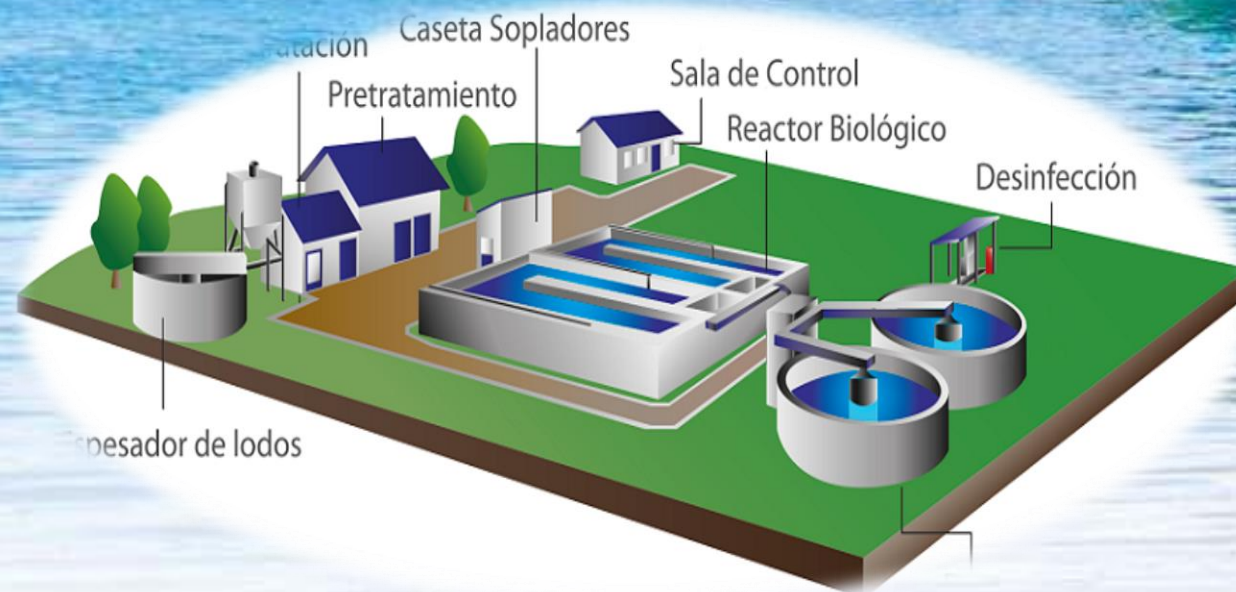
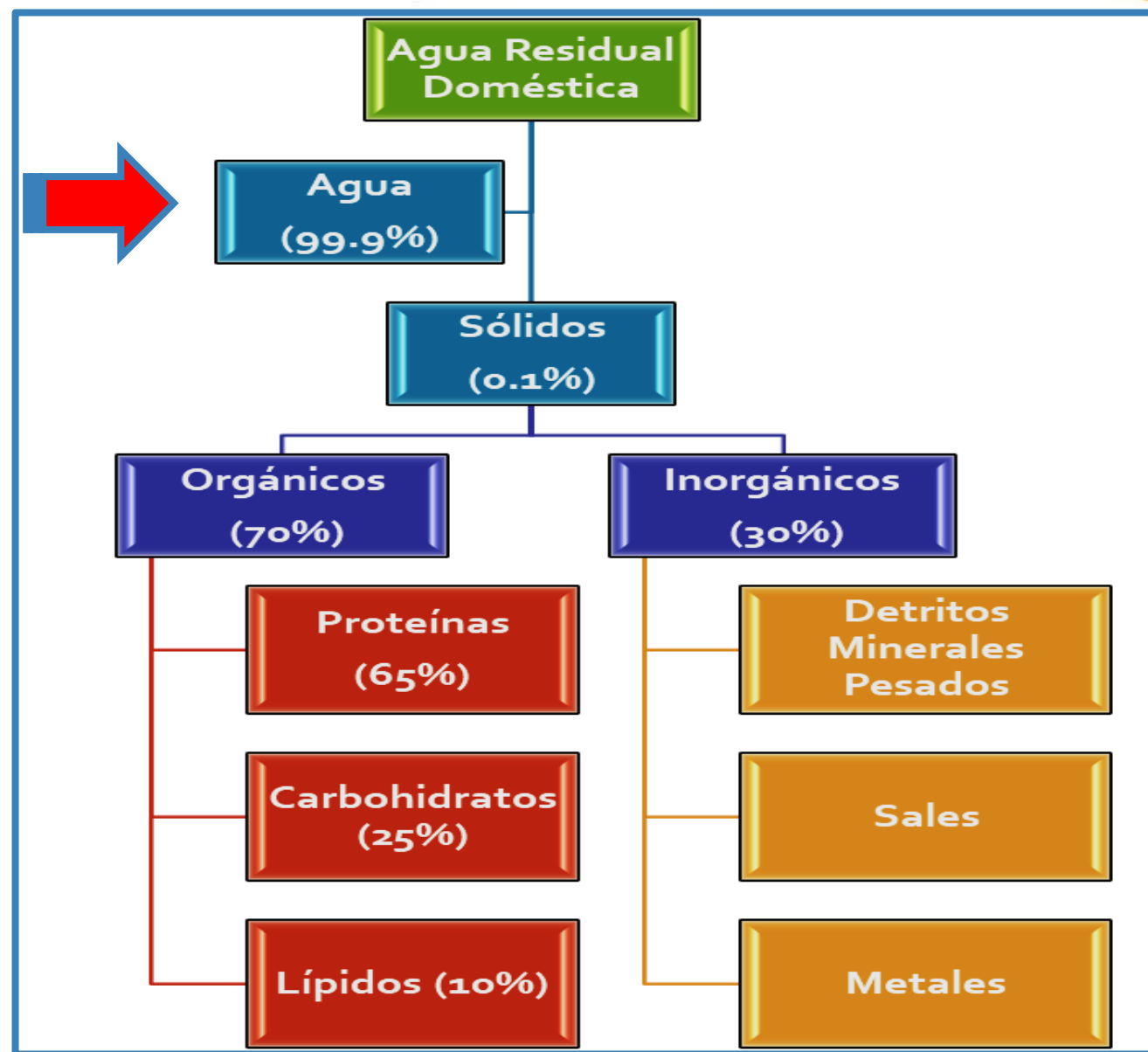


Introducción al tratamiento de las Aguas Residuales



Constitución del agua residual

- El concepto de aguas residuales es en sí mismo una contradicción. Una vez que el agua ha sido utilizada, cualquiera sea el fin, **no debería ser considerada algo «residual»**. Si no ser consideradas, un recurso.
- Las aguas residuales ya no se consideran un problema que necesita solución, sino que son parte de la **solución** ante las dificultades que hoy enfrentan las comunidades.

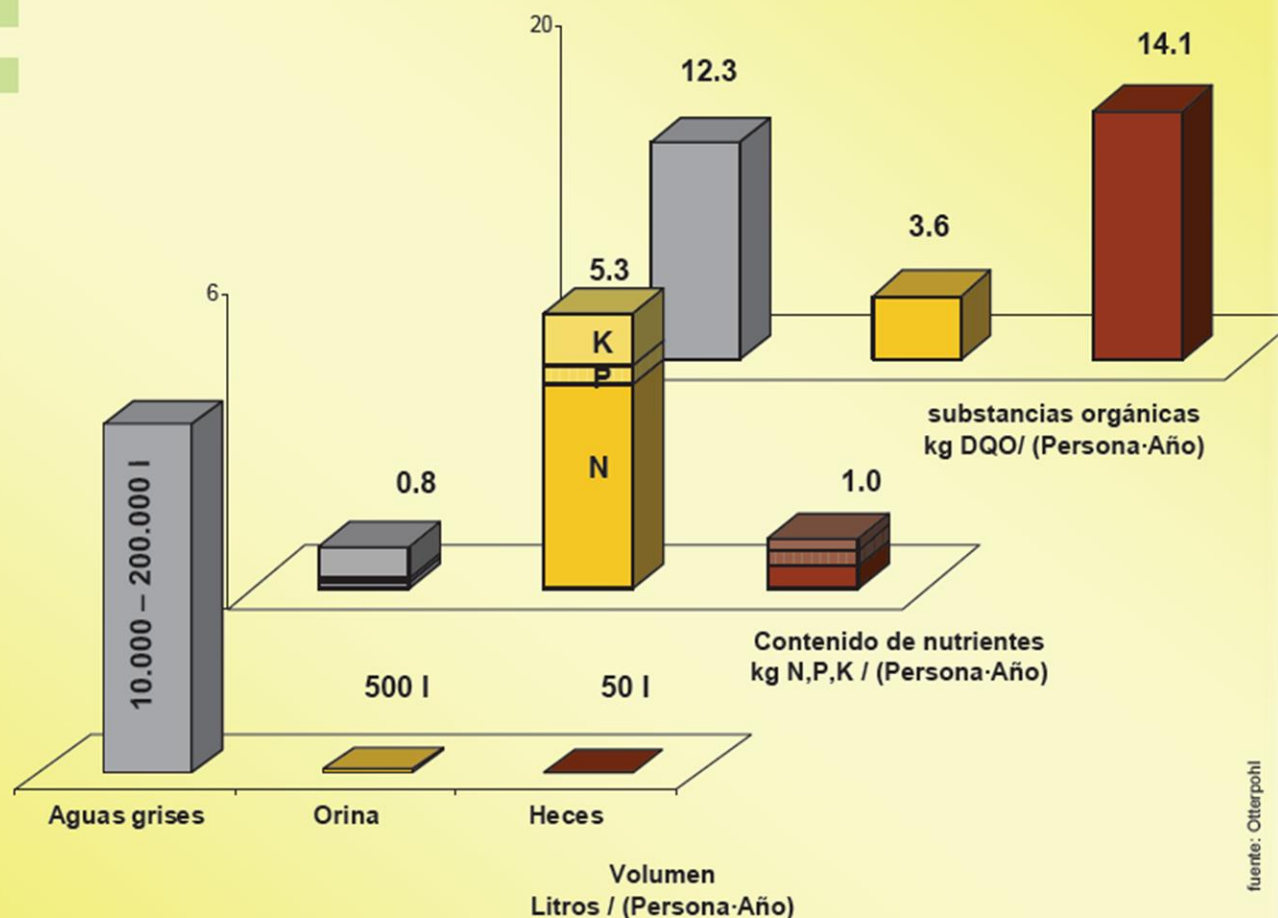


Composición del agua residual

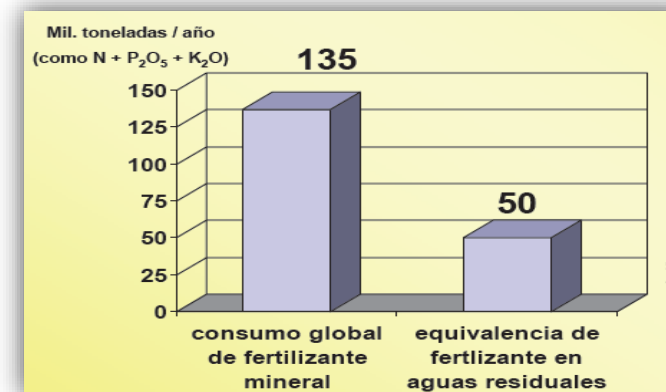


Composición de las aguas residuales

gtz

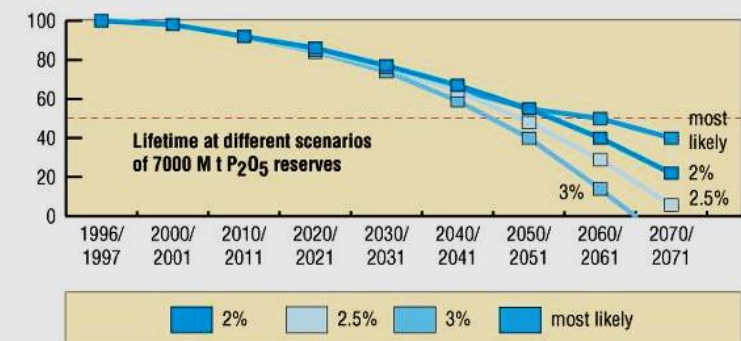


La geopolítica del fósforo es más delicada que la del Petróleo debido a su dispar distribución (**40%** de este recurso se encuentra en un solo lugar, Marruecos)



Valor mercantil ≈ US\$ 15 mil millones

Fig. 5: Lifetime of reserves

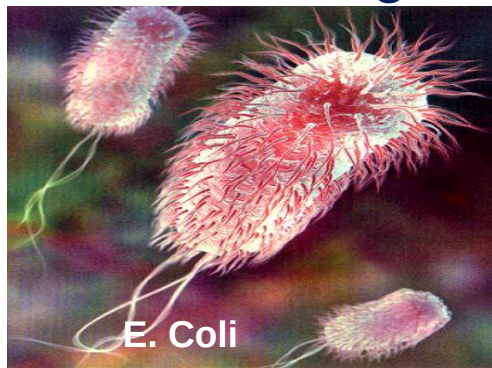


Contaminantes en el agua residual

X = bajo XX= medio
XXX = alto
Flechas = variable
vacío = sin importancia

Contaminante	Parámetros representativo principales	Fuente				Posibles efectos del contaminante
		Aguas residuales		Escorrentía		
		Domésticas	Industriales	urbana	Agrícola y pastoreo	
Sólidos suspendidos	SST	xxx	↔	xx	x	• Problemas estéticos • Depósitos de lodos • Adsorción del contaminante • Protección de patógenos
Materia orgánica biodegradable	DBO	xxx	↔	xx	x	• Consumo de oxígeno • Muerte de peces • Condiciones sépticas
Nutrientes	Nitrógeno Fosforo	xxx	↔	xx	x	• Crecimiento excesivo de algas • Toxicidad para los peces • Enfermedades en recién nacidos • Contaminación del agua subterránea
Patógenos	Coliformes	xxx	↔	xx	x	Enfermedades transmitidas por el agua
Materia orgánica no biodegradable	Pesticidas Algunos detergentes, otros	x	↔	x	xx	• Toxicidad • Espuma (detergentes) • Reducción de la transferencia de oxigeno (detergentes) • No biodegradabilidad • Mal olor (es decir fenoles)
Metales	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.	x	↔	x		• Toxicidad • Inhibición del tratamiento biológico de los lodos • Problema con el uso agrícola de los lodos • Contaminación de las aguas subterráneas
Sólidos inorgánicos	Sólidos disueltos Totales, Conductividad	xx	↔		x	• Salinidad excesiva para uso en riego • Toxicidad para las plantas • Problemas con la permeabilidad del suelo

