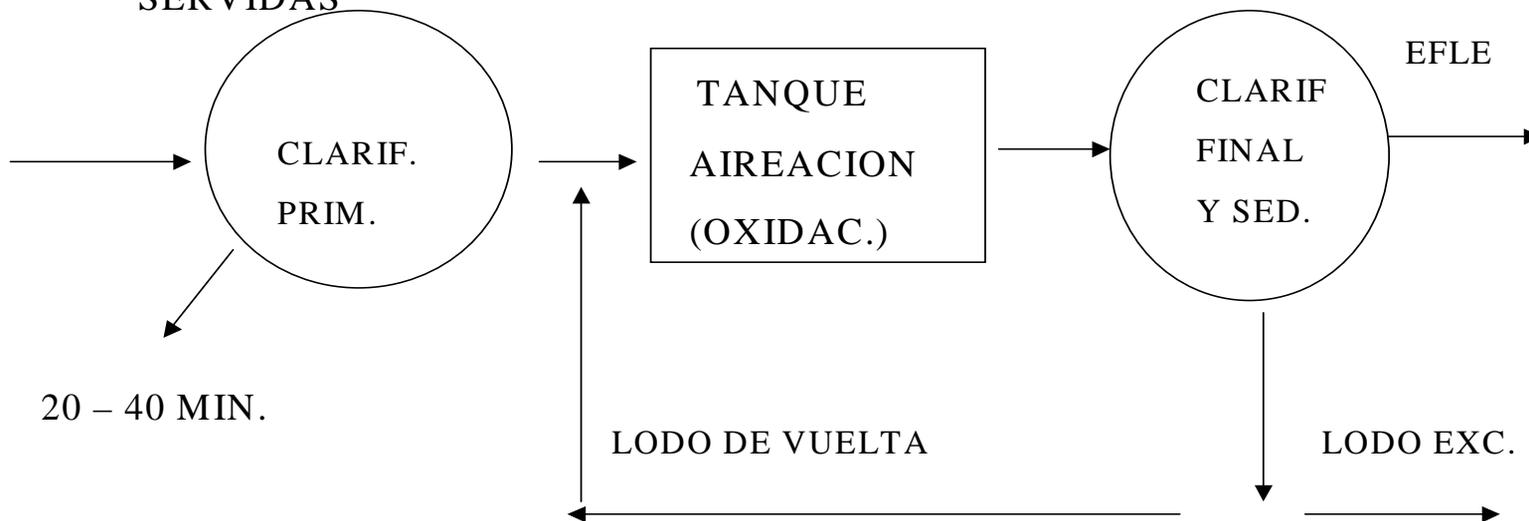
- **Lagunas de estabilidad**
- **Procesos de lodos activados**
- **Uso de filtros por goteo (lombrifiltros)**
  
- **T. terciarios: se utilizan para eliminar nutrientes, DBO, patógenos, parásitos y sustancias tóxicas**

# PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

- Es un tratamiento aeróbico mediante el cual se oxida la materia orgánica a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_4^+$
- 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.



AGUAS  
SERVIDAS



20 - 40 MIN.

