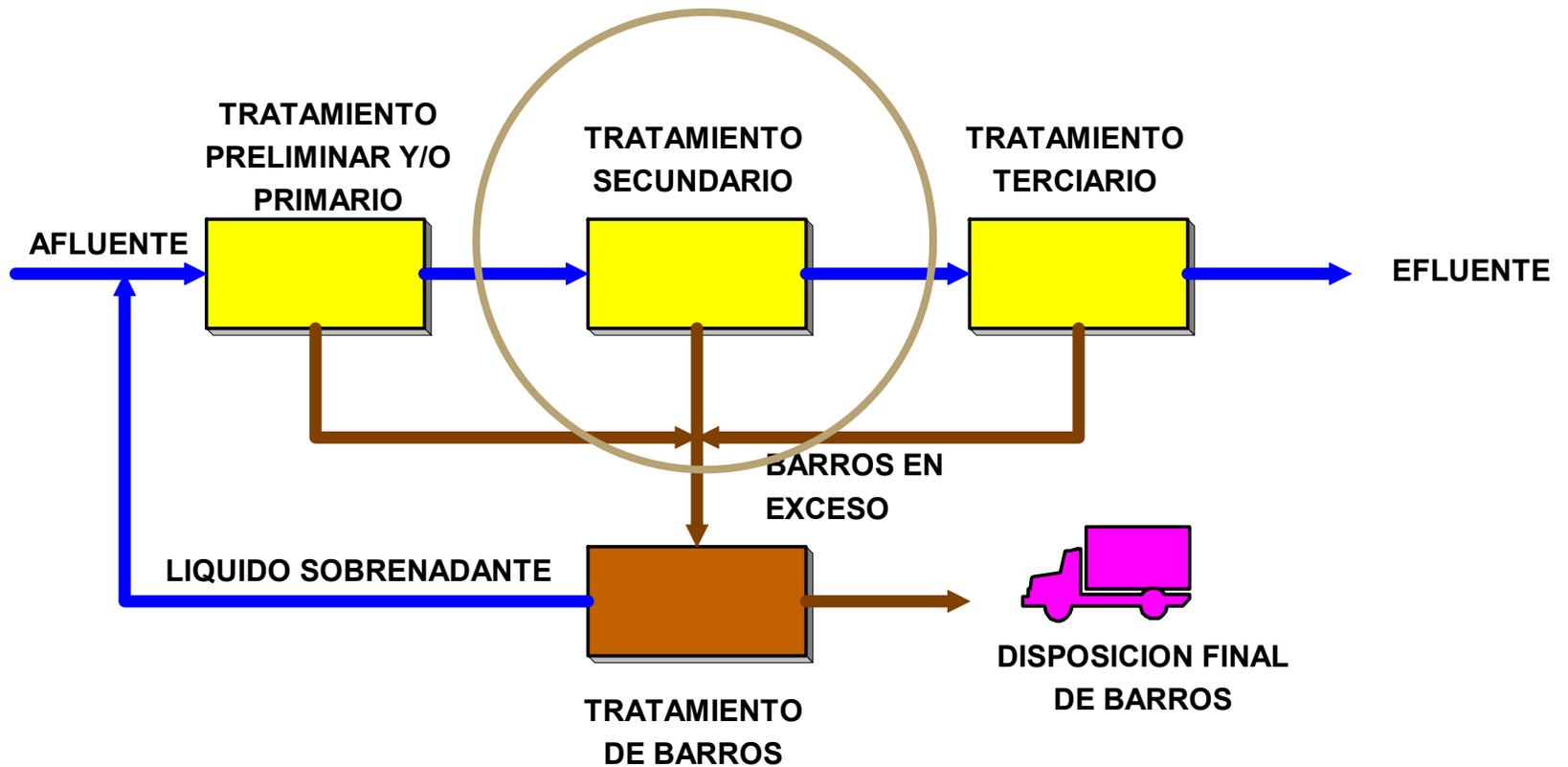




**TRATAMIENTO
SECUNDARIO**

PROCESOS BIOLÓGICOS

DIAGRAMA DE BLOQUE



TRATAMIENTO SECUNDARIO

❖ Lagunas de estabilización.

❖ Lagunas aireadas

❖ Lodos activados

❖ Procesos de película biológica

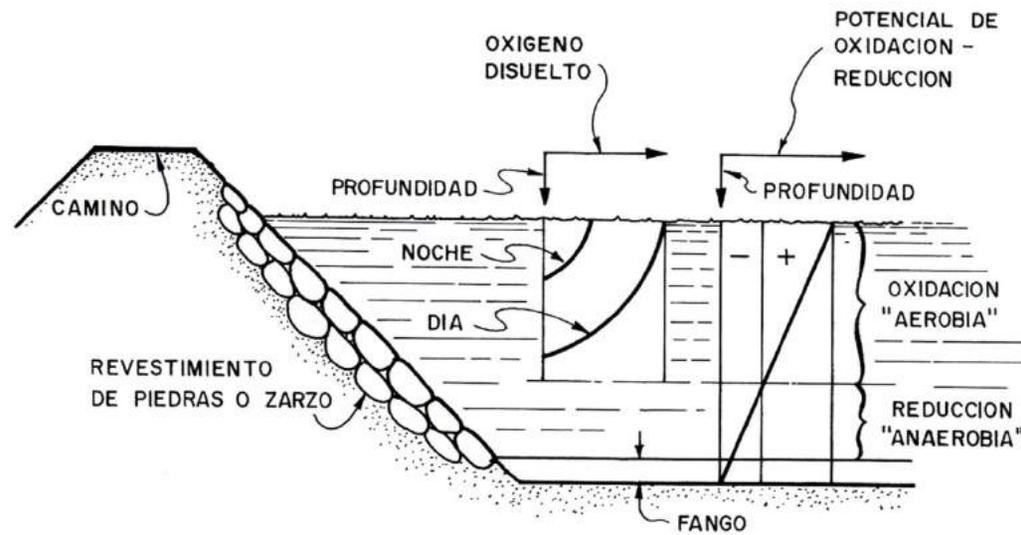
- Lechos percoladores
- Discos biológicos

❖ Procesos anaerobios de alta carga

LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN



VISTA EN CORTE



LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Son estanques artificiales, generalmente excavados parcialmente en el terreno, con un área superficial y volumen suficientes para proveer los extensos tiempos de tratamiento que requieren para degradar la materia orgánica mediante los mecanismos de "autodepuración".