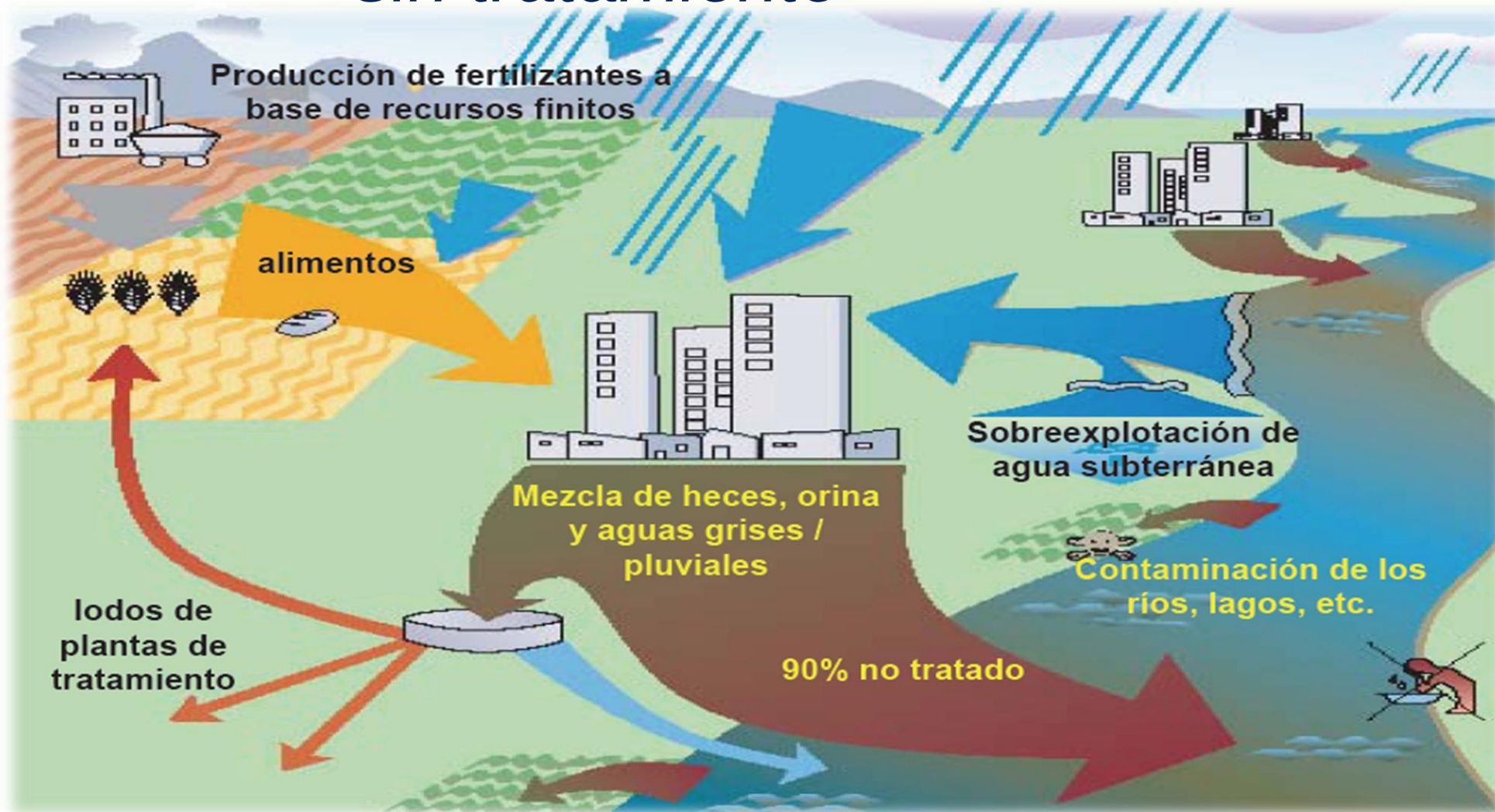
Organismos que se encuentran en las aguas residuales



Grupo biológico	Organismo	Enfermedad
Virus	Poliovirus Hepatitis A echovirus Cocksacckie Rotavirus	Poliomilitis Hepatitis Fiebres, diarreas Vómitos Gastroenteritis
Bacterias	Vibrio cholerae Salmonela typhi Salmonela paratyphi Otras salmonelas Shygellas spp Leptospira spp	Cólera Tifus Paratíficas Gastroenteritis Disentería bacilar Fiebre
Protozoos	Entamoeba hystolycica Giardia lamblia Baltidium coli	Abcesos hepáticos, diarreas ameb. Diarreas Diarreas
Helmintos	Taenia sagitaria Taenia solium Ascaris lumbricoides	Triquinosis Teniasis ascaridiosis

Desventajas de los sistemas convencionales sin tratamiento

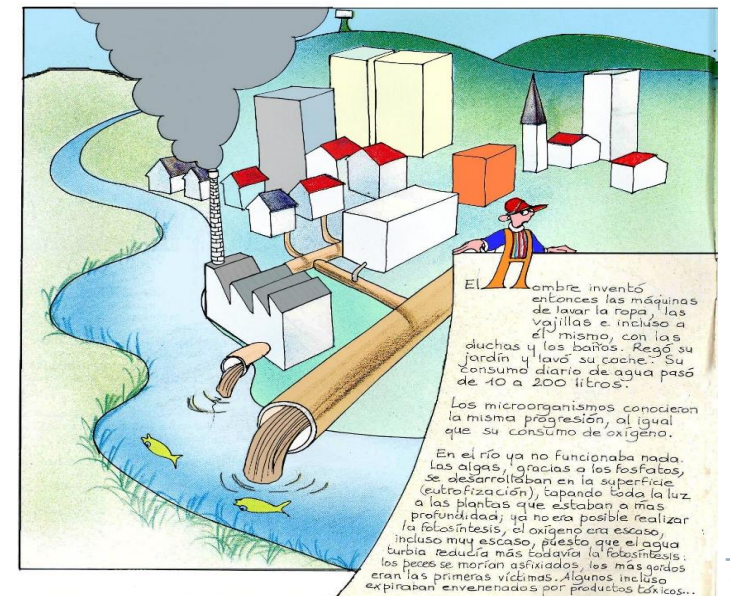
La población de mayor ingreso exporta su excreta por medio de cañerías, contaminando el ambiente, exponiendo e infectando a quienes viven “río abajo”



Efectos de los contaminantes en las aguas receptoras

Los contaminantes que contienen los desechos líquidos, afectan la calidad del agua en los aspectos siguientes:

- ✓ Aportación de gérmenes patógenos
- ✓ Incremento de temperatura (disminución de O_2 y eutrofización).
- ✓ Incremento de turbidez, color, olor y espumas (aspecto).
- ✓ Incremento de sales inertes (Cl , SO_4 , CO_3H^- , SiO_3)
- ✓ Disminución de O_2 .
- ✓ Eutrofización (incremento de nutrientes, N, P y metales)
- ✓ Toxicidad (compuestos orgánicos e inorgánicos)
- ✓ Biodegradación y bio acumulación.
- ✓ Efectos cancerígenos y mutagénicos.
- ✓ Efectos varios (nitratos actúan en la hemoglobina, dureza afecta los riñones)





Caracterización del agua residual

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para: El proyecto y la explotación de los sistemas de recolección, plantas de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición: **Física, Química y Biológica.**

Para su caracterización se debe realizar una serie de pruebas de laboratorio en **muestras representativas.**

Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas **en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos** presentes en el agua residual.

Las más exigentes consideran la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios, cuando se pretende su reutilización se incluyen los compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

Una pequeña inversión puede reducir el costo de: las obras, los costos operativos y mantenimiento así como mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento

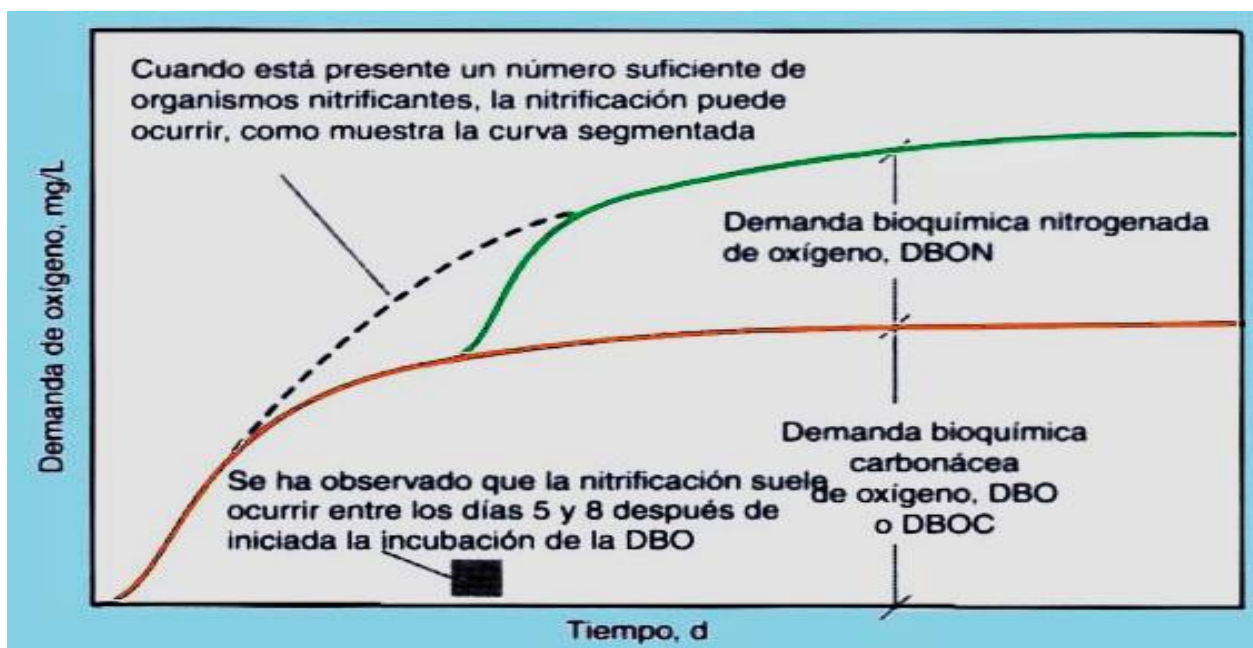


Composición típica del agua residual doméstica

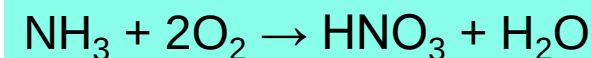
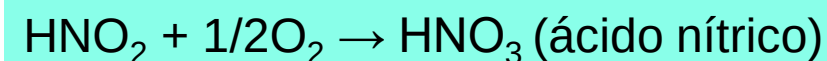
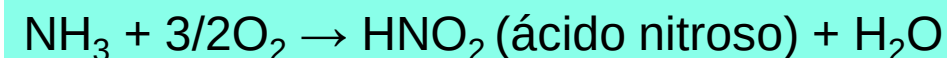
Contaminantes	Unidades	Concentración media	Máximo permitido Norma
Sólidos totales	mg/l	720	
Sólidos disueltos totales	mg/l	500	
Sólidos fijos	mg/l	300	
Sólidos volátiles	mg/l	200	
Sólidos en suspensión	mg/l	220	100
DBO5	mg/l	220	50
Carbono orgánico total	mg/l	160	
Demanda química de oxígeno	mg/l	500	200
	mg/l	40	30
Nitrógeno total	mg/l	15	
Nitrógeno orgánico	mg/l	25	20
Amoníaco	mg/l	0	
Nitritos	mg/l	0	
Nitratos	mg/l	8	5
Fósforo total	mg/l	3	
Fósforo orgánico	mg/l	5	
Fósforo inorgánico	mg/l	50	
Cloruros	mg/l	30	400
Sulfatos	mg/l	100	10
Grasa	Col/100		
Coliformes fecales	ml	10 ⁶ - 10 ⁷	5x10 ³

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente utilizado, mide la cantidad de Oxígeno Disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.



Se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada, la asociada al proceso de oxidación de amoníaco a nitrato.



Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Cantidad de Oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica a través de un agente químico, generalmente su valor es mayor que el de la DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química, frente a los que se oxida por vía biológica. Mide la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, aunque contengan compuestos tóxicos para la vida biológica.

Agua residual bruta

$$\frac{DQO}{DBO} = 2.2 \text{ a } 2.8$$

Agua residual Tratada

$$\frac{DQO}{DBO} = 2.6 \text{ a } 3.2$$



Esta relación nos **da un índice de la biodegradabilidad de las materias orgánicas** contenidas en el agua.

Esta prueba tiene la ventaja que es más corta (≈ 3.0 horas) que la de DBO_5 (5 días), si después de un cierto tiempo establecemos una correlación entre ellas, determinando el valor de DQO y multiplicándolo por el coeficiente de correlación correspondiente, podríamos tener rápidamente un valor aproximado de la DBO.

Oxígeno Disuelto (OD)

Este elemento es de importancia vital para los seres acuáticos aerobios, su contenido varia con la temperatura y la altitud. Dado que **evita la formación de olores desagradables** en las aguas residuales, es deseable y conveniente mantener una cantidad suficiente de Oxígeno Disuelto.

Para el desarrollo de las reacciones biológicas es fundamental mantener un medio aerobio , con oxígeno suficiente para que se realice la síntesis y la respiración endógena.



Oxidación



Síntesis



Respiración Endógena



Temperatura

Es una característica física del agua que mide la intensidad de calor, **influye en la solubilidad de los gases**(que es inversamente proporcional a la temperatura) **y en la reproducción de los microorganismos.**

Influye en las reacciones de oxidación biológica, aumentando la velocidad de estas cuando crece la temperatura: **esta ley se mantiene hasta los 37°C**, en que la velocidad de reacción desciende bruscamente, al morir los microorganismos por desnaturalización de las proteínas del protoplasma celular.

Eckenfelder estableció la ecuación siguiente, que relaciona la temperatura con la velocidad de reacción.

$$K_T = K_{20} * \theta^{T-20}$$

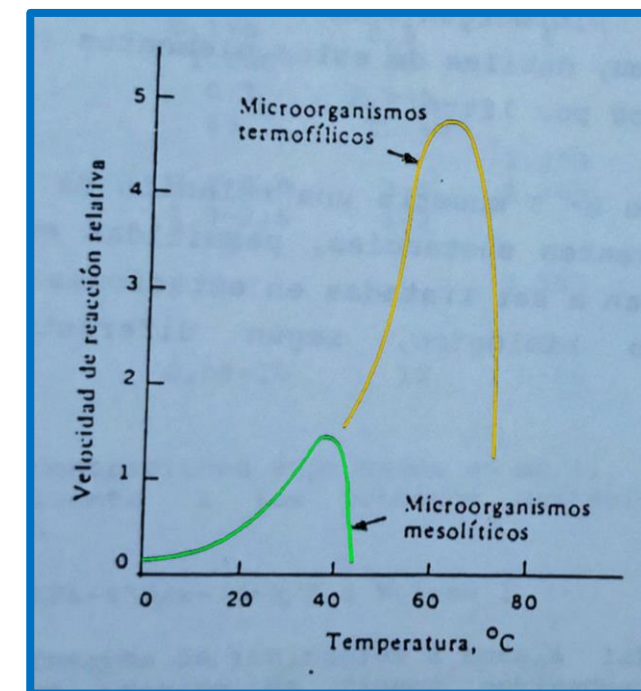
K_T = velocidad de reacción a T°C

K_{20} = velocidad de reacción a 20°C

θ = coeficiente actividad temperatura

T = temperatura en °C

Procesos	θ
Fangos activados	1.0 – 1.04
Lechos bacterianos	1.2 – 1.04
Lagunas de aireación	1.06 – 1.90



Compuestos del nitrógeno

Nitrógeno Total Kjeldahl

Define el nitrógeno amoniacal potencial de una agua. **Incluye el nitrógeno en forma de amoníaco y el nitrógeno orgánico** que a través del tratamiento puede transformarse también en ion amoniaco, según la ecuación siguiente:



Nitrógeno Amoniacal

Es el contenido de nitrógeno en forma de ion amonio.

Existe un equilibrio entre el ion amonio y el amoniaco, dependiendo de la temperatura y el pH de equilibrio.

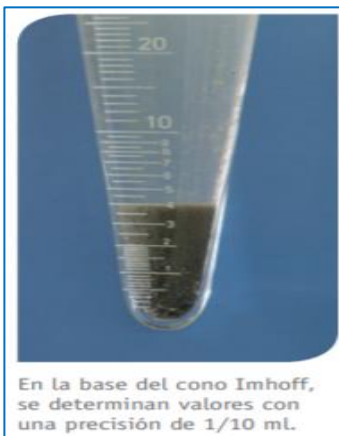


El contenido de gas amoniaco define la toxicidad de el agua, de aquí la importancia de eliminarlo.