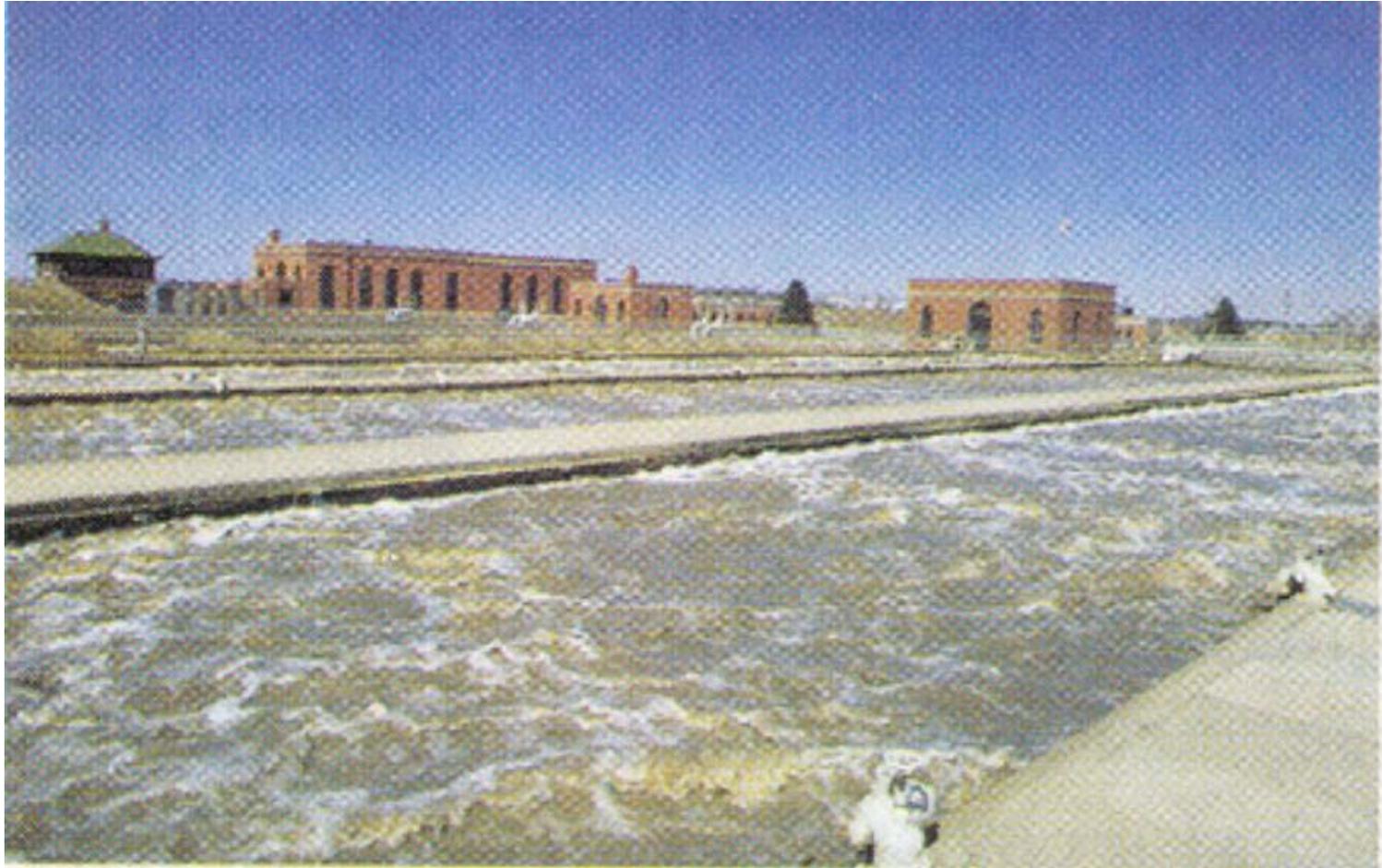
LODO DE VUELTA

LODO EXC.