PRINCIPALES GRUPOS DE MICROORGANISMOS

❖ Bacterias

❖ Algas

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Pueden ser:

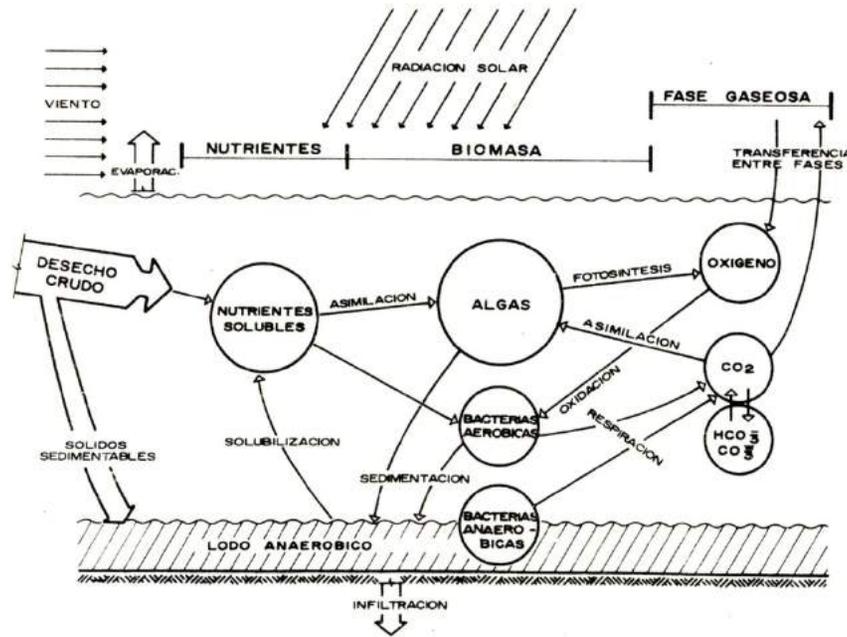
- Anaerobias
- Facultativas
- Aerobias

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Tipo de laguna	Profundidad [m]	TRH [días]	Carga superficial [kg DBO/(ha.día)]	Carga volumétrica [kg DBO/(m³.día)]
Aerobia	0,5 a 1	50 - 60	< 55	-
Facultativa	1,5 a 3	50 - 60	< 150	-
Anaerobia	2 a 4	< 5	300 a 3000	0,08 a 0,5

“PÉRDIDAS” EN LAGUNAS EVAPORACIÓN E INFILTRACIÓN

ENTRADA
→



SALIDA
→

FUENTES DE OXÍGENO EN LAGUNAS FACULTATIVAS Y AEROBIAS

- ❖ Son de origen “natural”:
 - Fotosíntesis
 - Reaireación

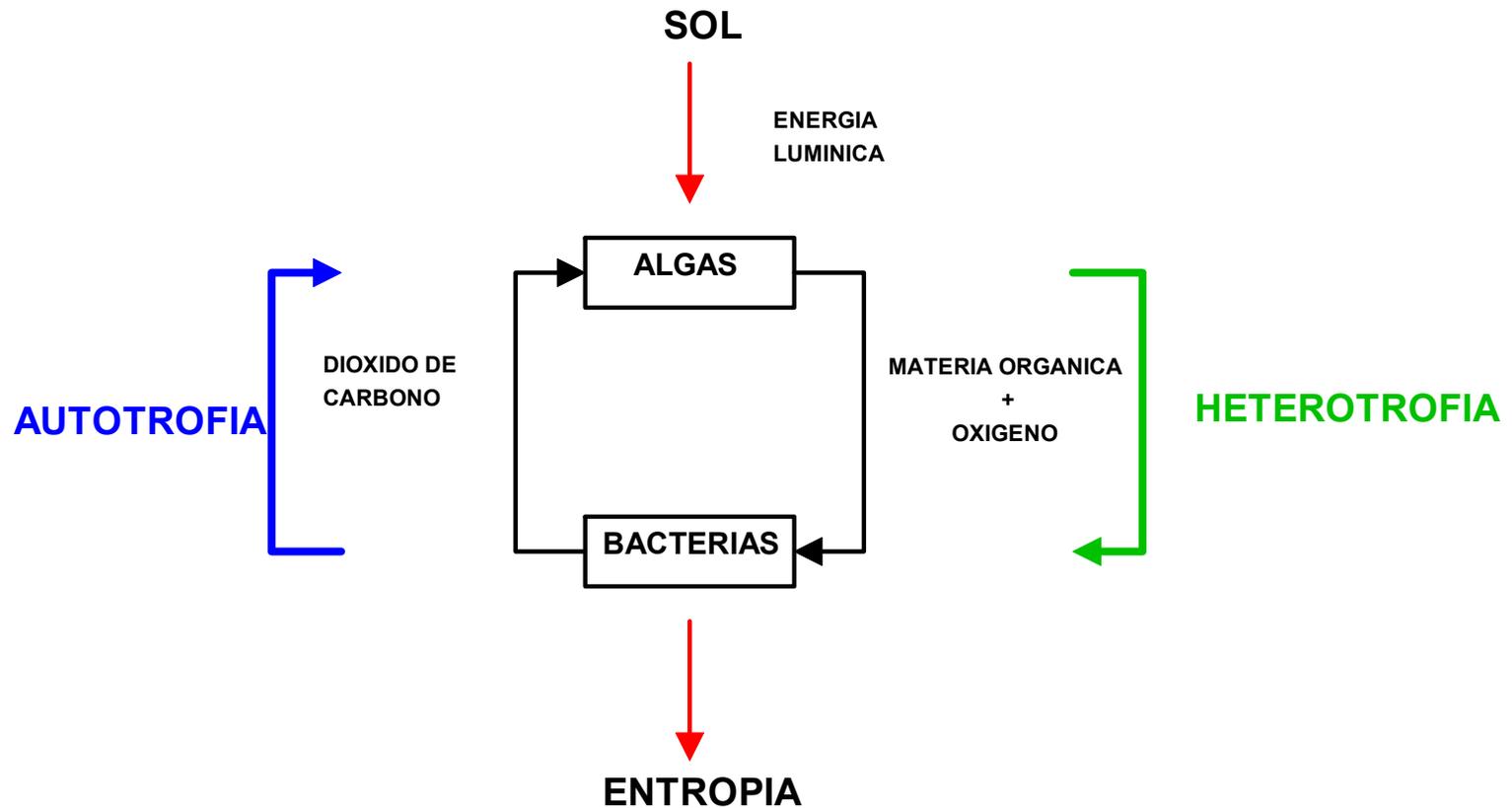
REAIREACIÓN

❖ Es la transferencia del oxígeno atmosférico al líquido en la laguna a través del área interfásica en contacto

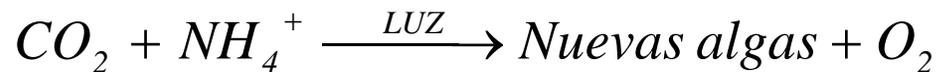
PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA REAIREACIÓN

- ❖ Gradiente en la concentración de O_2
- ❖ Temperatura del líquido en la laguna
- ❖ Turbulencia de la superficie en contacto (velocidad del viento)
- ❖ Características fisicoquímicas del líquido en la laguna (salinidad, concentración de sólidos, presencia de sustancias tensioactivas, etc.)
- ❖ Mezclado del líquido en la laguna

RELACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE ALGAS Y BACTERIAS



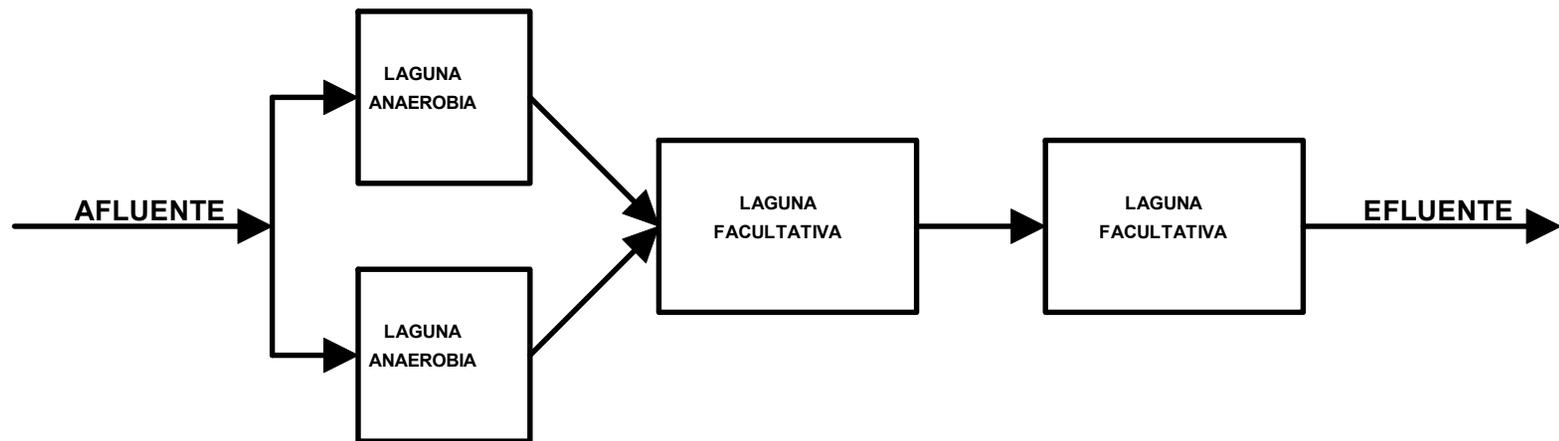
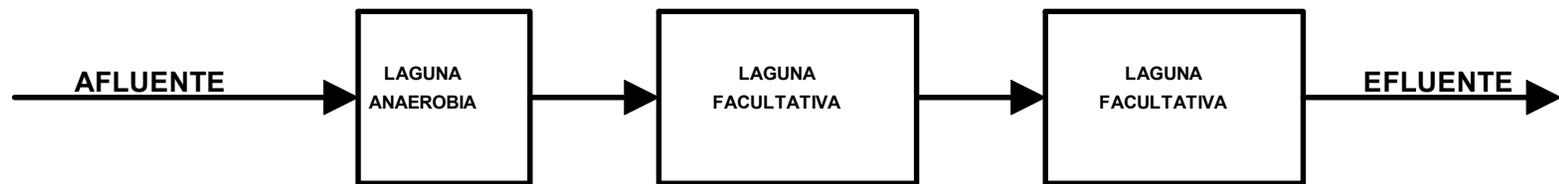
RELACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE ALGAS Y BACTERIAS



¿QUÉ DETERMINA QUE UNA LAGUNA FUNCIONE COMO ANAEROBIA, FACULTATIVA O AEROBIA?

- ❖ La carga orgánica aplicada

SISTEMAS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



INGRESO LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN



INTERCONEXIÓN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



DESCARGA FINAL



LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Ventajas:

Requieren muy poco o nulo suministro de energía
Operación sencilla, no necesitan personal especializado

Generan muy poco barro en exceso y, en general, éste se encuentra bien mineralizado

Diseñados adecuadamente, son muy estables a las variaciones de caudal y concentración de materia orgánica

Remueven eficientemente microorganismos patógenos

REMOCIÓN DE PATÓGENOS PRINCIPALES MECANISMOS

Bacterias { *Radiación solar* ←
Elevada concentración de OD ←
Variación de pH ←
Competencia con las algas ←

Parásitos { *Por decantación*

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Desventajas:

- Necesitan grandes superficies de terreno
- Si están sobrecargadas pueden producir olores
- Pueden generar problemas debido a la proliferación de insectos, por ej. Mosquitos
- Pueden producir gran cantidad de algas

PRESENCIA DE ALGAS EN LA DESCARGA FINAL



**LODO ACUMULADO
DESPUÉS DE 10 AÑOS
(FUENTE: FABIÁN YÁÑEZ COSSÍO -
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN,
1993)**



**ASPECTO DOS SEMANAS
DESPUÉS
(FUENTE: FABIÁN YÁÑEZ COSSÍO –
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN,
1993)**



PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS

- ❖ La cinética de las reacciones
- ❖ El tipo de flujo hidráulico
- ❖ La temperatura en las lagunas
- ❖ La estratificación térmica
- ❖ La intensidad de la radiación solar
 - Fotosíntesis
 - Decaimiento bacteriano

CINÉTICA DE 1º ORDEN

$$\frac{dS}{dt} = kS$$

$$\frac{dN}{dt} = k_B N$$

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA DE K

$$k \Big|_T = k \Big|_{20^\circ C} \theta^{(T-20)}$$

$$k_B \Big|_T = k_B \Big|_{20^\circ C} \theta^{(T-20)}$$

MODELO DE FLUJO DISPERSO

$$\frac{C}{C_0} = \frac{4ae^{(0,5/d)}}{(1+a)^2 e^{(0,5a/d)} - (1-a)^2 e^{(-0,5a/d)}}$$

$$a = \sqrt{1 + 4 \cdot K \cdot \theta_h \cdot d}$$

$$d = \frac{D}{U \cdot L} = \frac{D \cdot \theta_h}{L^2}$$

MODELOS

Modelos de flujo	Ecuación
Mezcla completa	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + k\theta_h}$
Flujo pistón ideal	$\frac{C}{C_0} = \exp(-k\theta_h)$
Flujo disperso	$\frac{C}{C_0} = \frac{4ae^{(0,5/d)}}{(1+a)^2 e^{(0,5a/d)} - (1-a)^2 e^{(-0,5a/d)}}$
Reactores igual volumen en serie	$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{(1 + k\theta_h)^n}$

MÓDULO DE DISPERSIÓN

Para lagunas cuadradas, $L/W = 1$, $d = 1$

Para lagunas rectangulares, $L/W = 2$, $d = 0,5$

Para lagunas rectangulares, $L/W = 4$, $d = 0,25$

CORRELACIÓN DE YAÑEZ COSSÍO

YAÑEZ COSSÍO F.
AVANCES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
SERIE DOCUMENTOS TÉCNICOS 7, CEPIS - OPS/OMS,
LIMA (OCT.1981)

$$d = \frac{L / W}{- 0,26118 + 0,25392 L / W + 1,01368 (L / W)^2}$$

CORRELACIÓN DE POLPRASERT Y BATTARAI

POLPRASERT C. Y BATTARAI K.K.
DISPERSION MODEL FOR WASTE STABILIZATION
PONDS

J.ENV.ENG.DIV., ASCE VOL.111, N°EE1, 45 (FEB.1985)

$$d = \frac{0,184 \left[\theta_h \gamma (W + 2H) \right]^{0,489} (W)^{1,511}}{(LH)^{1,489}}$$