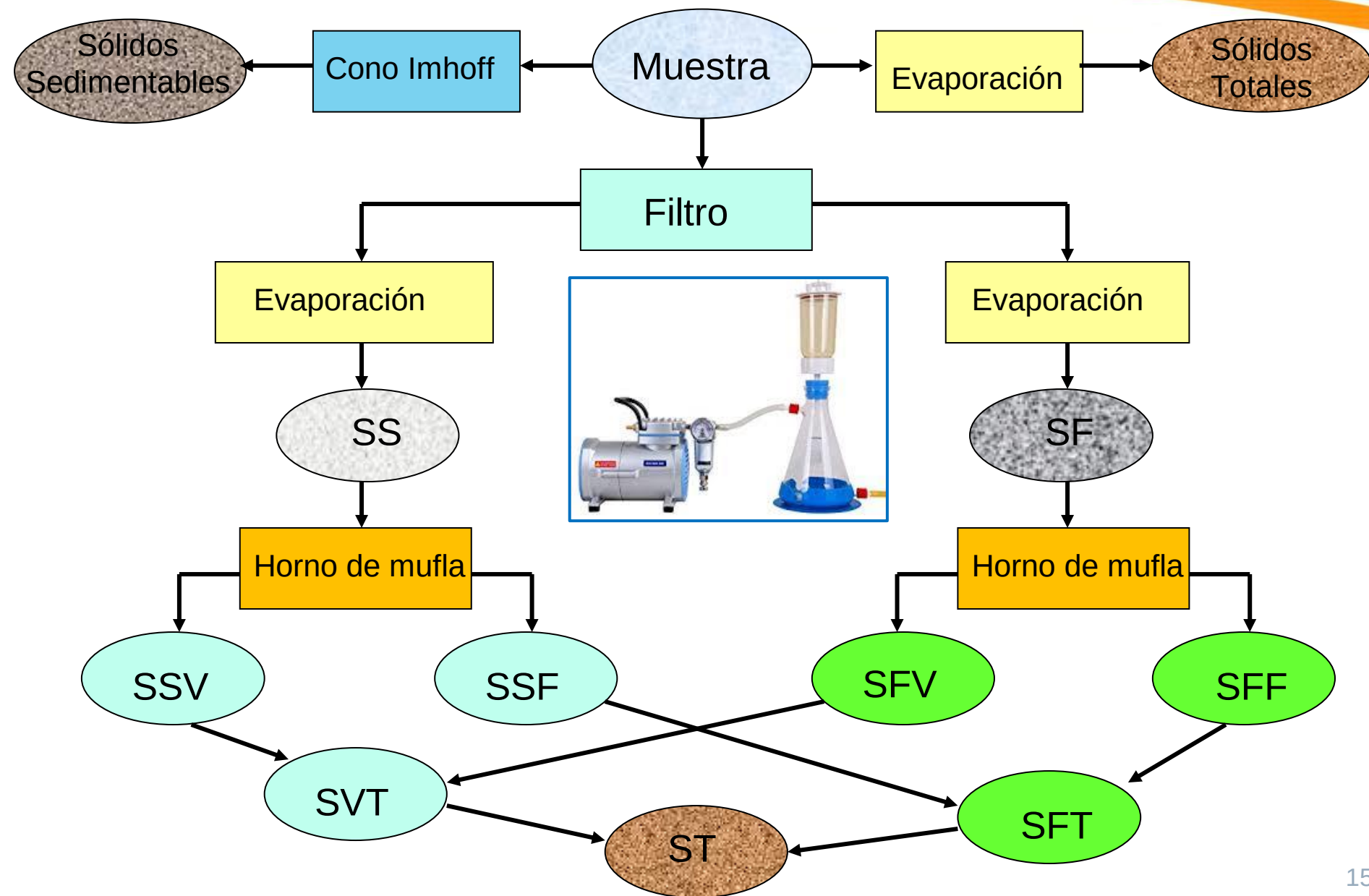




Composición de Sólidos

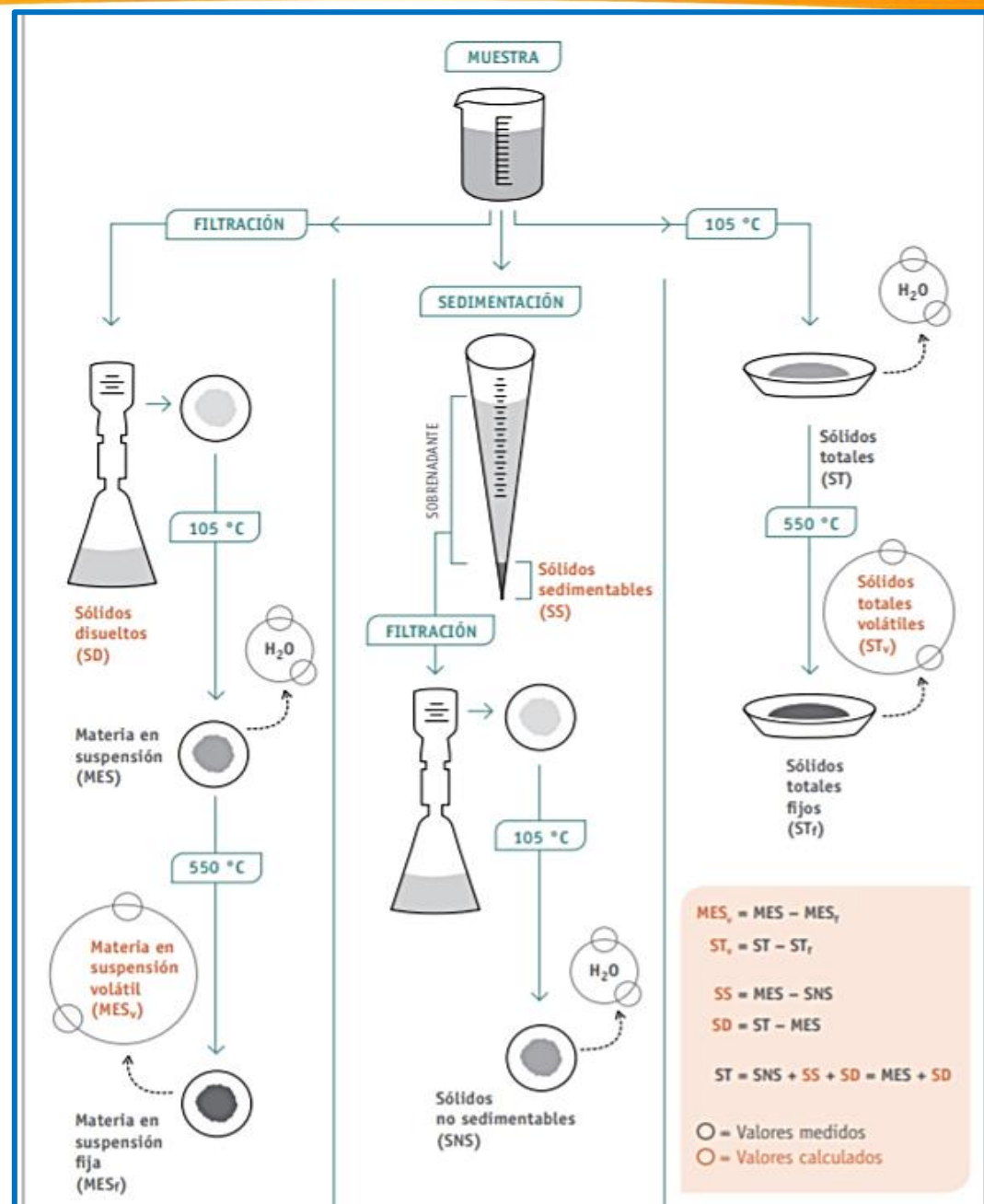


En la base del cono Imhoff, se determinan valores con una precisión de 1/10 mL.

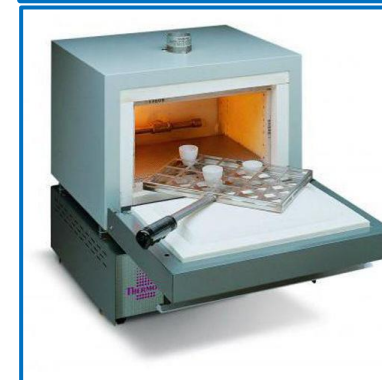




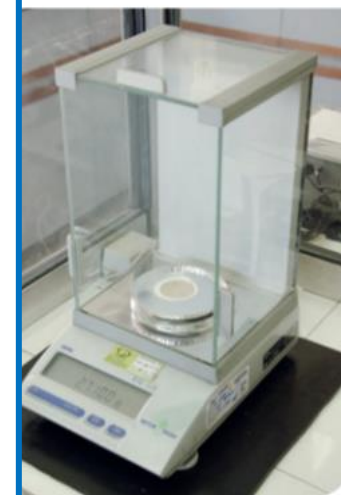
Composición de sólidos en una muestra



Equipo de filtración por sistema de vacío.



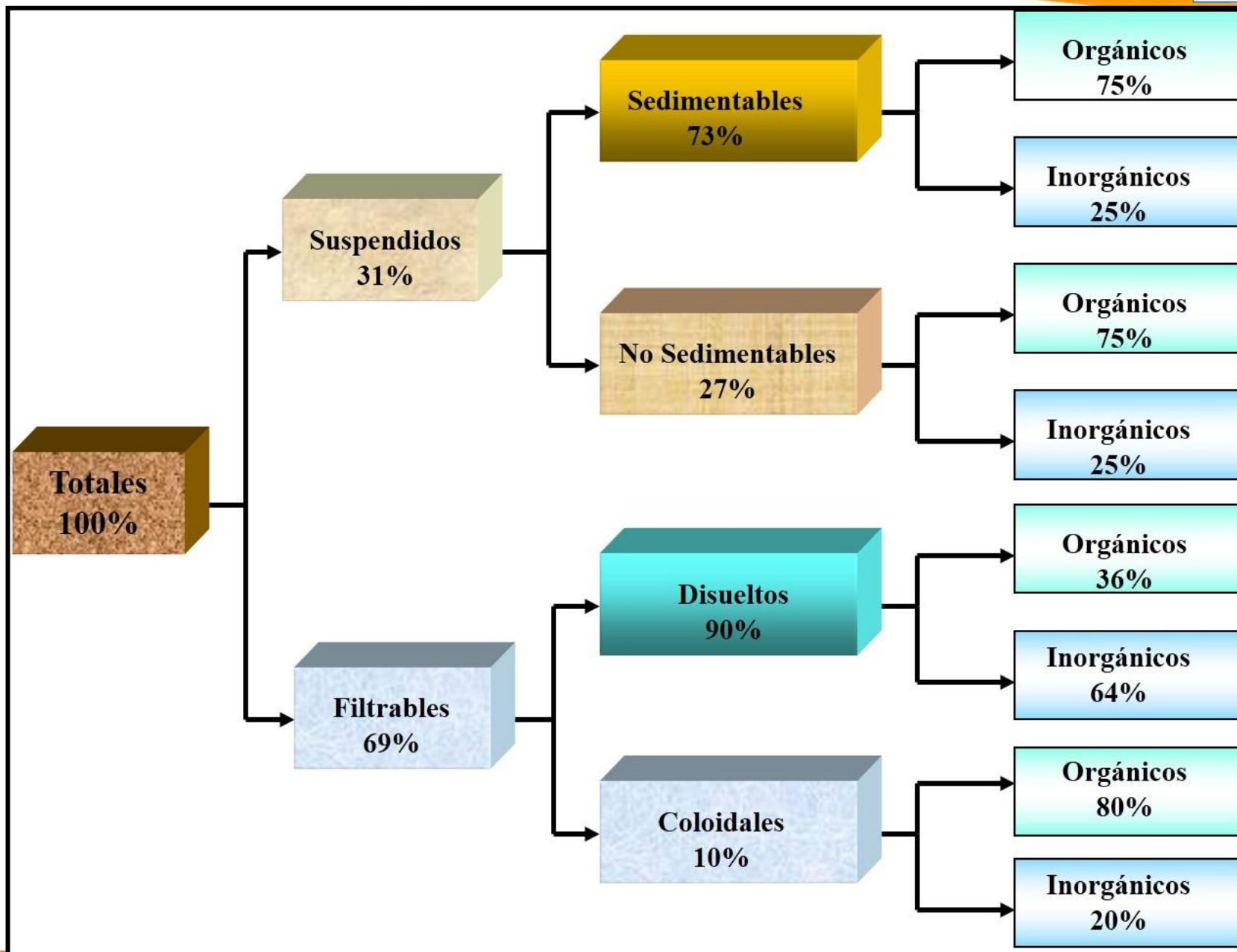
Extracción de un filtro con residuos luego de una filtración.