>  $O_2$  →

MENOR CANT. LODOS

# 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%)**

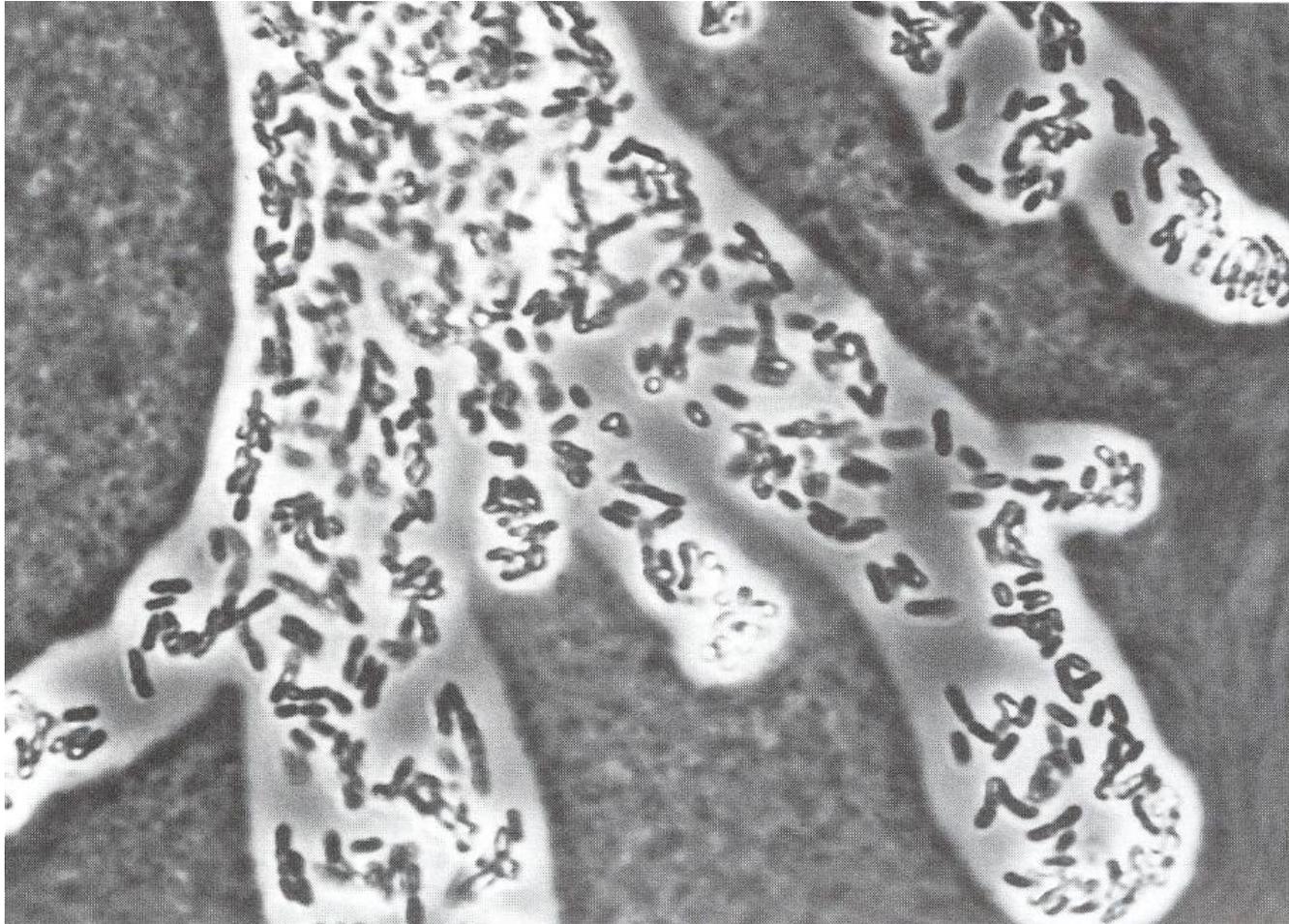
# BIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS

- 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**
- $$\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$$
- **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 → N<sub>2</sub>**  
**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 flocculan 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**