MODIFICACIÓN DE SÁENZ FORERO

SÁENZ FORERO R. PROYECTO DE LAGUNAS
FACULTATIVAS, ANAEROBIAS Y AIREADAS.
CEPIS.OPS/OMS, LIMA (1985)

$$d = \frac{1,158 \left[\theta_h (W + 2H) \right]^{0,489} (W)^{1,511}}{(T + 42,5)^{0,734} (LH)^{1,489}}$$

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- ❖ Balance hídrico positivo
- ❖ Pendiente de taludes
- ❖ Minimizar la estratificación térmica
- ❖ Minimizar la concentración de algas en el líquido tratado

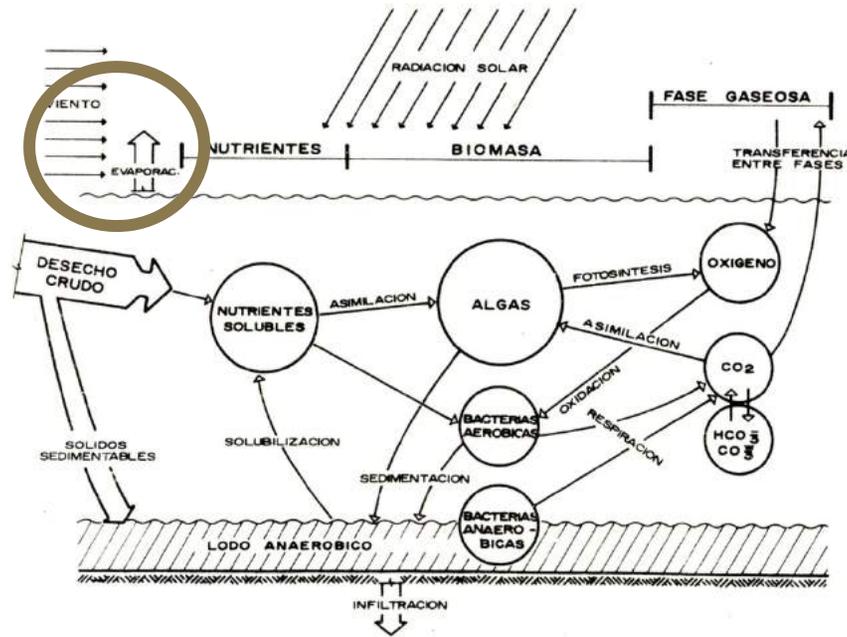
BALANCE HÍDRICO POSITIVO

$$\textit{Acumulación} = \textit{Afluyente} - \textit{Efluyente} - \textit{Infiltración} - \textit{Evaporación}$$

$$\textit{Efluyente} = \textit{Afluyente} - (\textit{Infiltración} + \textit{Evaporación})$$

“PÉRDIDAS” EN LAGUNAS EVAPORACIÓN E INFILTRACIÓN

ENTRADA
→



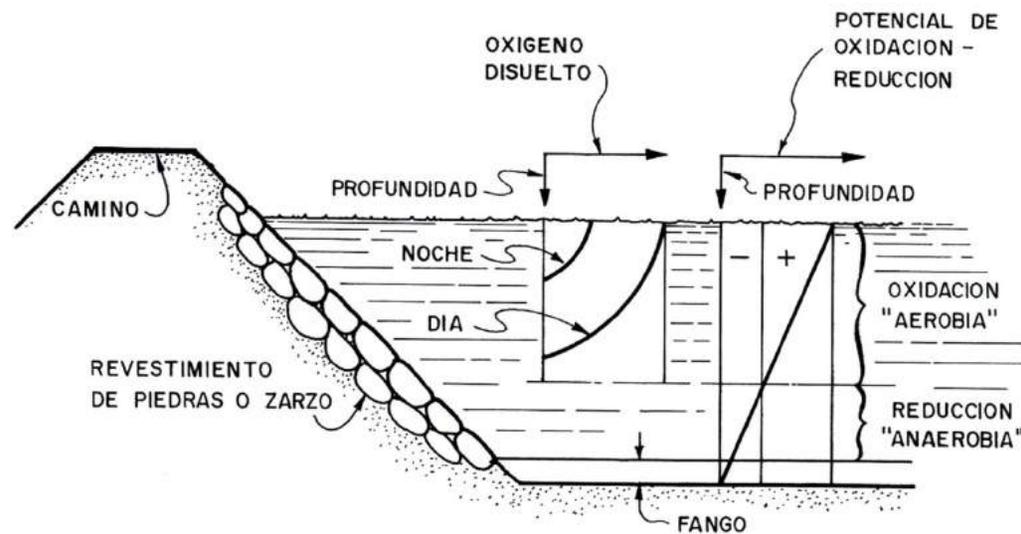
SALIDA
→



PERMEABILIDAD DE DIFERENTES MATERIALES

Material	Tamaño efectivo [mm]	Coefficiente de permeabilidad [cm/seg]
Gravas	2 a 150	$10^2 - 1$
Arenas	0,06 a 2	$1 - 10^{-3}$
Limo	0,002 a 0,06	$10^{-3} - 10^{-7}$
Arcillas	menor que 0,002	menor que 10^{-7}

PROTECCIÓN INTERNA DE TALUDES



PROTECCIÓN DE TALUDES



ESTIMACIÓN DE ALTURA DE OLAS

U.S.EPA PROTECTION OF WASTEWATER LAGOON
INTERIOR SLOPES

JWPCF VOL.58, N°10, 1010 (OCT.1986)

$$h = 0,0026 \frac{v^2}{g} \left[\frac{gL}{v^2} \right]^{0,47}$$

donde :

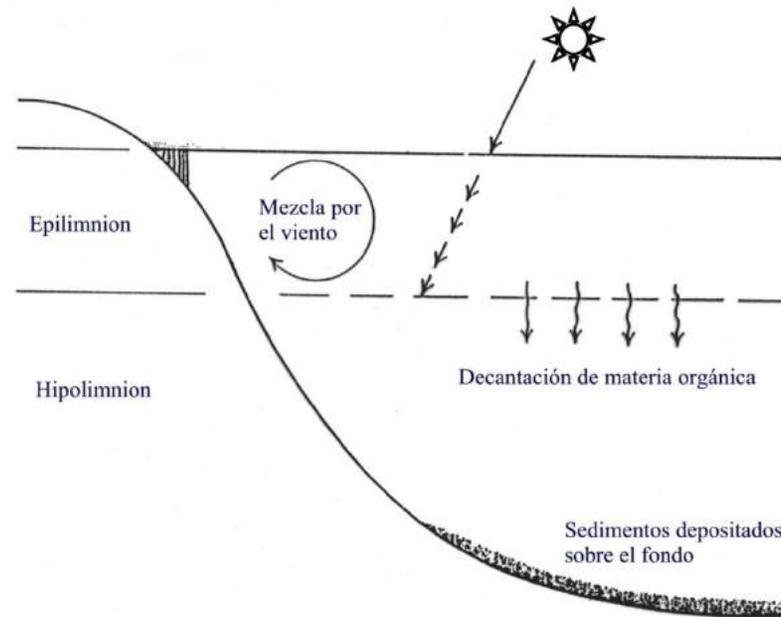
h = altura de las olas [m]

v = velocidad del viento [m/seg]

g = constante de aceleración debida a la gravedad [cm/seg²]