Balanza analítica

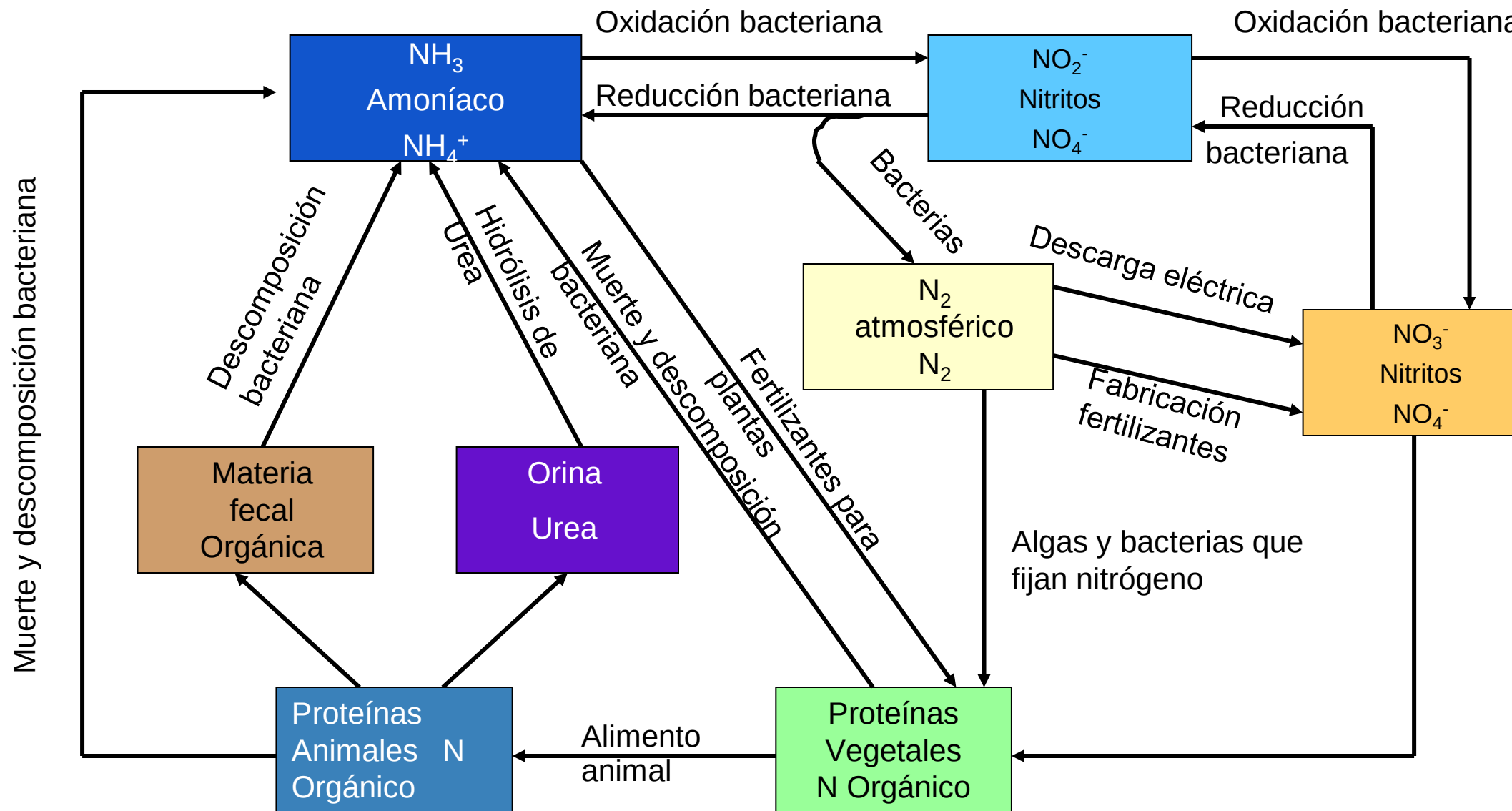


Clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales





Ciclo del Nitrógeno



Ciclo del azufre

Corrosión en alcantarillas

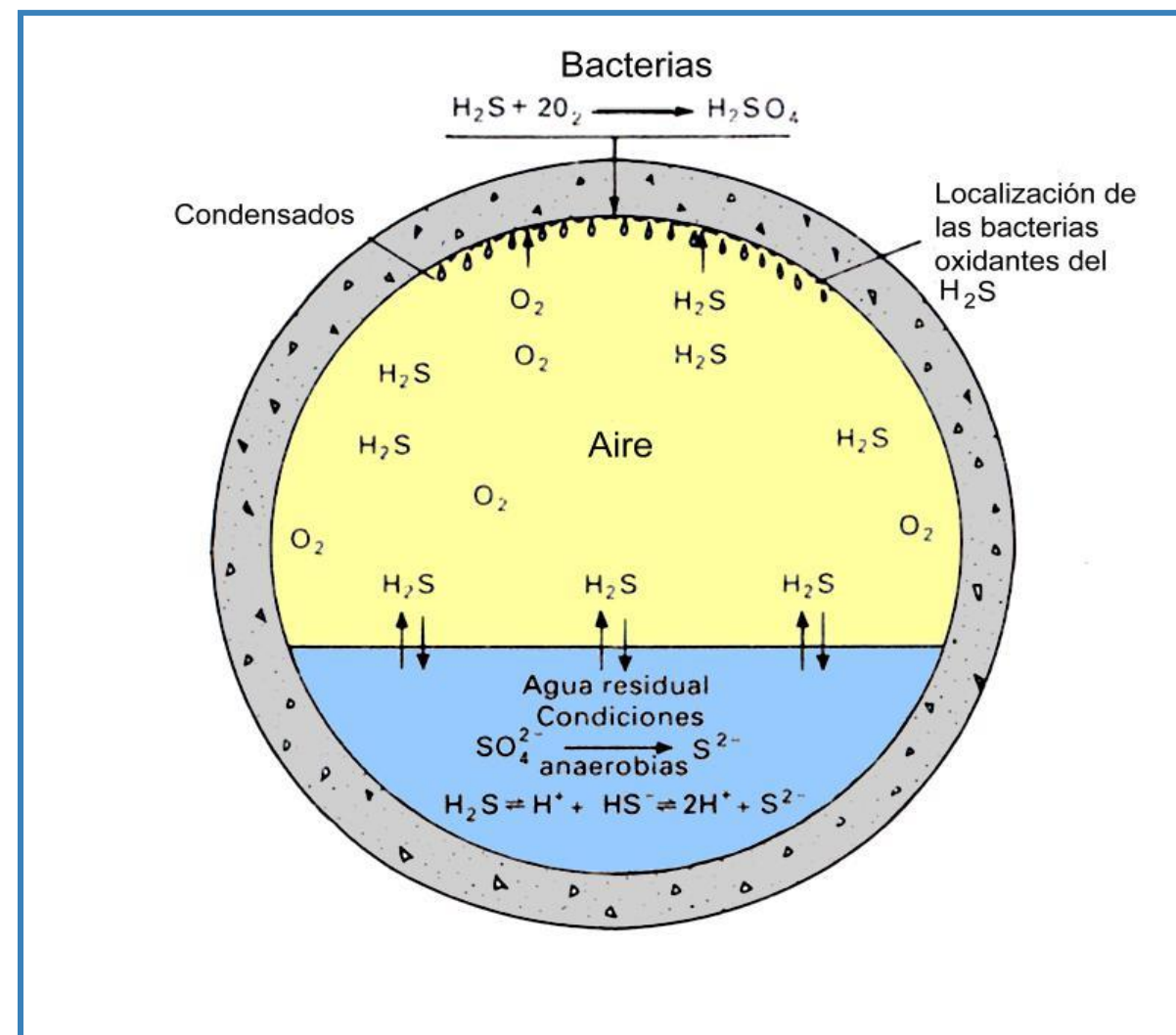
H_2S = Acido sulfhídrico

H^+ = Hidrógeno

HS^- = bisulfuro

S^{2-} = Sulfuro

H_2SO_4 = Acido Sulfúrico





Carga por habitante

Representa la contribución de cada individuo expresada en términos de contaminante por unidad de tiempo. Una unidad comúnmente usada es g/hab.d. Así que, cuando se dice que la contribución per cápita de DBO es de **54 g/hab.día**, equivale a decir que cada individuo contribuye por día en promedio, con un equivalente de **54** gramos de DBO.

La carga afluente en una planta depuradora corresponde a la carga de contaminante (masa) por unidad de tiempo. En este sentido son importante conocer la relaciones siguientes:

$$Carga(kg/d) = \frac{Población(hab) * Carga\ per\ cápita(g/hab.d)}{1,000(g/kg)}$$

$$Carga(kg/d) = \frac{concentración(g/m^3) * Caudal(m^3/d)}{1,000(g/kg)}$$

$$Concentración(g/m^3) = \frac{carga(kg/d) * 1000(g/kg)}{Caudal(m^3/d)}$$

$$Concentración(g/m^3) = \frac{Carga\ per\ cápita(g/hab.d) * 1000(l/m^3)}{Dotación\ por\ persona(l/hab.d)}$$

Ejemplo

Calcular la carga orgánica contaminante con los datos siguientes:

Población = 2,000 hab.

Carga per cápita = 54 g DBO/hab.d

Caudal (Q) = 960 m³/d

Cálculo

Carga orgánica = 2,000*54/1,000

= **108** kg DBO/d

Concentración = 108*1,000/960

= 112.5 g/m³ (112.5 mg/L)

Nota: carga per cápita = 54 g/ha.d
g/m³ = mg/l

Población equivalente (PE)

Número de habitantes cuya polución orgánica (generalmente expresada en DBO) es igual a la causada por determinada carga (fuente) contaminante.

$$PE(hab) = \frac{\text{carga de DBO}(kg/d)}{\text{contribución per cápita de DBO}(kg/hab. d)}$$

Origen	Población Equivalente
Hombre	1.0
Vaca	16.4
Caballo	11.3
Gallina	0.014
Oveja	2.45
Cerdo	3.0

Fuente: José Carlos Derisio

Ejemplo:

Calcular la población equivalente de una industria, a partir de los siguientes datos:

Caudal = 50 m³/d (0.58 L/s)

Concentración de DBO = 3,000 mg/l (=3000g/m³)

Solución

Carga contaminante = Caudal * Concentración
= (50m³/d * 3,000g/m³) / 1,000g/kg
= 150 kgDBO/d

Carga per cápita = 54 g DBO/hab.d (0.054 kgDBO/hab.d)

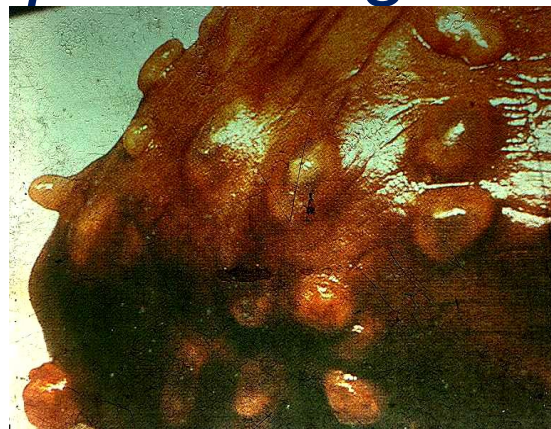
Población equivalente

PE = Carga contaminante / carga per cápita
= (150kgDBO/d) / (0.054kgDBO/hab.d)
= **2,778 hab.**

Ejemplo de enfermedades causadas por las Aguas residuales



EL COLERA



**CISTICERCUS EN
CORAZON**



**CISTICERCUS.EN EL
CEREBRO**



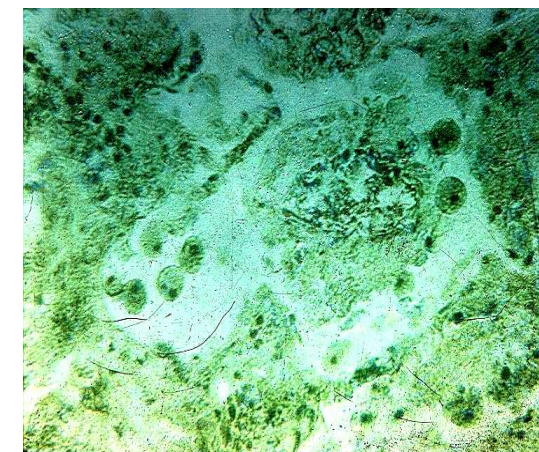
Aluminio



**INTESTINO INFECTADOS
CON.TRICHURIS**



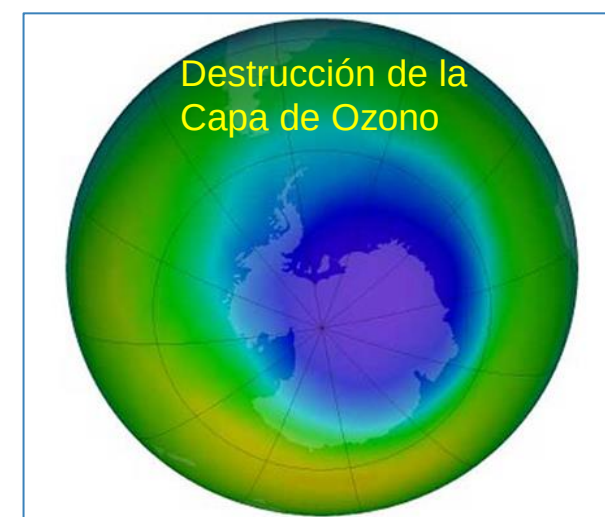
**INTESTINO CON ASCARIS
LUMBRICOIDES**



**QUISTES DE
BALANTIDIUM**



Problemas causados las aguas residuales en el ambiente



Objetivos del tratamiento de agua

- ➡ Proteger la salud humana.
- ➡ Proteger el recurso agua en sus diferentes usos.
- ➡ Proteger el ambiente.
- ➡ Cumplir con la normativa nacional



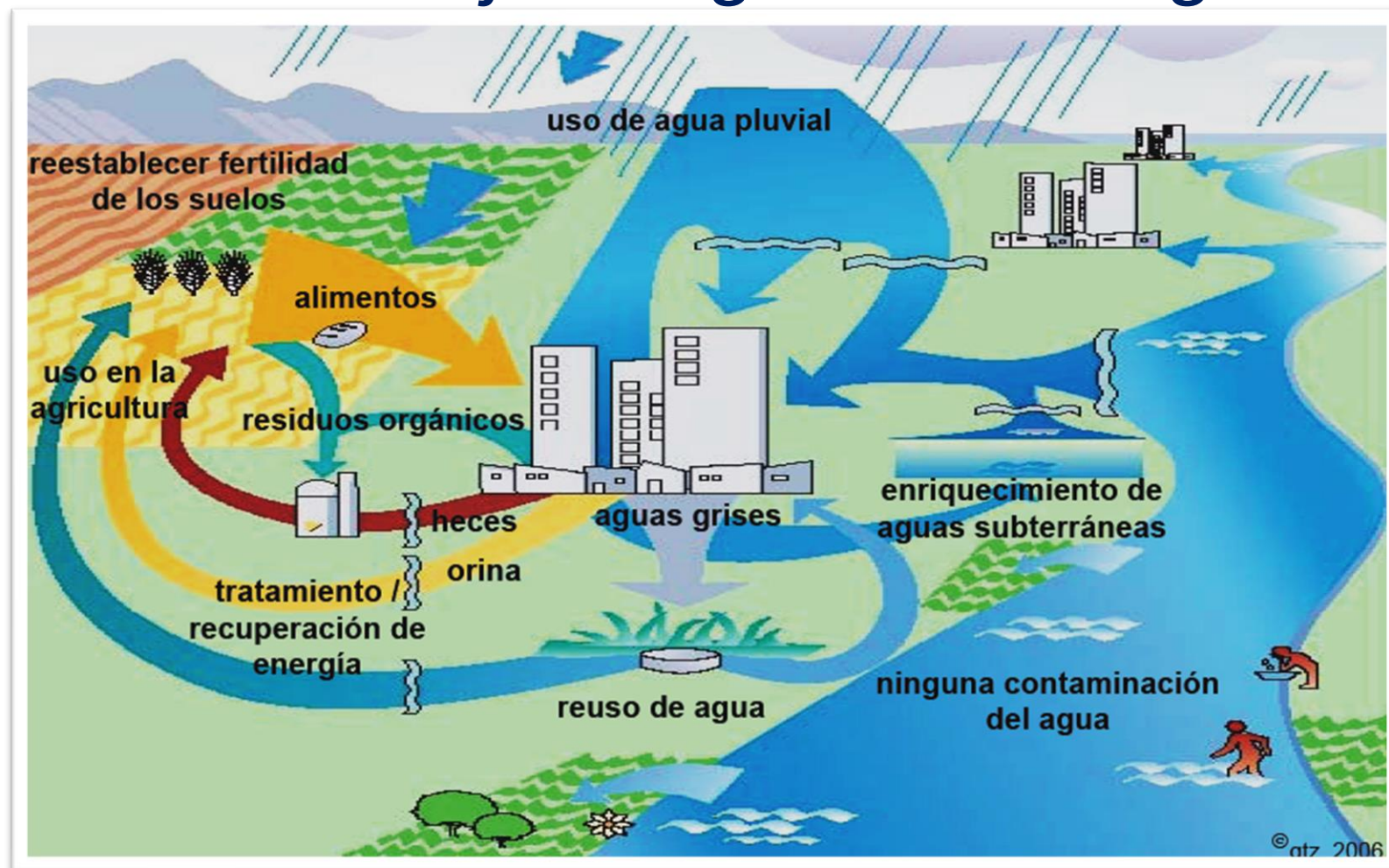


Importancia del tratamiento

- ✿ Reduce los gastos por enfermedades hídricas.
- ✿ Se reduce el gasto por eliminación de plagas.
- ✿ Evita la Disminución de la productividad por muertes y enfermedades.
- ✿ Evita la pérdida de recursos piscícolas por la destrucción de la fauna y flora.
- ✿ Reduce los gastos de Potabilización necesario para los usos posteriores a los vertidos.
- ✿ Se conservan los lugares para deportes y esparcimiento, y el valor de las tierras.
- ✿ Evita la pérdida de divisas generadas por el turismo.
- ✿ Evita las pérdidas de cosechas y la disminución de la fertilidad del suelo agrícola.
- ✿ Recuperación de materias y sustancias valiosas utilizadas en los procesos industriales
- ✿ Recirculación y reuso del agua en las Plantas industriales.

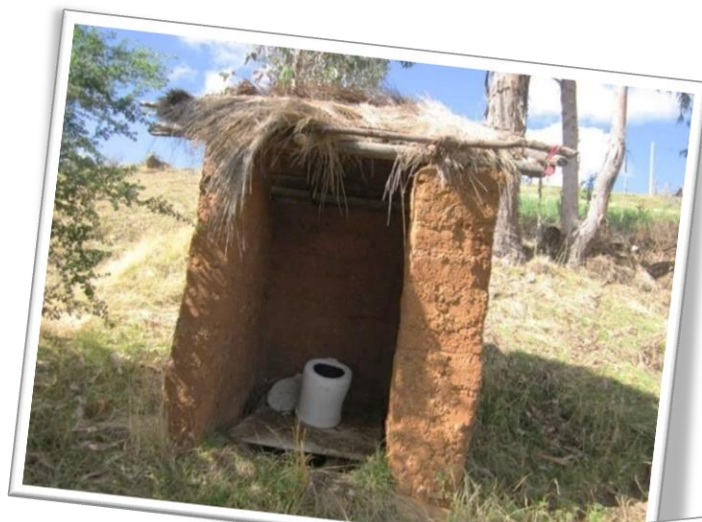


Manejo integral de las aguas residuales

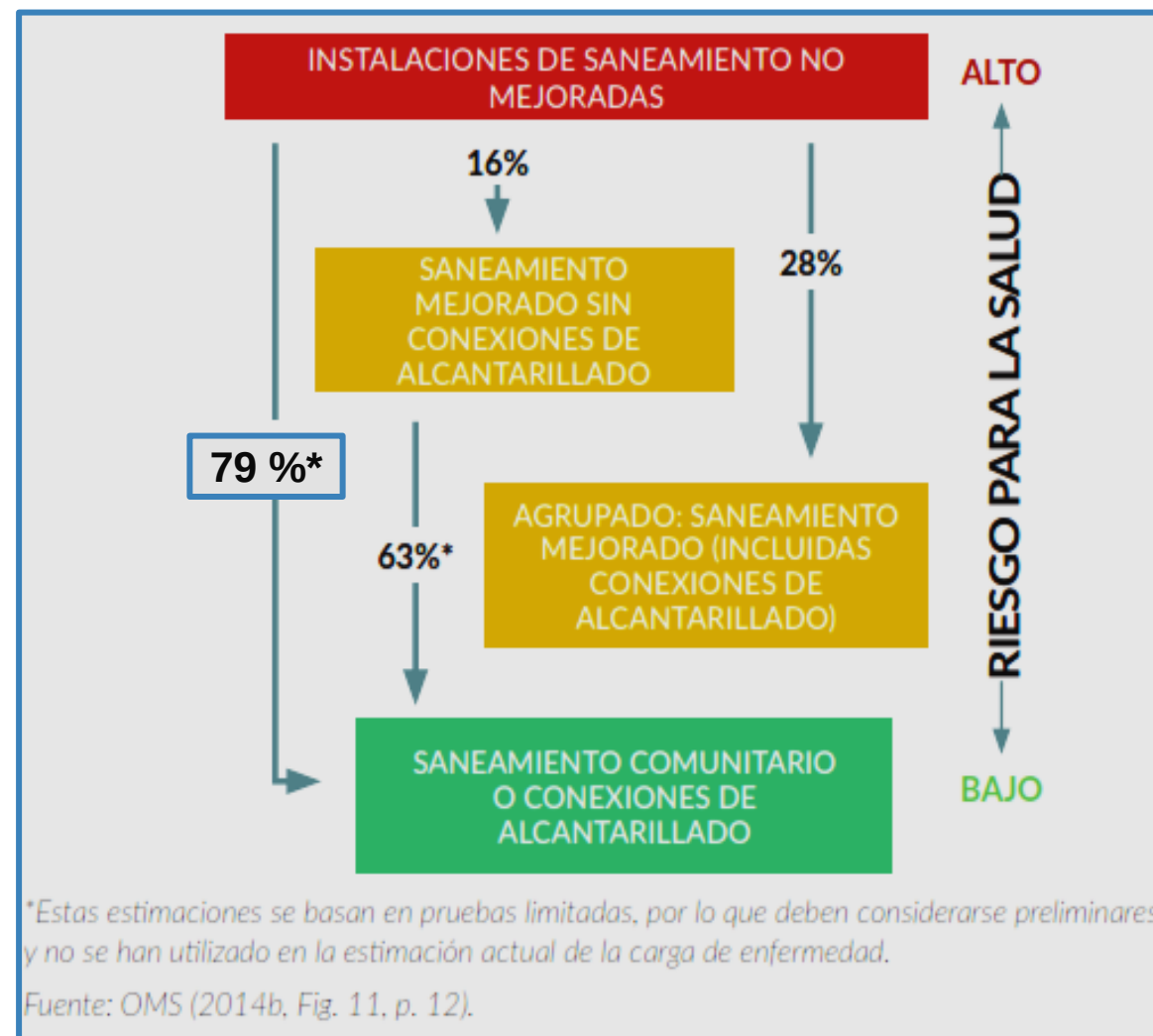


La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua, ya que la contaminación de las fuentes de agua puede excluir diferentes usos.