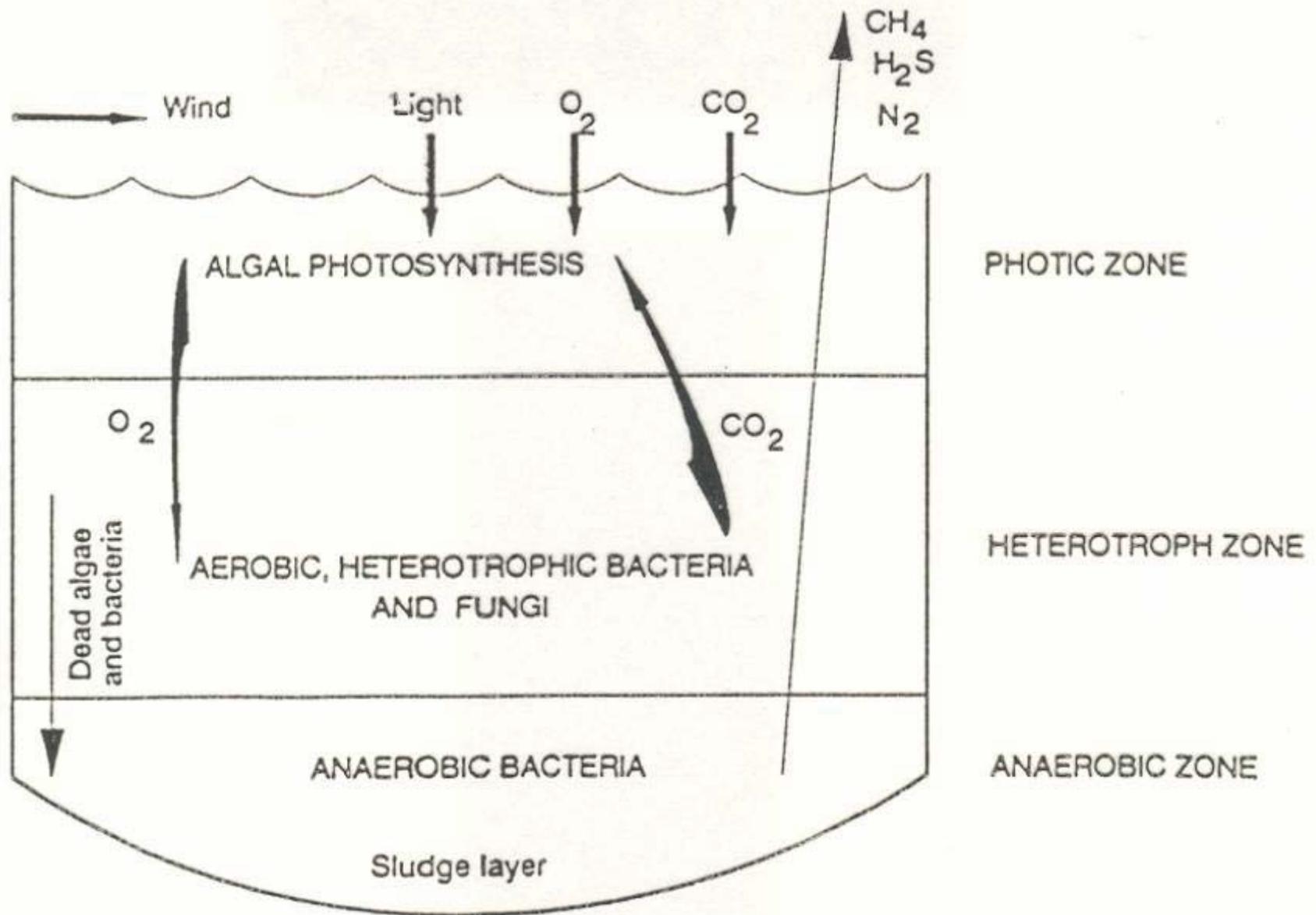


Fig. 11.1. Microbiology of facultative ponds. Adapted from Bitton (1980a).

# 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 /m<sup>2</sup> /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
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- pH: 9                                  pH:7                                  pH: 3
- M.O. que oxidan  $\text{H}_2\text{S}$  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:
- $\text{CO}_2$  por oxidación completa aeróbica
- $\text{CH}_4$  por respiración anaeróbica
- Biomasa que sedimenta

# ACTIVIDAD DEL ZOOPLANCTON

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

# **EFEECTO 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 CH<sub>4</sub>**
- 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  $\text{NH}_3$
- P + Al o Fe → fosfatos insolubles (lento)