L = longitud de la laguna [m]

ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA



PRINCIPALES FACTORES QUE PODRÍAN GENERAR ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

- ❖ Lagunas profundas.
- ❖ Temperatura ambiente alta.
- ❖ Intensidad de radiación solar alta.
- ❖ Gradiente de temperatura entre el líquido en la laguna y el medio ambiente insuficiente.
- ❖ Poca variación de la temperatura ambiente a lo largo del día.
- ❖ Poca superficie expuesta a la acción del viento, relaciones geométricas inadecuadas, y/o baja velocidad del viento.
- ❖ Mala orientación de las zonas de entrada y salida, con respecto a los vientos predominantes.
- ❖ Dispositivos de entrada y salida contruidos deficientemente.

REUSO DE EFLUENTES DEPURADOS



- La implementación de sistemas integrados de tratamiento y el uso de aguas residuales domésticas deberá considerar la calidad del agua en sus tres dimensiones: **sanitaria, agronómica y ambiental**.

- ✓ **La calidad sanitaria** estará determinada por las concentraciones de **parásitos**, representados por los **huevos de helmintos y los coliformes fecales** como indicador de los niveles de bacterias, así como virus causantes de enfermedades entéricas al ser humano.

- ✓ **La calidad agronómica** estará relacionada con las concentraciones de nutrientes (**nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos**), así como de aquellos elementos limitantes o tóxicos para la agricultura, como la salinidad y cantidades excesivas de boro, metales pesados y otros.

- ✓ **Finalmente, la calidad ambiental** en principio involucra todos los indicadores antes mencionados y otros. En la práctica, estará más relacionada con las **concentraciones de sólidos, materia orgánica, nutrientes y elementos tóxicos** que pueden generar impactos negativos en los cuerpos de agua.

BASE TEORICA DE LA TECNOLOGIA ACTUAL

- En la Región de América Latina y el Caribe , durante la década de 1950 se trato de imitar la tecnología de los países desarrollados y se construyeron plantas con **tratamientos primarios (sedimentación) y secundario (tratamiento biológico con filtros o lodos activados)**, pero estas no funcionaron bien. La mayoría operó por periodos limitados y casi nunca se llevo a cabo la cloración de los efluentes . Los lodos se manejaron deficientemente y con mucha frecuencia se descargaron en los mismos cuerpos de agua que se quería proteger .
- Muchas plantas terminaron por abandonarse y esta mala experiencia ha impedido la construcción de nuevas plantas para tratamiento de aguas residuales .

Pareciera que en los países de la región no existiera la cultura del tratamiento de las aguas residuales y menos aun el deseo de pagar para sostener estos servicios

REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL.

- Los países de América Latina y el Caribe ven con cierta preocupación el deterioro de los recursos hídricos y la ineficiencia de las tecnologías que los países desarrollados han utilizado para resolver este problema.
 - Si el fracaso se debe a razones sociales y económicas (debido a los ingresos per cápita), la única alternativa que queda es el uso de las tecnologías apropiadas.
- En 1958 se comenzaron a usar en América Latina y el Caribe las **Lagunas de estabilización** para el tratamiento de aguas residuales y se ha tenido mucho más éxito que con las plantas convencionales. Su uso se ha popularizado y la gran mayoría de las lagunas continúan operando .

- El empleo de lagunas de estabilización obligo a romper con algunas tradiciones del tratamiento, entre ellas la guía 30"/30" muy usada en los países desarrollados, según la cual los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben tener una **DBO y una concentración de sólidos suspendidos menor de 30 mg /l.**
- Los efluentes de las lagunas de estabilización no necesariamente cumplen con los requisitos, pero su **calidad microbiológica es alta.**
- ***Si lo que queremos es proteger la salud publica, las lagunas son una herramienta excelente.***



OBJETIVO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TCNOLOGIA EXISTENTES

	Lagunas de Estabilización	Métodos Convencionales :Filtros Biológicos ,lodos activados, zanjas de oxidación
Limitaciones	Costo y la disponibilidad de terrenos.	Altos Costos de inversión.
Costo de operación y mantenimiento.	Mínimo ya que sus procesos biológicos son naturales .	Altos Costos y dificultades de operación y mantenimiento
Garantizar la calidad microbiológica	Se requiere una ampliación de la cobertura de tratamiento, para garantizar el objetivo de no patógeno.	Se requiere de desinfección para garantizar la calidad microbiológica comparables a las lagunas de estabilización.

El requerimiento de terreno puede reducirse en lagunas en series que incluyan lagunas anaeróbicas o aireadas para la remoción de materia organica DBO , seguidas de lagunas facultativas que mejoren la calidad microbiológica

✓ Comparación de Eficiencias de Remoción

	DQO	SS	CF
Lodo Activados	90%	90%	90%
Lagunas de Estabilización	90%	80%	99,99%
Tratamiento Anaerobio	85%	90%	90%

✓ Comparación de Costos de Construcción (US\$/Per cápita)

Lodos Activados	70-150
Lagunas de Estabilización	10-30
Tratamiento Anaerobio	10-30

Fuente: Menahem, Banco Mundial

- El tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales mediante reactores anaerobios se ha desarrollado a escala mundial en los últimos años.
- Esta tecnología es particularmente atractiva en los países en desarrollo, ya que la **energía necesaria** para la operación de estos sistemas **es mínima o nula** comparada con los sistemas convencionales de tratamientos biológicos aerobios. Adicionalmente, el **gas metano** que se genera en estos sistemas pueden **transformarse en energía aprovechable** en la planta de tratamiento.

Sin embargo , sus cortos periodos de retención hidráulica no permiten la remoción de patógenos, requiriéndose la desinfección o lagunas de estabilización en serie para mejorar la calidad microbiológica.

- En general , todos estos sistemas no suelen tener la eficacia de las lagunas de estabilización para suprimir los huevos de helmintos. Es necesario investigar mas la remoción en otros procesos como por ejemplo el tratamiento con cal, la coagulación química, y sedimentación, y la filtración en arena

PROCESO DE TRATAMIENTO	REDUCCIÓN DE ORDENES DE MAGNITUD O REDUCCIÓN DE UNIDADES LOGARÍTMICAS			
	BACTERIAS	HELMINTOS	VIRUS	QUISTES
Sedimentación primaria Simple	0-1	0-2	0-1	0-1
Con coagulación previa	1-2	1-3	0-1	0-1
Lodos activados	0-2	0-2	0-1	0-1
Biofiltros	0-2	0-2	0-1	0-1
Zanja de oxidación	1-2	0-2	1-2	0-1
Desinfección	2-6	0-1	0-4	0-3
Laguna aireada	1-2	1-3	1-2	0-1
Lagunas de estabilización	1-6	1-3	1-4	1-4

Fuente: Feachem et al (1983)

- La cloración de los efluentes de aguas residuales es una operación considerablemente mas compleja e impredecible que la cloración en los sistemas de abastecimiento de agua. Es muy difícil mantener un nivel elevado, uniforme y predecible de desinfección eficaz en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, excepto las de mayor rendimiento. Además se generan trihalometanos y compuestos órgano clorados que aumentas el riesgo carcinogénico de los consumidores.
- Las aguas residuales de tipo domestico tienen bacterias del orden de 10^8 por 100 ml.
- Con un tratamiento convencional el efluente tendría una concentración de (CF) de 10^6 / 100 ml, lo que corresponde a un agua de muy mala calidad desde el punto de vista microbiológico, pero el tratamiento la ha clarificado y la ha hecho susceptible de ser desinfectada con cloro .