Riesgo Vrs. tratamiento de aguas residuales



Por cada dólar que se gasta en saneamiento, el retorno estimado para la sociedad es de USD 5,5.





Selección Tecnología de Tratamiento

REMOCIÓN DE:

O
B
J
E
T
I
V
O

MATERIA ORGÁNICA



NUTRIENTES

TECNOLOGIA APROPIADA
PARA PAÍSES INDUSTRIALIZADOS

PARÁSITOS



BACTERIAS Y VIRUS



PATÓGENOS

LAGUNA DE
ESTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTOS
NATURALES

COSTO: INVERSIÓN + OPERACIÓN + MANTENIMIENTO



Selección del tipo de tratamiento en base al contaminante presente

Contaminante	Operación o proceso utilizado
Sólidos Suspendidos	- Desbaste y dilaceración - Desarenado - Sedimentación - Filtración - Flotación - Adición de polímeros - Coagulación / sedimentación - Sistemas naturales
Materia orgánica Biodegradable	- Variante de fangos activos - Película fija, filtros percoladores, biodiscos - Lagunas de estabilización - Filtración intermitente en arena - Sistema físico químico - Sistemas naturales

Contaminante	Operación o proceso utilizado
Compuestos Orgánicos Volátiles	- Arrastre por aire - Tratamiento de gases - Adsorción en carbón
Patógenos	- Cloración - Hipo cloración - Cloruro de bromo - Ozonización - Radiación ultra violeta - Sistemas naturales
Metales pesados	- Precipitación química - Intercambio iónico - Sistemas de tratamiento evacuación al terreno
Sólidos Inorgánicos Disueltos	- Intercambio iónico - Osmosis inversa - Electrodialisis

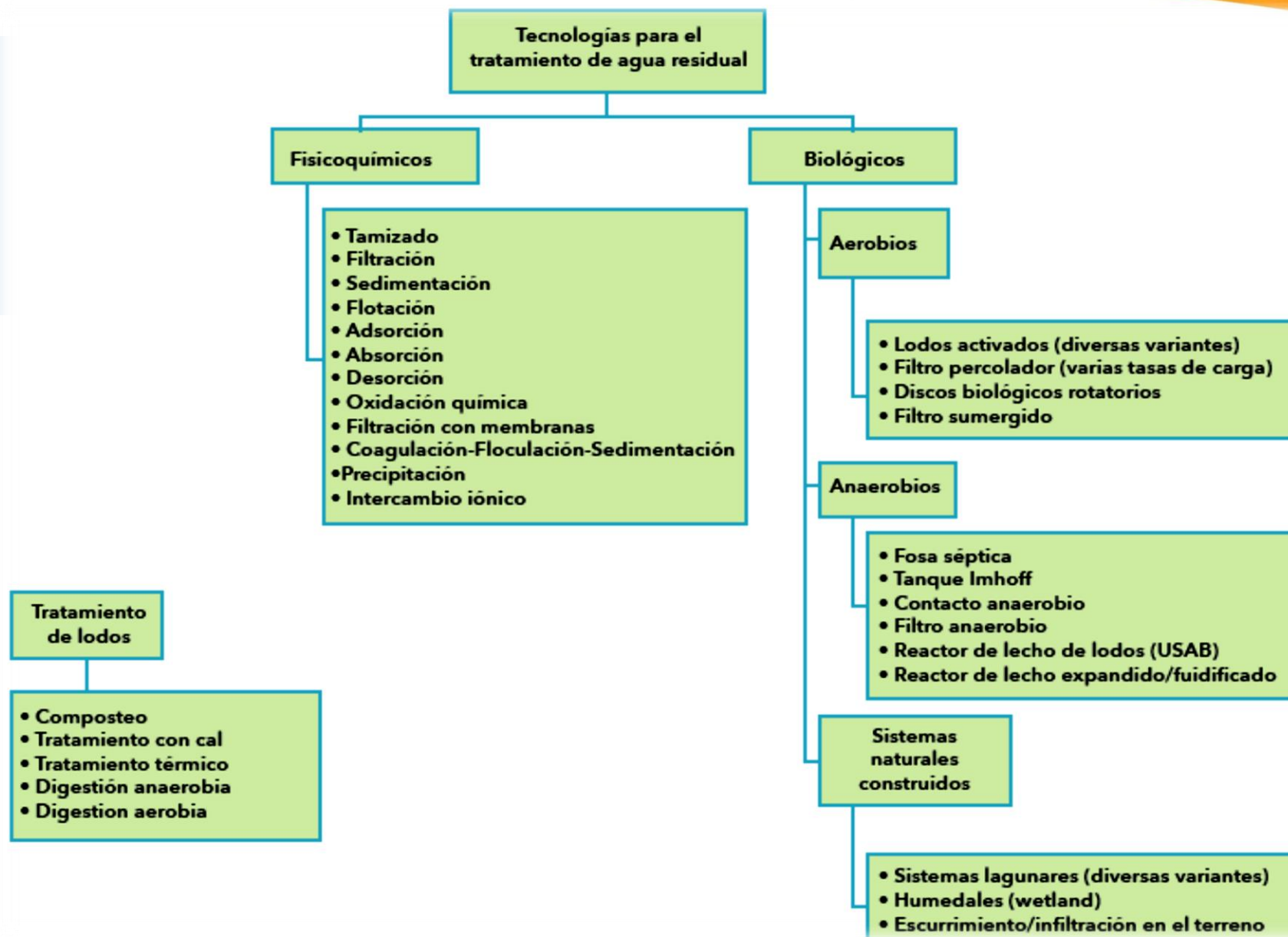
Norma Nacional para Cuerpos Receptores

Decreto No 058 del 9 de Abril de 1996.
vigente desde el 13 de Diciembre de
1997.

Parámetro	Concentración máxima
Sólidos sedimentables	1.0 mg/l/h
Sólidos suspendidos	100.00 mg/l
DBO	50.00 mg/l
DQO	200.00 mg/l
Grasas y aceites	10.00 mg/l
Nitrógeno total Kjeldahl	30.00 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	20.00 mg/l
Fósforo total	5.00 mg/l
Coliforme Fecal	5,000/100ml
Color	< 200 UC
Material flotante y espumas	Ausente



Tecnologías de tratamiento

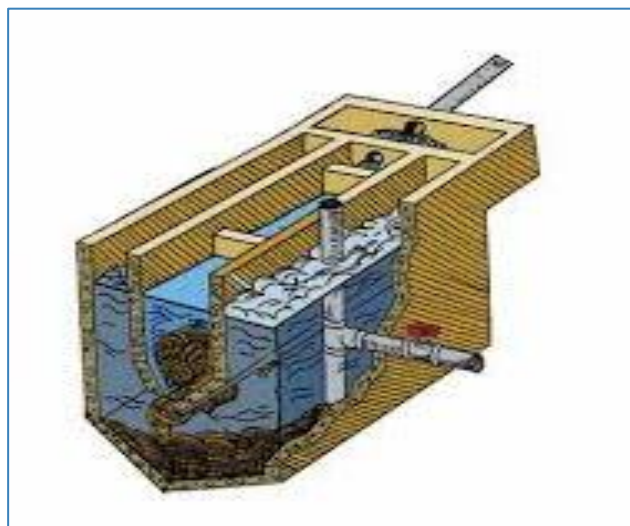
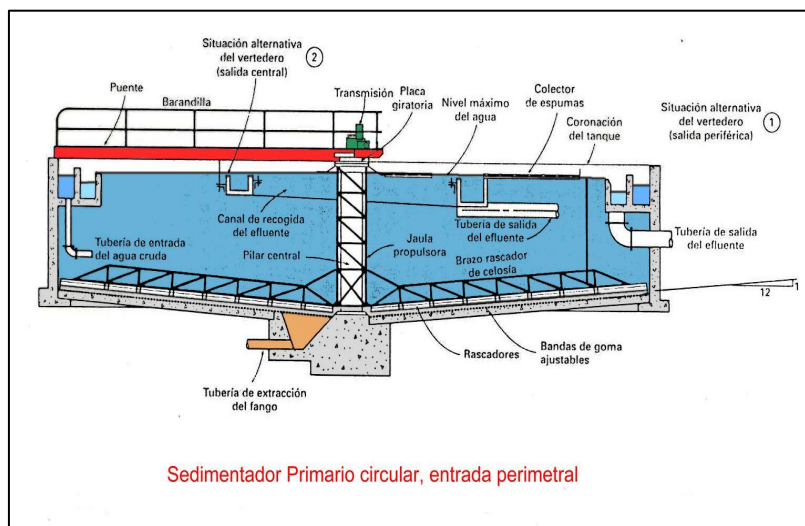


Tratamiento Primario

Elimina una fracción de los **Sólidos Suspendidos** y de la **Materia Orgánica** del agua residual.-
Esta eliminación suele llevarse acabo mediante operaciones físicas tales como:

- ☐ **Tamizado**
- ☐ **Sedimentación**

El efluente resultante contiene una cantidad considerable de: **Materia Orgánica y alta DBO**



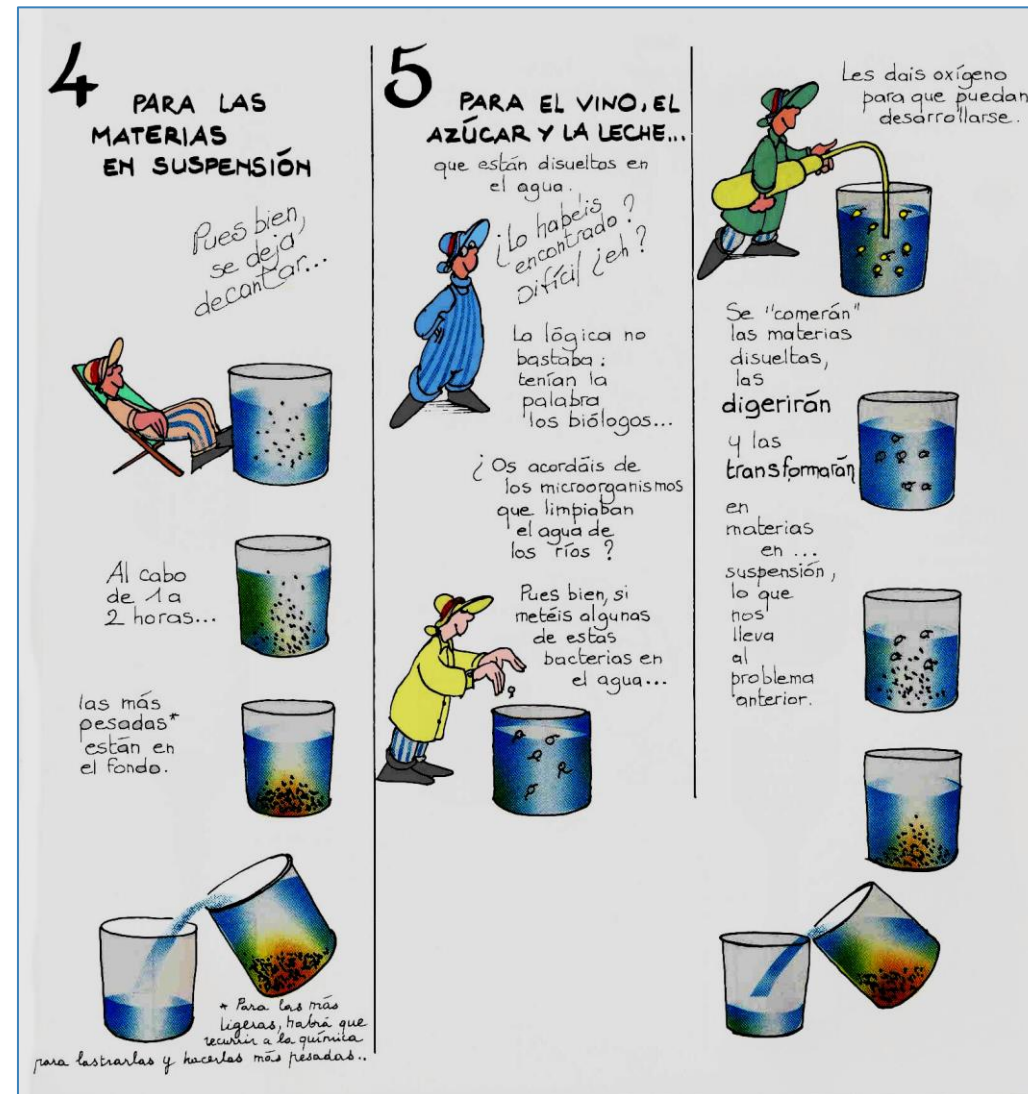


Tratamiento secundario

Está principalmente encaminado a la eliminación de:

- ✓ Sólidos en Suspensión y
- ✓ Compuestos Orgánicos Biodegradables

Aunque a menudo se incluye la Desinfección como parte del tratamiento secundario.





Tratamiento Terciario o Avanzado

Es el nivel de tratamiento necesario, después del tratamiento Secundario Convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención como los: Nutrientes, Compuestos Tóxicos, excesos de Materia Orgánica y Sólidos en Suspensión.