# OTROS TIPOS DE LAGUNAS

## Lagunas aeróbicas

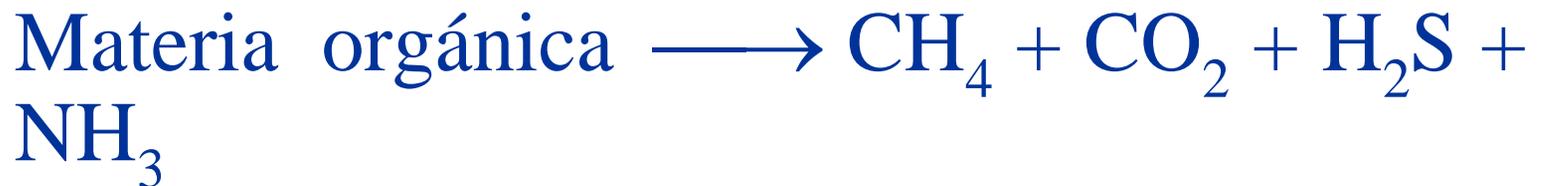
- Profundidad : 0.3 – 0.5 m
- Tiempo de residencia 3-5 días
- Las aguas son mezcladas para permitir penetración de la luz

# 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

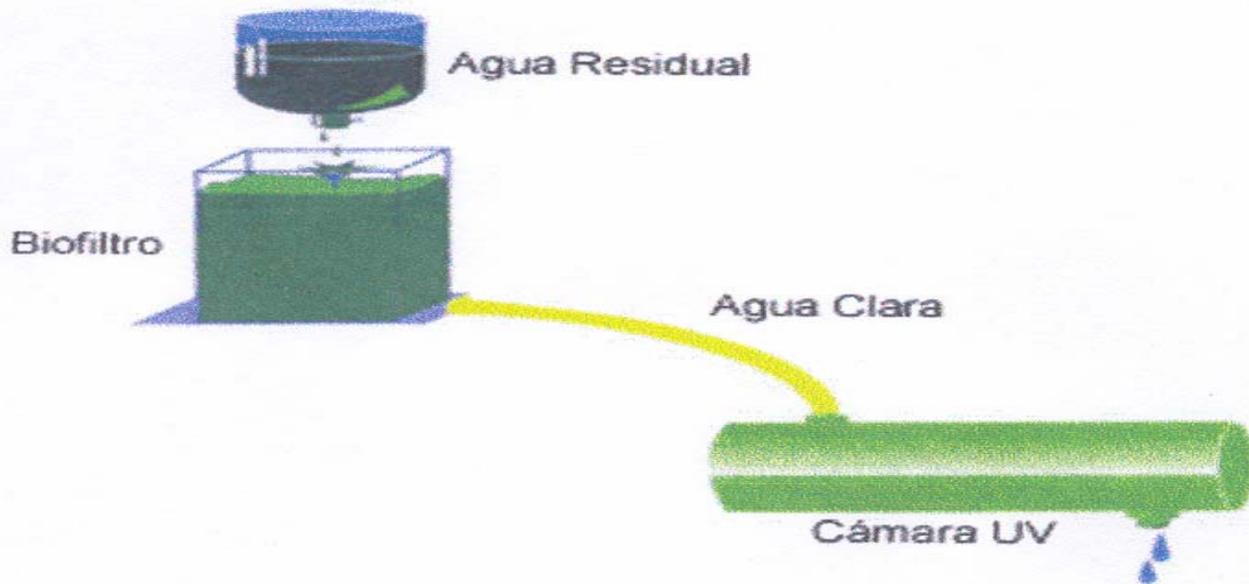
- M.O. patógenos disminuyen muy fuertemente al final del tratamiento secundario, son superados por los otros M.O. por selección natural.
- Los efluentes secundarios son usados por algunas comunidades para irrigar cosechas, ya que contienen grandes cantidades de fósforo y N, que se usan como fertilizantes 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 2m<sup>2</sup> 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 riego.**

# EVOLUCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA POR TRATAMIENTO CON LUZ ULTRAVIOLETA