Se podría afirmar entonces que el tratamiento convencional logra un objetivo de protección ecológica y además acondiciona el agua para la desinfección.

✓ CONSIDERACIONES SOBRE IMPLANTACIÓN DE PLANTAS DEPURADORAS EN FUNCIÓN DEL REUSO.

- Eficiencia requerida – Calidad del efluente
- Características del Agua Residual
- Cuerpo receptor
- Posibilidades de Reuso
- Normativa legal aplicable
- Terreno disponible
- Naturaleza del suelo
- Complejidad del tratamiento
- Disponibilidad de recurso humano especializado
- Impacto Ambiental
- Sostenibilidad del Sistema
- Costos de inversión, O & M
- Entorno Social



LAGUNAS: DECAIMIENTO DE LOS ORGANISMOS PATÓGENOS

REMOCIÓN DE BACTERIAS: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN BIOQUÍMICA

- Tanto en las lagunas de estabilización facultativas como en las anaerobias se presenta un decaimiento de la concentración de bacterias patógenas que se mide a través del decaimiento de los coliformes fecales. Esta razón de decaimiento es muy baja, por ello, para lograr efluentes de buena calidad microbiológica, las lagunas de estabilización necesitan períodos de retención muy grandes (de 10 a 30 o más días), según las características del agua residual, de la temperatura, de la radiación solar, y del uso que se le dará a los efluentes.
- La velocidad real a la que desaparecen las bacterias en una laguna de estabilización se representa como el valor de la constante cinética de mortalidad bacteriana **K_b**. Cuando se desarrolla una ecuación que describe la relación entre el valor de **K_b** y las diferentes variables que influyen en este valor, se debe comprender el mecanismo subyacente a la eliminación de bacterias.

✓ A pesar de la abundante investigación y especulación al respecto, estos mecanismos todavía no están completamente esclarecidos. Gracias a los estudios publicados sobre el tópico, es posible describir los siguientes factores que influyen en el decaimiento bacteriano:

- Temperatura del agua
- Radiación solar
- Valor de pH
- DBO y nutrientes
- Oxígeno disuelto
- Concentración de algas
- Competencia y predación
- Sedimentación

A mayor Temperatura del Agua

Aumenta el decaimiento bacterial presuntamente por incremento de la actividad metabólica, lo que origina mayor susceptibilidad a las sustancias tóxicas hace que los predadores se multipliquen más rápidamente y por ello el número de bacterias disminuye más velozmente. Hay más crecimiento de algas, un aumento en la concentración de algas mejora la eficiencia del tratamiento de la laguna con relación a la remoción de bacterias.

Radiación solar

Efecto **indirecto** es que las algas crecen más rápidamente mientras mayor sea la intensidad de la luz.

Efecto **directo** es la formación de sustancias tóxicas de oxígeno causadas por la luz. Las sustancias húmicas, comunes en el desagüe y en las lagunas de estabilización, absorben luz solar, pasan esta energía al oxígeno y originan formas tóxicas de oxígeno (radicales de oxígeno libre, peróxido de hidrógeno y probablemente superóxido y radicales hidroxilo). Estas formas de oxígeno dañan y destruyen a las bacterias en las lagunas. El daño ocasionado por la luz a los coliformes fecales, proceso conocido como foto oxidación, depende del oxígeno.

Valor de pH

Diferentes investigaciones sugieren que un valor de 9 o más de pH podría desempeñar un papel crítico en el aceleramiento del decaimiento bacteriano. Un valor de 9 o más de pH (algunas veces se ha reportado 9,5) es letal para los coliformes fecales. Pero también por debajo de este nivel pueden ocurrir reducciones considerables de coliformes fecales y se puede encontrar una relación entre el incremento de la velocidad del decaimiento bacteriano y elevados niveles de pH .

Oxígeno disuelto

Como se ha indicado bajo la radiación solar, la existencia de formas tóxicas de oxígeno es importante para el decaimiento bacteriano. Es evidente que las altas concentraciones de oxígeno disuelto tienen un efecto positivo sobre la formación de compuestos tóxicos de oxígeno. El papel del oxígeno disuelto no se menciona frecuentemente en la literatura. Es una excepción y se ha desarrollado un modelo que incorpora la importancia del oxígeno en las lagunas.

DBO y nutrientes

Las bacterias requieren formas orgánicas de carbón y nitrógeno, lo cual implica que una escasez de substrato orgánico podría reducir el número de coliformes, la carga orgánica por sí sola no influye en la remoción de coliformes, sino a través de cambios ambientales asociados a ella. Por lo tanto, el parámetro estará representado por cambios en los otros parámetros. Esto permite postular que las últimas lagunas en una serie tenderán a reducir más coliformes durante el mismo período de retención que las lagunas anaerobias o facultativas que estén al principio de la serie. En general, las últimas lagunas en una serie tendrán menos DBO, DQO y concentración de SST (esto es diferente cuando se combina con el crecimiento de algas. sobre concentración de algas).

Sedimentación

La remoción de patógenos puede darse por sedimentación o adsorción de partículas sedimentables. Probablemente la sedimentación de bacterias desempeña un papel solo si éstas son adsorbidas en grandes partículas.

Concentración de algas

La influencia de las algas en el decaimiento bacteriano no es directa. El efecto más importante para las bacterias está determinado por la relación de las algas y otros factores, especialmente el pH, oxígeno disuelto y la penetración de luz en las lagunas. Durante el día las algas producen oxígeno y absorben CO₂. Estos procesos metabólicos dependen de la luz e incrementan los niveles de oxígeno disuelto y pH. Durante el día las algas también producen biomasa y la concentración total de algas aumenta. Su incremento ocasiona mayor turbiedad, lo cual dificulta la penetración de la luz a través de la columna de agua.

Competencia y predación

Las bacterias provenientes de las aguas residuales forman parte de la cadena alimenticia de la laguna y gran número de ellas son consumidas por protozoarios u otras formas más evolucionadas de vida animal. Algunos bacteriófagos específicos también destruyen organismos fecales. En el ambiente de la laguna hay competencia por los nutrientes disponibles y cuando hay una escasez relativa de nutrientes las bacterias fecales ofrecen una competencia menos fuerte a los otros organismos de la laguna.