Ejemplo de estos procesos son:

- Eliminación de nutrientes (Humedales)
- Coagulación Química, Floculación, Sedimentación y Filtración y carbón activado
- Intercambio Iónico
- Osmosis Inversa





Sistema de Tratamiento de aguas residuales





Eliminación esperada de microorganismos

Reducción de, órdenes de magnitud o unidades logarítmicas				
Proceso de tratamiento	Bacterias	Helminetos	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
Laguna de estabilización	1 - 6	1 - 3	1 - 4	1 - 4

Fuente: Feachem et al (1983)

Eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en porcentaje

UNIDADES DE TRATAMIENTO	EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONSTITUYENTES, PORCENTAJE						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH ₃ -N	Patógenos
Rejillas	desp ¹ .	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	desp.	desp.	desp.	desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	desp.
Filtros percoladores							
Alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	desp.
Super tasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	
Cloración	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	—	—	desp.
Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50-70	—	20-60	—	—	—	90-99.99
Lagunas aireadas	80-95	—	85-95	—	—	—	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	—	63-75	30	—	—	90-99.99
Lagunas de maduración	60-80	—	85-95	—	—	—	90-99.99
Ultravioleta	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	desp.	100

(1) desp.: despreciable



Campo de aplicación de las diferentes alternativas de depuración (Collado 1991)

Alternativa	Población Equivalente							
	100	200	500	1000	2000	5000	10000	>10000
Fosa Séptica	3	2	1					
Tanque Imhoff	3	3	2	1				
Zanja filtrante	3	3	3	2	2	1		
Lecho filtrante	3	3	3	2	2	1		
Pozo filtrante	3	3	3	2	2	1		
Lecho de juncos	1	2	3	3	3	2	1	1
Lag. aireada			1	2	3	3	3	3
Lag. aeróbica	1	1	2	3	3	3	2	2
Lag. facultativa	1	2	3	3	3	3	2	2
Lag. anaeróbica	2	2	3	3	3	3	3	2
Filtro percolador	1	2	3	3	2	2	2	2
Aireación prolongada	2	2	3	3	3	3	3	2
Canal de oxidación				2	3	3	3	3

Fuente: Collado 1991

Nota: 1= poco, 2 = medio 3 = mucho



Superficie necesaria por tipo de Tratamiento (Collado 1991)

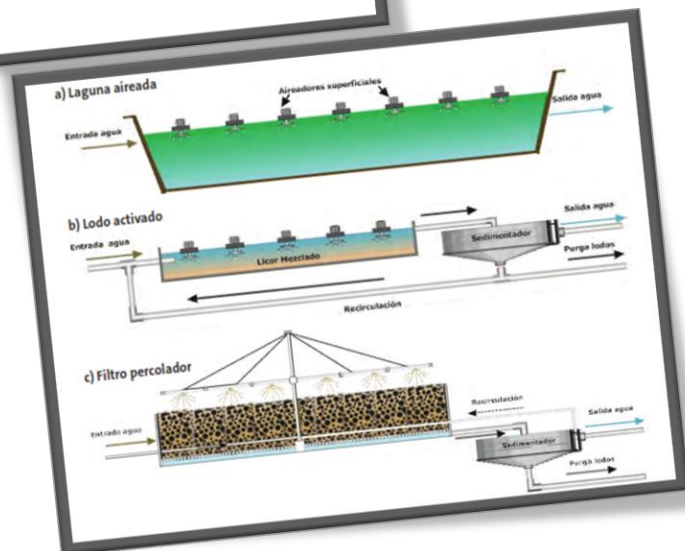
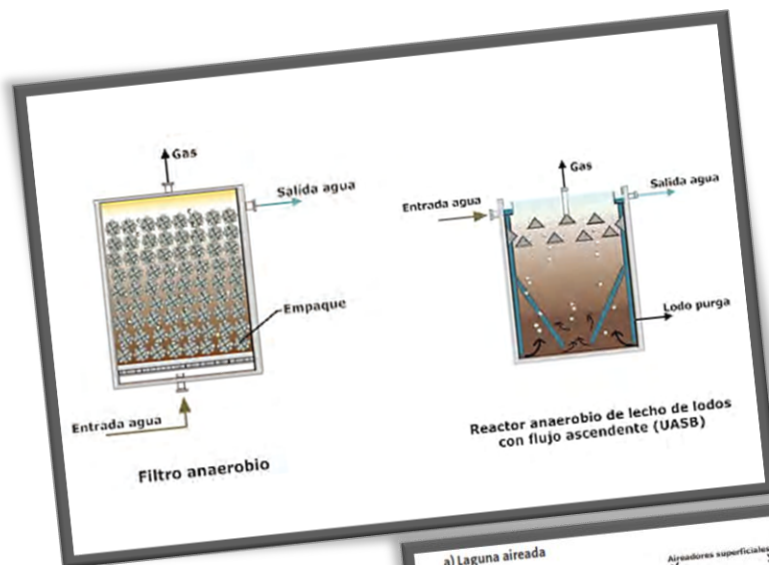
Tipo de tratamiento	Superficie necesaria (m ² /Hab.)
Fosa Séptica	0.1 – 0.5
Tanque Imhoff	0.05 – 0.1
Zanja filtrante	6 – 66
Lecho filtrante	2 – 25
Pozo filtrante	1 – 14
Lecho de juncos	2 – 8
Lag. aireada	1 – 3
Lag. aeróbica	4 – 8
Lag. facultativa	2 – 20
Lag. anaeróbica	1 – 3
Lag. Anaeróbica + facultativa	2 – 12
Filtro percolador	0.5 – 0.7
Aireación prolongada	0.2 – 1.0
Canal de oxidación	1.2 – 1.8

Cantidad y concentración de fangos (Collado 1990)

Proceso	Cantidad (l/m ³ A.R.)	Concentración (%)
Primario	2.0 – 3.0	4 - 6
Tratamiento previo		
Fosa séptica	0.9 – 2.0	10
Tanque Imhoff	1.5 – 2.0	10 – 12
Procesos de biopelícula		
Lechos bacterianos	1.0 – 3.0	2 – 4
Biodiscos	1.0 – 3.0	2 – 6
Aireación prolongada	3.0 – 7.0	1.5 – 2.0
Lagunaje natural	1.0 – 2.0	10
Lagunaje aireado	1.0 – 2.5	-
Aplicación al terreno	Los del tratamiento previo	
Físico químico	6.0 – 25.0	0.5 – 10.0



Características de algunas tecnologías



COSTO DE INVERSIÓN

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

COSTO BAJO

COSTO ALTO

COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

COSTO BAJO

COSTO ALTO

ÁREA PARA SU CONSTRUCCIÓN

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

COSTO BAJO

COSTO ALTO

COMPLEJIDAD DE LA TECNOLOGÍA

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

COSTO BAJO

COSTO ALTO

POTENCIAL PRODUCCIÓN DE OLORES

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

COSTO BAJO

COSTO ALTO

GENERACIÓN DE LODOS

LODOS ACTIVADOS					
FILTRO ANAEROBIO					
LAGUNAS					
UASB					
BIODISCOS					
FILTRO PERCOLADOR					

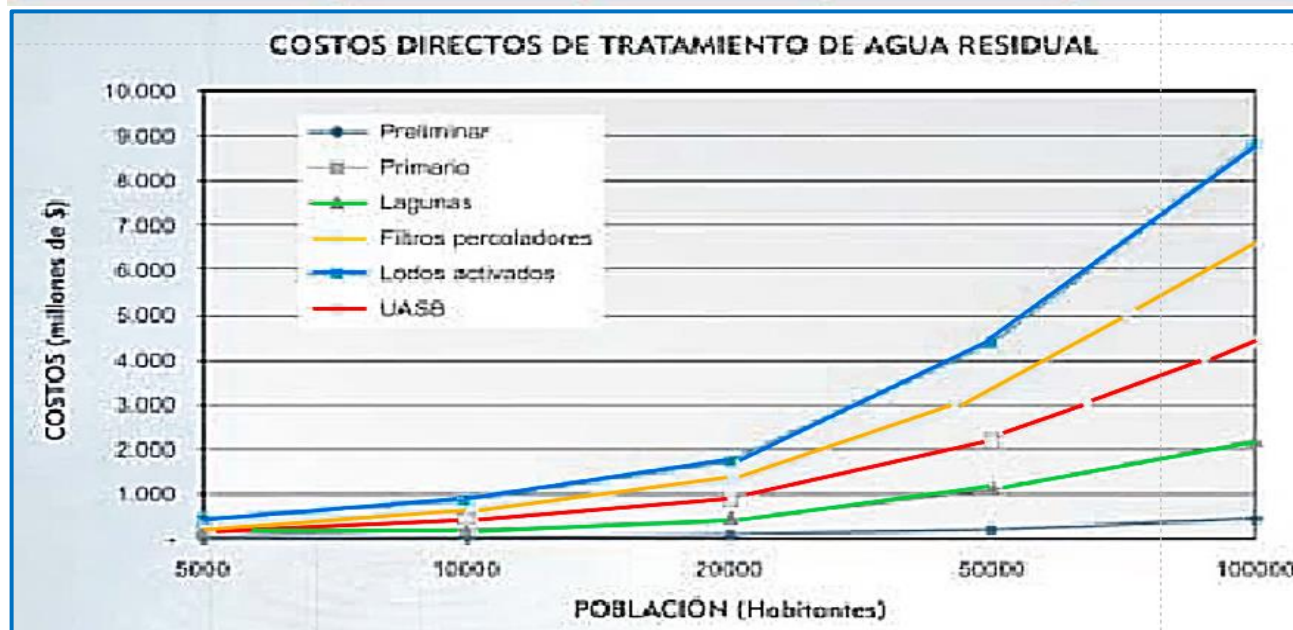
COSTO BAJO

COSTO ALTO

Costos de inversión y operación en sistemas de tratamiento

PROCESO	(\$/HAB)		(US \$ /HAB)	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Preliminar	4,400	17,600	2	8
Primario	44,000	66,000	20	30
Lagunas	22,000	66,000	10	30
Filtros percoladores	66,000	132,000	30	60
Lodos activados	88,000	264,000	40	120
UASB	44,000	88,000	20	40

TRATAMIENTO	RANGO DE COSTO US\$/HAB - AÑO
Preliminar	0.07 - 0.30
Sedimentación primaria	0.15 - 0.27
Filtros percoladores y lodos activados	0.23 - 0.81
Lagunas aireadas	0.23 - 0.41
Lagunas facultativas	0.07 - 0.33
Lagunas anaeróbicas	0.07 - 0.27
Lechos de secado	0.31 - 2.08



Fuente: Seminario internacional. tratamiento de aguas residuales, Cartagena - 1992



Receso No. 1

Preguntas

Procesos Biológicos Unitarios

Eliminan la contaminación por medio de la actividad biológica, su principal aplicación es la **eliminación de materia orgánica biodegradable**, que se convierte en gas y en tejido celular biológico. También se emplean para **eliminación de nutrientes**.

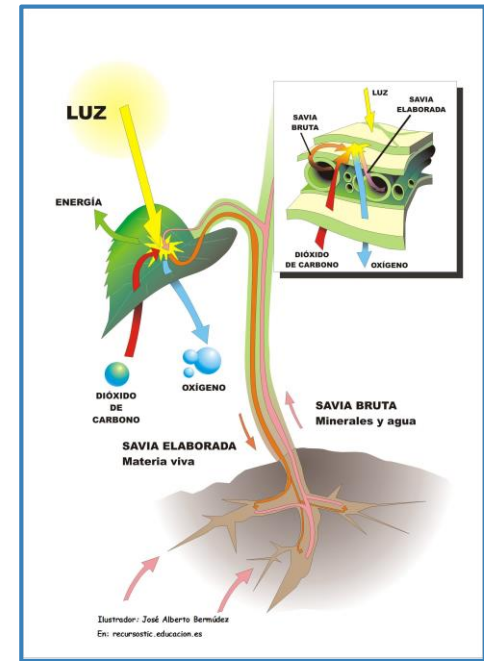
Procesos biológicos

- ✿ Lagunas de estabilización, Anaerobias, Aerobias, Facultativas y de Maduración.
- ✿ Lagunas aireadas
- ✿ Filtros percoladores.
- ✿ Filtros anaerobios.
- ✿ Reactor anaerobio de flujo ascendente.
- ✿ Contactores biológicos rotativos (RBC).
- ✿ Reactor intermitente secuencial (SBR)
- ✿ Aireación prolongada.
- ✿ Lodos activados.

Fundamentos de Microbiología

Para poder realizar sus funciones vitales los microorganismos necesitan:

- ❖ Una fuente de energía = Sol (fotosíntesis) y Reacción orgánica de oxidación – reducción
- ❖ Una fuente de Carbono = Materia Orgánica y CO_2
- ❖ Nutrientes inorgánicos = Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Potasio, Calcio, Magnesio, y orgánicos Aminoácidos, Purinas



Clasificación de los microorganismos según la fuente de Energía y de Carbono

Clasificación

Fuente de Energía

Fuente de Carbono Celular

Autótrofos

a) Fotoautótrofos

Luz

CO₂

b) Quimiautótrofos

Reacción de oxidación
reducción inorgánica

CO₂



Heterótrofos

a) Quimioeterótrofos
Orgánico

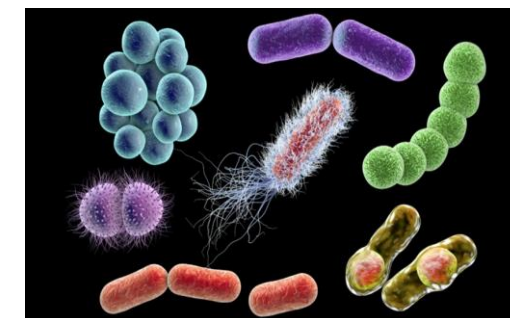
Reacción de oxidación
reducción orgánica

Carbono

a) Fotoheterótrofos
Orgánico

Luz

Carbono

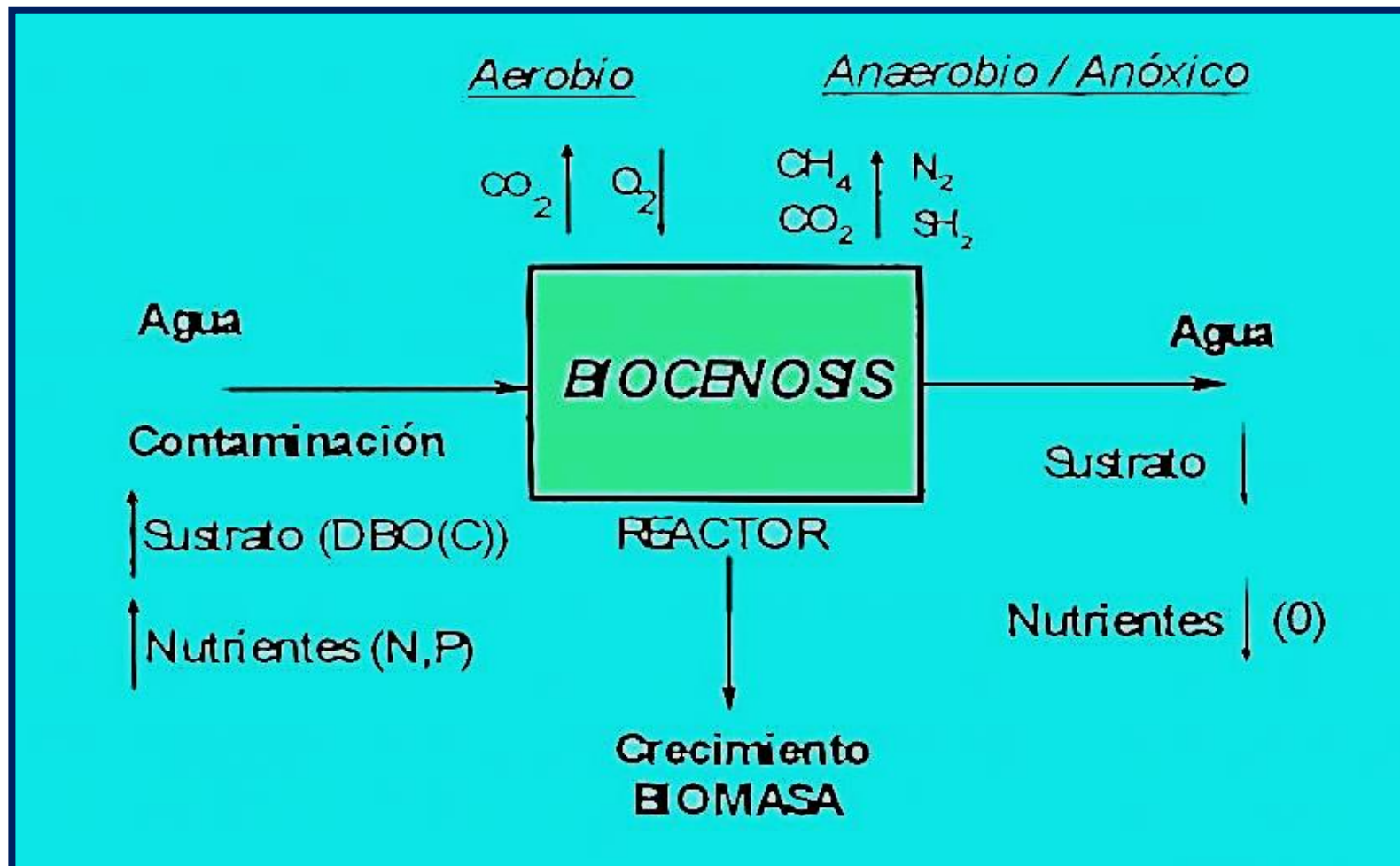
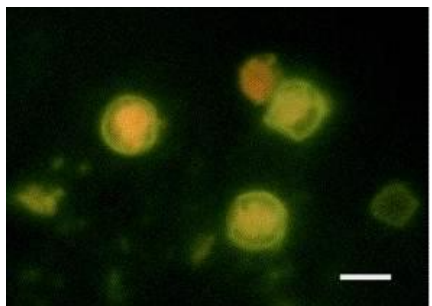


Microorganismos más importantes en los procesos biológicos



- ❑ **Bacterias** = Protistas unicelulares, heterótrofos que **metabolizan materia orgánica soluble**, tamaño de 1 a 15 μm , fórmula aproximada $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$, clasificación: Criófilas (0- 30°C), mesófilas (20 - 45°C), termófilas (45 – 70°C)
- ❑ **Hongos** = Protistas heterótrofas, no fotosintéticas, multicelulares, y la mayoría aeróbicos estrictos, crecen con poca humedad y toleran un rango amplio de pH(2 a 4), **compiten con las bacterias**.
- ❑ **Algas** = Son protistas unicelulares o multicelulares, **autótrofos**, y fotosintéticos **producen Oxígeno** mediante el mecanismo de fotosíntesis.
- ❑ **Protozoos** = Son protistas móviles microscópicos y por lo general unicelulares la mayoría son **heterótrofos** aeróbicos, **suelen consumir bacterias** como fuente de energía y partículas orgánicas
- ❑ **Rotíferos** = Son animales aeróbicos, **heterótrofos** y multicelulares, **consumen bacterias** dispersas y floculadas y pequeñas partículas de **materia orgánica**.
- ❑ **Crustáceos** = Son animales aeróbicos, **heterótrofos**, multicelulares, sirven de alimento a los peces y su presencia **indica que el efluente está bajo contenido de materia orgánica y rico en oxígeno disuelto**

Fundamentos de los procesos Biológicos



Procesos de Oxidación biológica

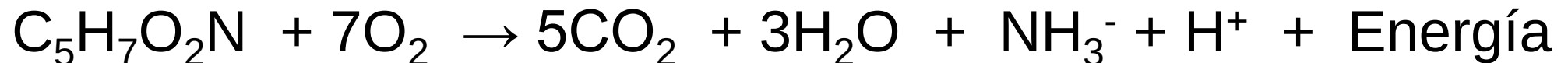
1. Reacciones de Síntesis



2. Reacciones de Oxidación (respiración endógena)



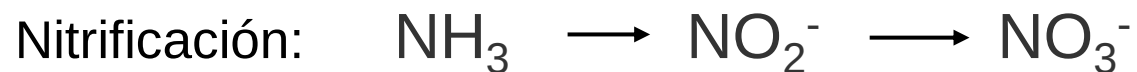
En caso de Nitrificación





Proceso de Nitrificación

Es el proceso bacteriano en el cual el nitrógeno orgánico y amoniacal, se oxidan transformándose en nitrito y posteriormente en nitrato.



La aparición del proceso de nitrificación en el seno de los tratamientos biológicos aerobios, requiere de los siguientes factores:

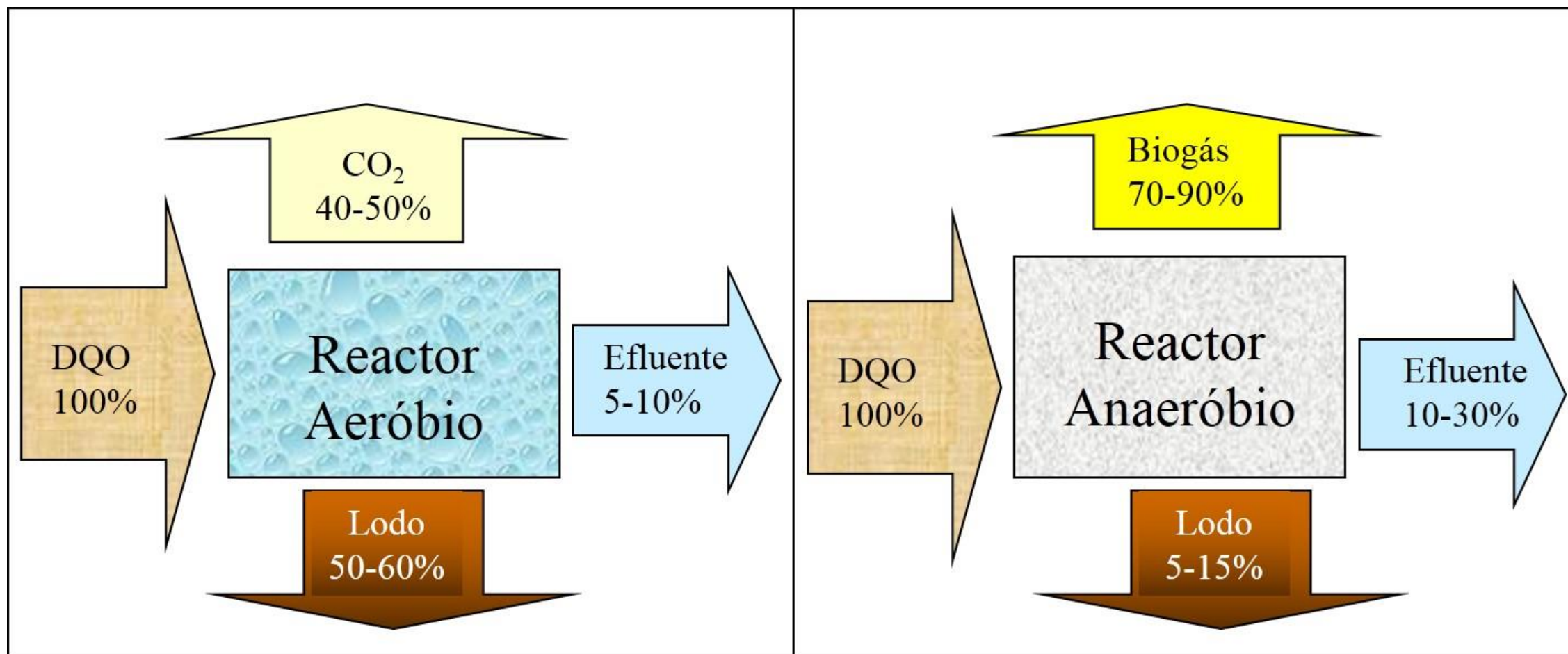
➤ Edad de fango elevada, $E = 12.0 \times 1,123^{15-T}$

E = edad del fango en días

T = temperatura del licor mixto(°C)

- Aportación de oxígeno suplementaria, el oxígeno disuelto como mínimo debe ser 2.0 mg/l.
- pH y Alcalinidad, el pH óptimo se sitúa entre 7.2 y 8.5.
- La alcalinidad siempre debe ser mayor de 40gr/l (expresado en CO_3Ca), preferiblemente mayor de 100.0gr/l.

Conversión biológica en los sistemas Aerobios y Anaerobios



Fosa Séptica

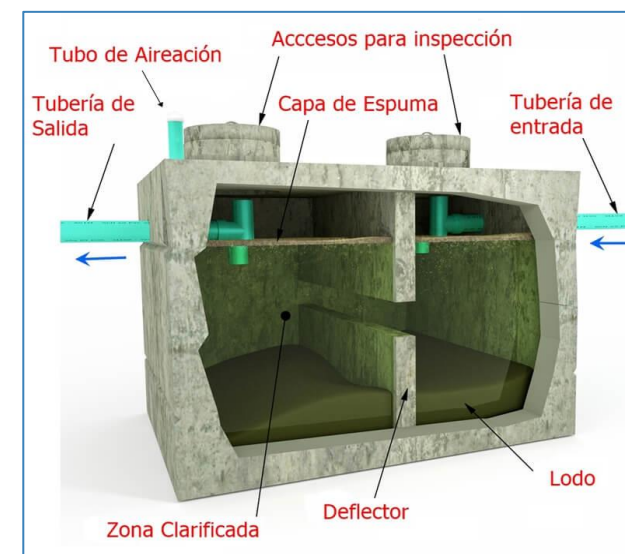
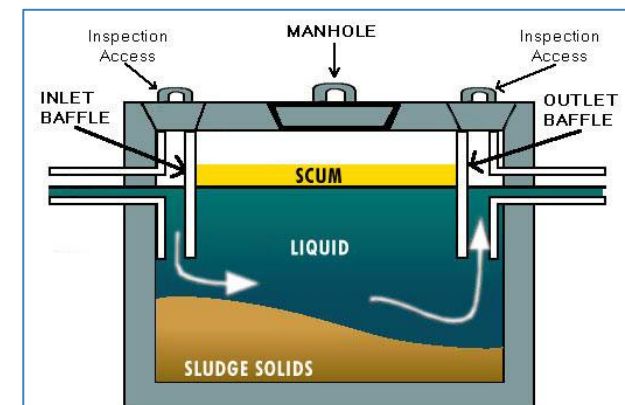
Introducción

Es uno de los más útiles y satisfactorios procedimientos para la disposición de excretas y otros residuos líquidos provenientes de **viviendas individuales, pequeños grupos de casas o instituciones** situados en zonas rurales donde no existen sistemas de alcantarillados.

Descripción

Mientras las aguas residuales se mantienen en reposo, los sólidos más pesados se depositan en el fondo formando lodo o fango, la mayoría de los sólidos ligeros, como las grasas, permanecen en el agua en la parte superior de la fosa formando una capa de espuma, mientras el efluente se lleva los sólidos no sedimentables al final del sistema de evacuación, que se puede reducir empleando Fosas de dos compartimientos o instalando una cámara de filtración.

Los sólidos retenidos (materia orgánica) en el fondo de la fosa séptica sufren a través de las bacterias y hongos una descomposición anaeróbica y facultativa que los convierten a compuestos y gases más estables tales como el dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), y sulfuro de hidrógeno (H_2S), el resultado más importante del proceso es una **considerable reducción en el volumen de sedimento**.

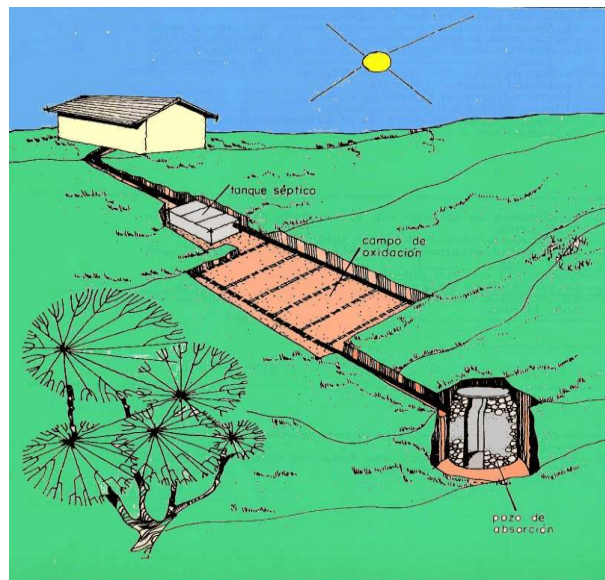


Ventajas y desventajas de la Fosa Séptica

Desventajas de la fosa Séptica

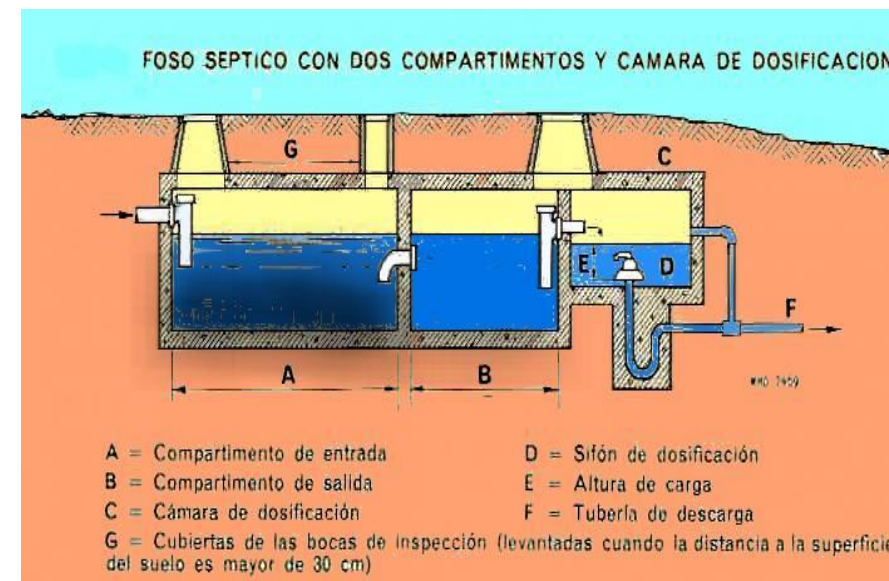
- Malos olores.
- Acumulación de grasas y flotantes.
- Por ser un tratamiento primario se necesita tratar su efluente.
- Limitada remoción de patógenos
- Se tiene que vaciar cuando se llena.

El proceso que se desarrolla en el interior de la fosa **constituye el tratamiento primario** de los residuos brutos y el que se efectúa en la zona de evacuación es el tratamiento secundario.



Ventajas

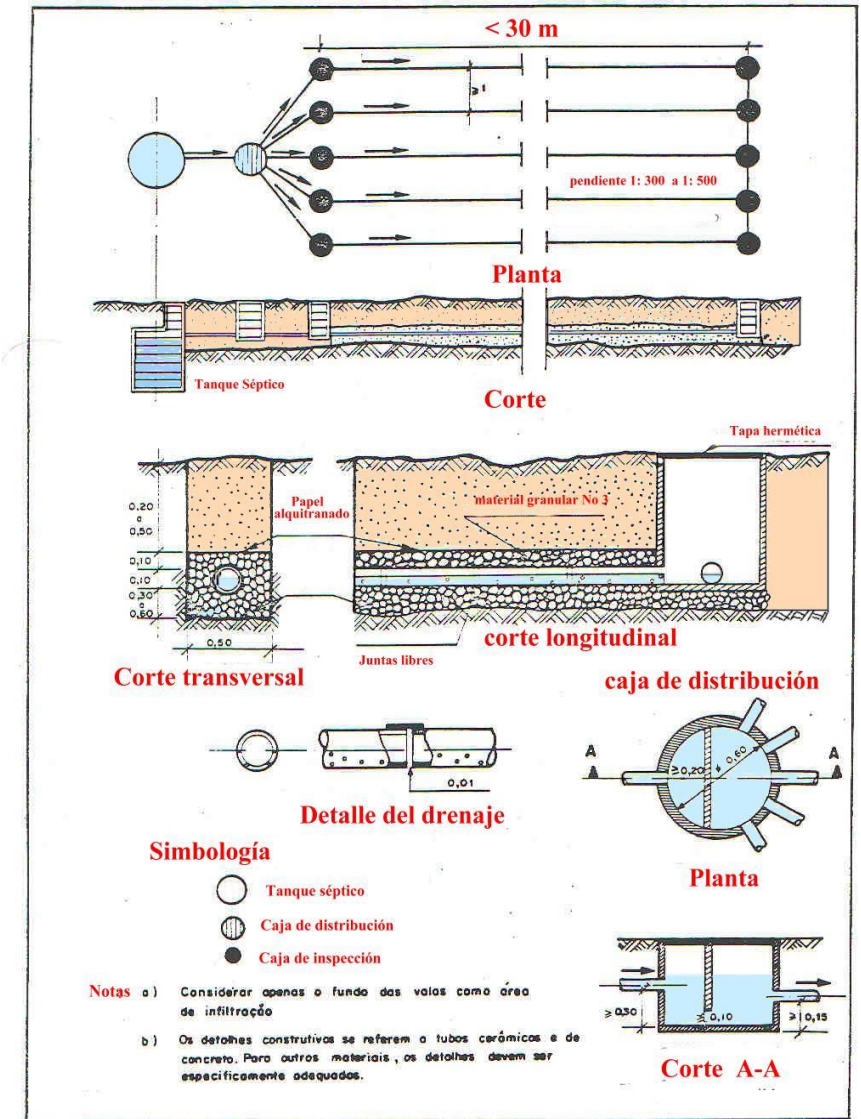
- Fácil de operar
- Es aplicable donde no existe alcantarillado
- No requiere equipamiento
- Fácil de construir