Remoción de parásitos

Las aguas residuales están contaminadas por una fuerte carga de organismos patógenos excretados por individuos enfermos o portadores sanos. Entre estos agentes patógenos se encuentran los **protozoos** y los **helmintos** que parasitan al hombre y son evacuados con las heces y el esputo. En menor cantidad se encuentran los parásitos propios de animales, pero que pueden ser causa de zoonosis parasitarias. Se ha estimado la posible concentración de **huevos de helmintos** en aguas residuales. Si se toma como base un sistema convencional de abastecimiento de agua en el que cada persona produce 100 litros de agua residual por día y se asume una producción de huevos por los parásitos, en un área endémica en la cual el 10% de la población está infectada con *Ascaris*, *Trichuris* y *Ancylostoma*, se calcula que en un litro de agua residual podrían existir cerca de 200 huevos de *Ascaris*, 25 huevos de *Ancylostoma* y 6 huevos de *Trichuris*.

En el desagüe municipal de una zona endémica de la India, Lakshminarayana y Abdallupa (1972) reportan por litro 200 huevos de *uncinaria* y cerca de 1.000 huevos de *Áscaris*.

La presencia de parásitos en las aguas residuales es uno de los factores de riesgo más importantes en los países con alta incidencia de parasitosis, ya que estos organismos pueden infectar a la población a través de las fuentes de agua de consumo y de riego. Ante esta realidad epidemiológica de nuestros países, es de vital importancia que las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales sean eficientes en la remoción de estos organismos. Ésta es otra característica atractiva de las lagunas de estabilización: su gran eficiencia en la remoción de parásitos. La remoción de los parásitos en lagunas de estabilización se obtiene por la **sedimentación de los quistes de protozoos y huevos de helmintos.**

En el cuadro se muestran las velocidades de sedimentación de algunos de los enteroparásitos más comunes en las aguas residuales.

Especie	Características de los quistes y huevos			Velocidad de sedimentación (m/hora)
	Tamaño (m ²)	Densidad (g/cm ³)	Forma	
Protozoos <i>Entamoeba histolytica</i>	150 x 50	1,055	Cilíndrica	12.55
Helmintos <i>Ascaris lumbricoides</i>	55 x 40	1,11	Esférica	0.65
<i>Uncinarias</i>	60 x 40	1,055	Esférica	0.30
<i>Schistosoma sp.</i>	150 x 50	1,18	Cilíndrica	12.55
<i>Taenia saginata</i>	30	1,1	Esférica	0.26
<i>Trichuris trichiura</i>	50 x 22	1,5	Cilíndrica	1.53

PLANIFICACION DEL TIPO DE REUSO

- Los planificadores deben tener claridad en relación con los problemas que se deben resolver y qué objetivos se esperan lograr.

La reutilización del agua no es normalmente un objetivo en sí, sino más bien es un medio hacia un objetivo social más amplio y fundamental, como:

- Suministro de agua fiable
- Protección de la salud pública
- Protección y restauración ambiental
- Desarrollo económico regional o sectorial
- Finalmente, en muchos países en vías de desarrollo, el uso de aguas residuales tratadas o no tratadas en la agricultura es crucial para asegurar el suministro alimentario.

DIRECTRICES SOBRE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EMPLEADAS EN AGRICULTURA PARA RIEGO RESTRINGIDO (ACRE)

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo Expuesto	Nemátodos intestinales (a) (media aritmética N° de huevos/lt) (b)	Coliformes fecales (media geométrica N° por 100 ml.) (b)	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos (c)	Trabajadores, Consumidores Público	< ó = a 1	< ó = a 1000 (c)	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles (d)	Trabajadores	< ó = a 1	No se recomienda ninguna forma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria

a) Especies Ascaris y Trichuris y anquilostomas

b) Durante el periodo de riego

c) Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.

d) En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

En la Tabla 1. Aparecen ejemplos de los componentes de las aguas residuales que podrían afectar la salud pública.

TABLA 1.

Categoría de contaminantes	Ejemplos específicos	Consecuencias
Agentes patógenos relacionados con excrementos	Bacterias Helmintos Protozoos Virus	Enfermedades humanas (infección directa o indirecta)
Agentes irritantes de la piel	No determinado, pero probablemente mezclas de sustancias químicas y agentes microbianos	Dermatitis por contacto
Agentes patógenos transmitidos por vectores	Plasmodium spp. Wuchereria bancrofti	Enfermedades humanas
Sustancias químicas	Metales pesados Compuestos orgánicos Compuestos inorgánicos	Enfermedad humana aguda o crónica (contacto directo o indirecto a través de los alimentos)

Fuente: Adaptado de la Organización Mundial de la Salud, 2006.

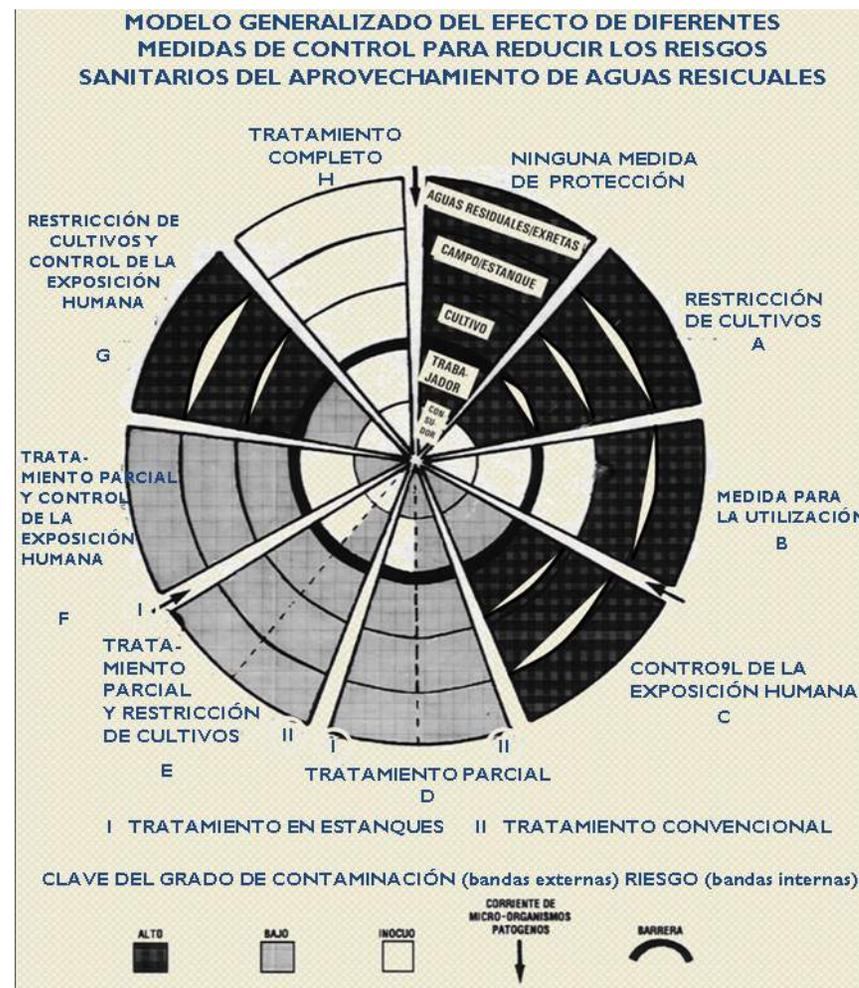
En la Tabla 2 Resumen de los riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales para el riego

Grupo expuesto	Riesgos para la salud		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias/virus	Infecciones por protozoos
Consumidores	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas	Brotos de cólera, tifus y shigelosis reportados por el uso de aguas residuales no tratadas; respuestas de seropositivo para <i>Helicobacter pylori</i> (no tratado; aumento de la diarrea no específica cuando la calidad del agua excede 104 coliformes termo tolerantes / 100 ml)	Evidencia de protozoos parásitos encontrados en superficies de hortalizas regadas con aguas residuales, pero sin evidencia directa de transmisión de la enfermedad
Trabajadores agrícolas y sus familias	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas; mayor riesgo de infección por anquilostoma en trabajadores que no usan zapatos; el riesgo de infección por helmintos persiste, sobre todo en niños, aun cuando el agua residual se trate a < 1 huevo de helminto por litro; el riesgo en los adultos no ha aumentado con esta concentración de helmintos	Mayor riesgo de enfermedad diarreica en niños pequeños que tienen contacto con aguas residuales si la calidad del agua excede 104 coliformes termo tolerantes / 100 ml; mayor riesgo de infección por salmonella en niños expuestos a aguas residuales no tratadas; mayor seró respuesta a ñoro virus en adultos expuestos a aguas residuales parcialmente tratadas	Se reportó un riesgo de infección mínimo por <i>Giardia</i> intestinales por el contacto con aguas residuales no tratadas y tratadas; sin embargo, en otro estudio realizado en Pakistán se estimó que el riesgo de infección por <i>Giardia</i> aumentó tres veces en aquellos agricultores que utilizan aguas residuales sin tratar, en comparación con el riego con agua dulce; se observa mayor riesgo de amebiasis cuando existe contacto con aguas residuales no tratadas

Grupo expuesto	Riesgos para la salud		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias/virus	Infecciones por protozoos
Comunidades cercanas	Transmisión de infecciones por helmintos no estudiadas en el caso del riego por aspersión, aunque lo anterior se aplica para el riego por inundación o por surcos, donde existe un alto contacto	Riego por aspersión con calidad de agua deficiente (106 - 108 coliformes totales / 100 ml) y alta exposición a pulverización asociada a mayores tasas de infección; el uso de aguas parcialmente tratadas (104 - 105 coliformes termo tolerantes / 100 ml o menos) en riego por aspersión no se asocia a mayores tasas de infecciones por virus	No hay datos con respecto a la transmisión de infecciones por protozoos durante el riego por aspersión con aguas residuales

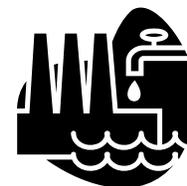
Fuente: Directrices OMS/FAO (2006).

- El tratamiento de aguas residuales es la barrera más importante en contra de la transmisión de enfermedades, pero también es necesario tomar otras precauciones.
- Los métodos de control de la exposición para los grupos de riesgo son los siguientes



Menor riesgo para el consumidor, pero aún es necesario la protección para los trabajadores en el campo	Riesgo medio para el consumidor y el manipulador de los alimentos	Mayor riesgo para el consumidor, trabajador en el campo y manipulador de alimentos
<p>.Riesgo agrícola</p> <p>.Cultivo industriales no aptos para el consumo humano (Ej. Algodón , sisal)</p> <p>.Los cultivos normalmente pasan por un proceso de calor o son secados antes del consumo humano (granos, oleaginosas, remolachas)</p> <p>.Hortalizas y frutas que se cultivan exclusivamente para ser enlatadas u otro procesamiento que destruye efectivamente los agentes patógenos</p> <p>.Cultivos para forraje y otros cultivos para que sean secados al sol y se cultivan antes de ser consumidos por los animales</p>	<p>.Pastos , forrajes verdes</p> <p>.Cultivos para consumo humano que no entran en contacto directo con el aguas residuales, con la condición de que no se recolecten del suelo y que no se use riego por aspersión (Ej. Árboles, vides)</p> <p>.Cultivos para el consumo humano que normalmente se comen cocidos (Ej. Papas berenjenas, betarraga)</p> <p>.Cultivos para el consumo humano, cuya cáscara no se consume (Ej. Melones, cítricos, plátanos, nueces, Mani)</p> <p>.Cualquier cultivo no identificado de alto riesgo si se utiliza riego por aspersión.</p>	<p>.Cualquier cultivo que se come crudo y que crece en estrecho contacto con el efluente de aguas residuales (Ej hortalizas frescas como lechugas o zanahorias , frutas regadas por aspersión)</p> <p>.Riego por aspersión sin considerar el tipo de cultivo a 100 m de las áreas residuales o lugares de acceso publico</p>
<p>.Riego de jardines</p> <p>.Riego de jardines en áreas delimitadas con rejas sin acceso a publico (invernaderos , bosques)</p>	<p>.Campos de golf con programas de riego automatizado</p>	<p>.Campos de golf con riego manual</p> <p>.Riego de jardines con acceso a publico (parques, patios de escuelas , césped)</p>

- ✓ No serán admitidas para su vertido en las instalaciones descargas que contengan sustancias peligrosas especificadas en la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos y la Ley Provincial N° 5.917 y su Decreto Reglamentario, salvo aquellas contempladas por los parámetros de control regulados por la presente y que su concentración en el vertido no superen los valores establecidos



La primer barrera : Es la carga bacteriológica y química, si cumplimos con esos parámetros, pasamos a la segunda barrera que es saber si la planta esta preparada para esa determinada carga.

✓ Incremento de la producción agrícola

- Las aguas residuales también permiten rendimientos mayores en los cultivos que cuando estos son irrigados con aguas blancas y fertilizados con abono.
- En la siguiente tabla se sita los rendimientos comparativos de algunos cultivos agrícolas en [t/ha/año]

TIPO DE AGUA	TRIGO	ARROZ	PAPA	ALGODÓN
Blanca con abonamiento (NPK)	2,70	2,03	17,16	1,70
Residual sin tratar	3,34	2,97	23,11	2,56
Residual tratada en lagunas de estabilización	3,34	2,94	20,78	2,56

- ✓ A continuación también se muestra la diferencia de rendimiento de varios cultivos regados con aguas de reuso y agua pura

CULTIVO	AGUAS NEGRAS (t/ha)	AGUAS BLANCAS (t/ha)
Alfalfa	12	10
Maíz	5	2
Trigo	3	2
Cebada	4	2
Avena Forraje	22	12
Tomate	35	18
Ají	12	7
Papa	30	12

- ***Esta mayor producción es atribuida a que los nutrientes se encuentran bajo forma de compuestos muy solubles en las aguas residuales y por lo tanto son mas asimilables por la planta, así como también por que son aportados con la misma frecuencia que el riego.***