Zanjas de Infiltración

Descripción

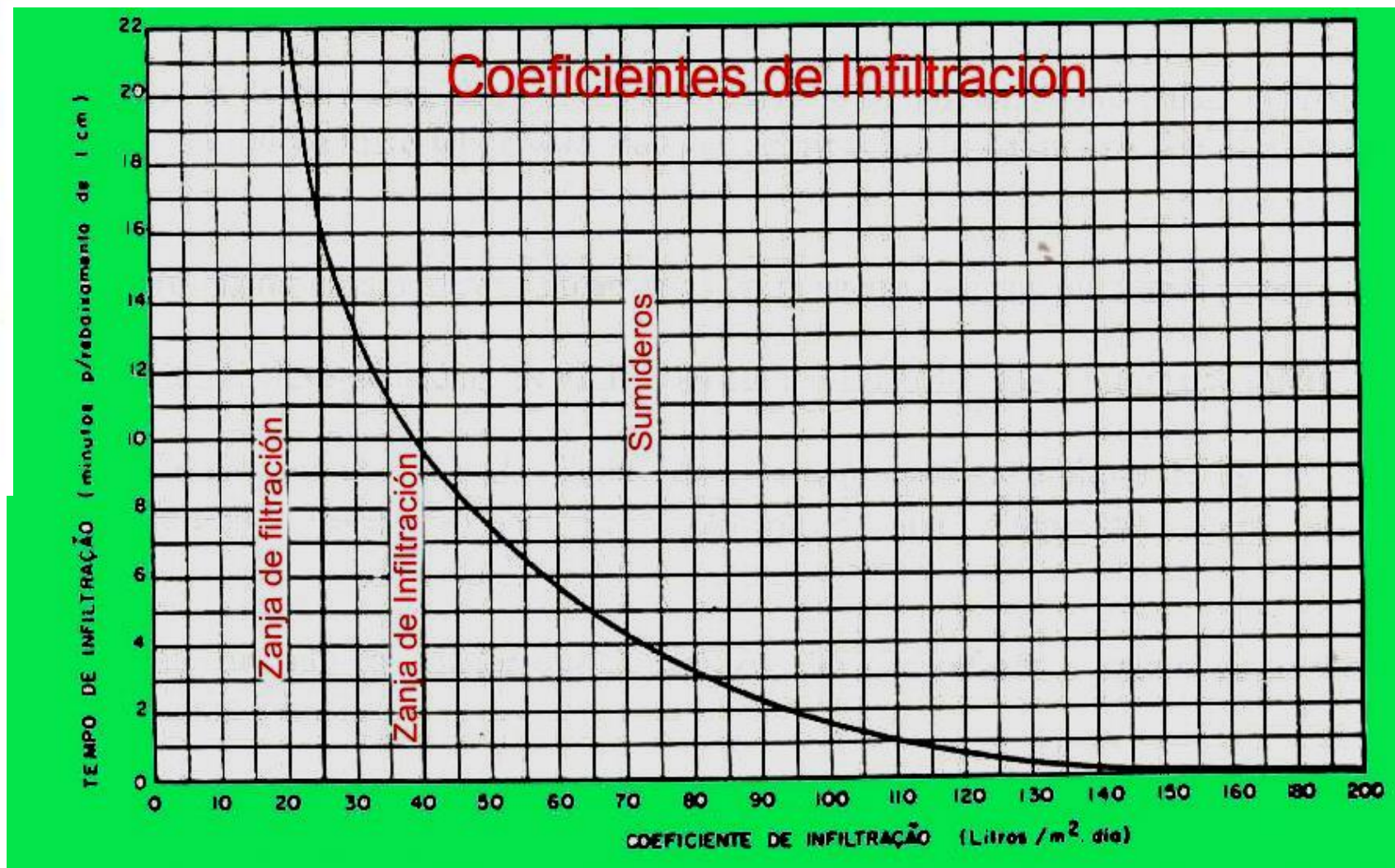
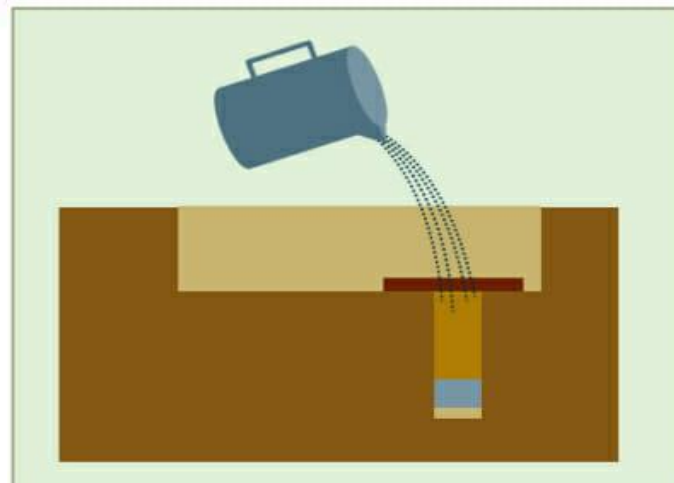
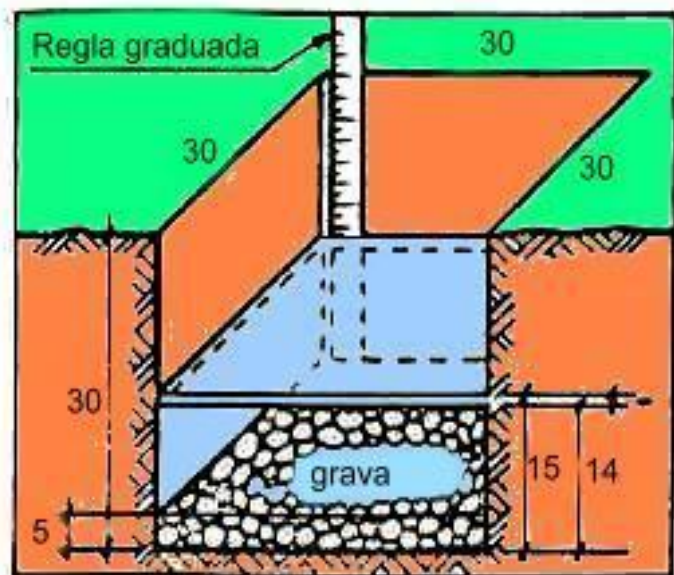
Consisten en aberturas hechas en el terreno, con profundidades que varían entre **0.60** a **1.0** m y un ancho de **0.50** a **1.0** m. En estas Zanjas se debe instalar tubería perforada, con un diámetro mínimo de **0.10** m, que debe estar recubierta con material granular correspondiente al tamiz No **3**, la cama de piedra bajo la tubería debe tener un espesor que varié entre **0.30** a **0.60** m. Además de lo anterior se deben seguir las recomendaciones siguientes:



Zanja de infiltración

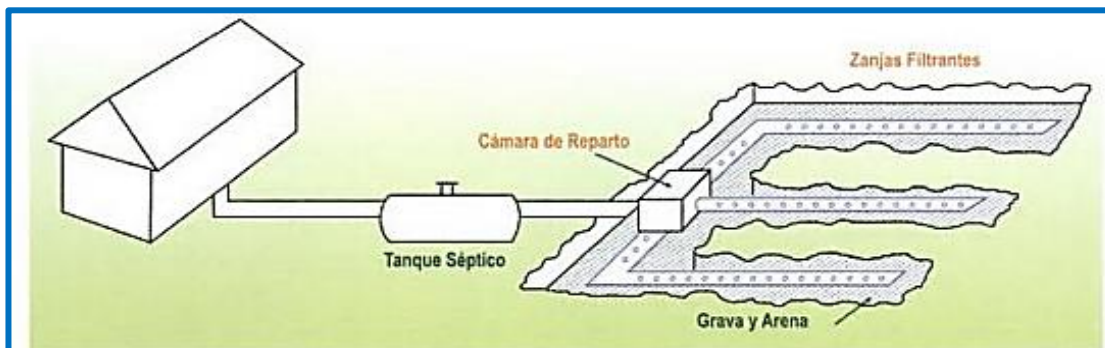


Prueba de Infiltración



Tasa de aplicación en función del tipo de terreno(EPA 1980)

Textura del suelo	Tasa infiltración (min/cm)	Tasa aplicación (m ³ /m ² .d)
Arena gruesa – grava	<0.40	No utilizable
Arena media - gruesa	0.40 - 2	0.048
Arena fina - margosa	2 – 6	0.030
Marga arenosa – marga	6 – 12	0.024
Marga – marga porosa	12 – 24	0.018
Marga arcillosa	24 – 48	0.008
Terreno impermeable	> 48	No utilizable



Fuente: Adaptado de: Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.

TABLA 18. Relación área de campo de oxidación y tipo de suelo.

Tipo de suelo	Permeabilidad, K (cm/h)	Tasa de aplicación (L/m ² /día)	Área total necesaria (m ² /m ³ /día)
Arenoso-grueso	> 5	57	17,5
Arenoso-fino	3,8 – 5	49	20,4
Franco-arenoso	2,5 - 3,8	41	24,5
Franco	1,9 - 2,5	29	35,0
Franco-arcilloso	1,3 – 1,9	24	49,0
Franco-arcilloso-limoso	0,8 – 1,3	16	61,3
Arcilla no expansiva	0,5 – 0,8	8	122,5
Arcilla expansiva	0,25 – 0,5	4	196,0
Arcilla pobre	< 0,25	3	326,8

Fuente: Recomendaciones para la Disposición de Residuos, Agencia de Protección Ambiental, EPA. USA, 2005.

Zanja de filtración

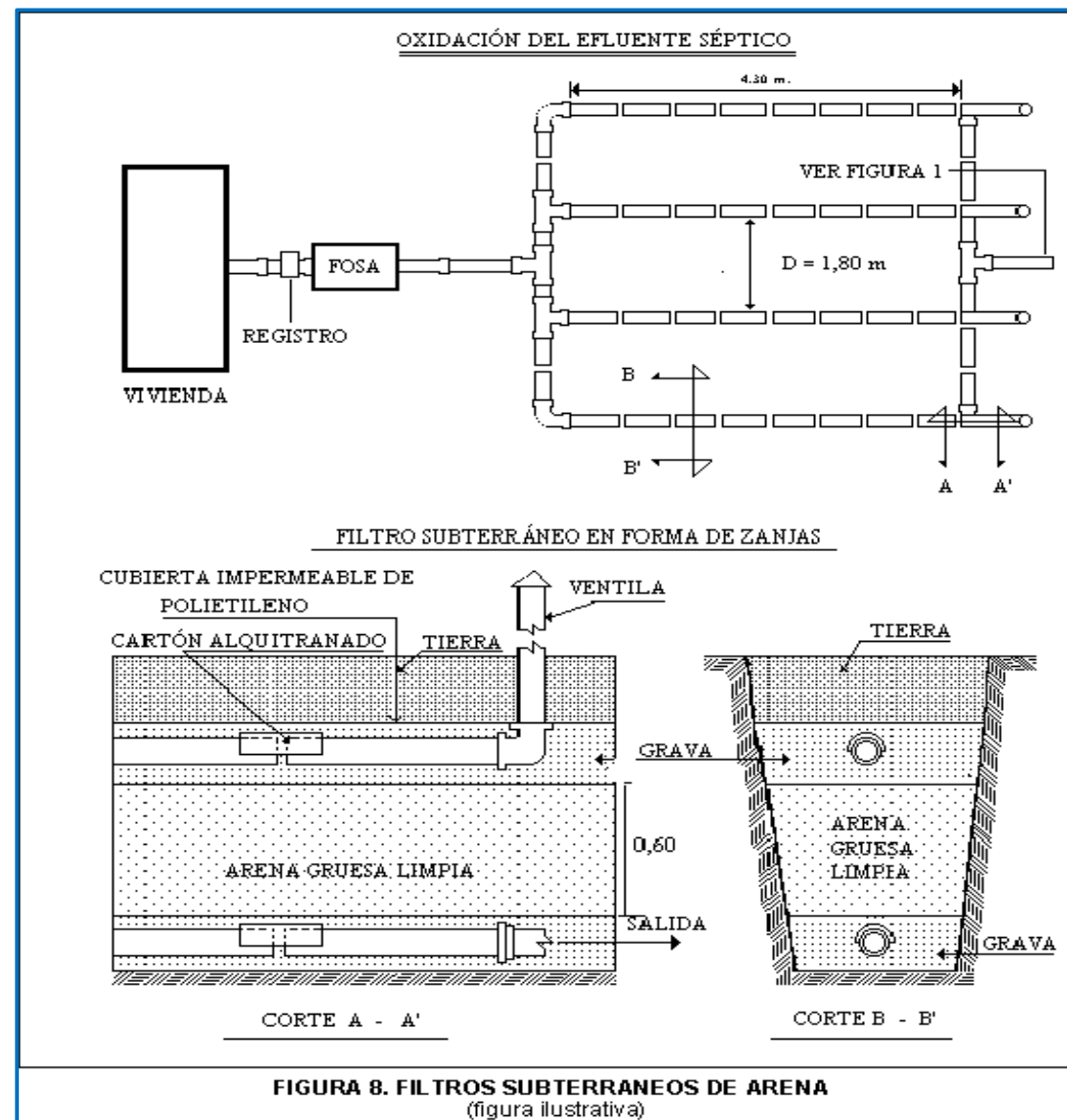
Se construyen en:

- **suelos compactos e impermeables** (suelos arcillosos) en el que el coeficiente de infiltración es superior a **60** min/cm.
- En lugares donde el agua subterránea asciende en ocasiones hasta **90** cm de la superficie del suelo.
- Cuando el terreno disponible para la irrigación del subsuelo es demasiado pequeño.

La zanja de arena filtrante es mas ancha que la zanja ordinaria de infiltración.

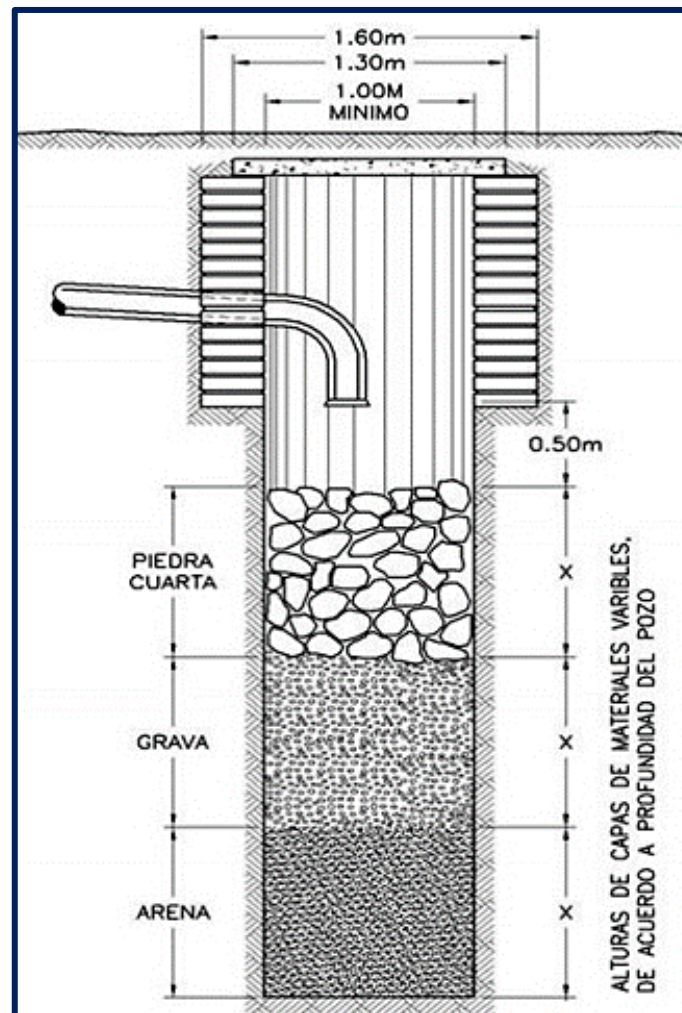
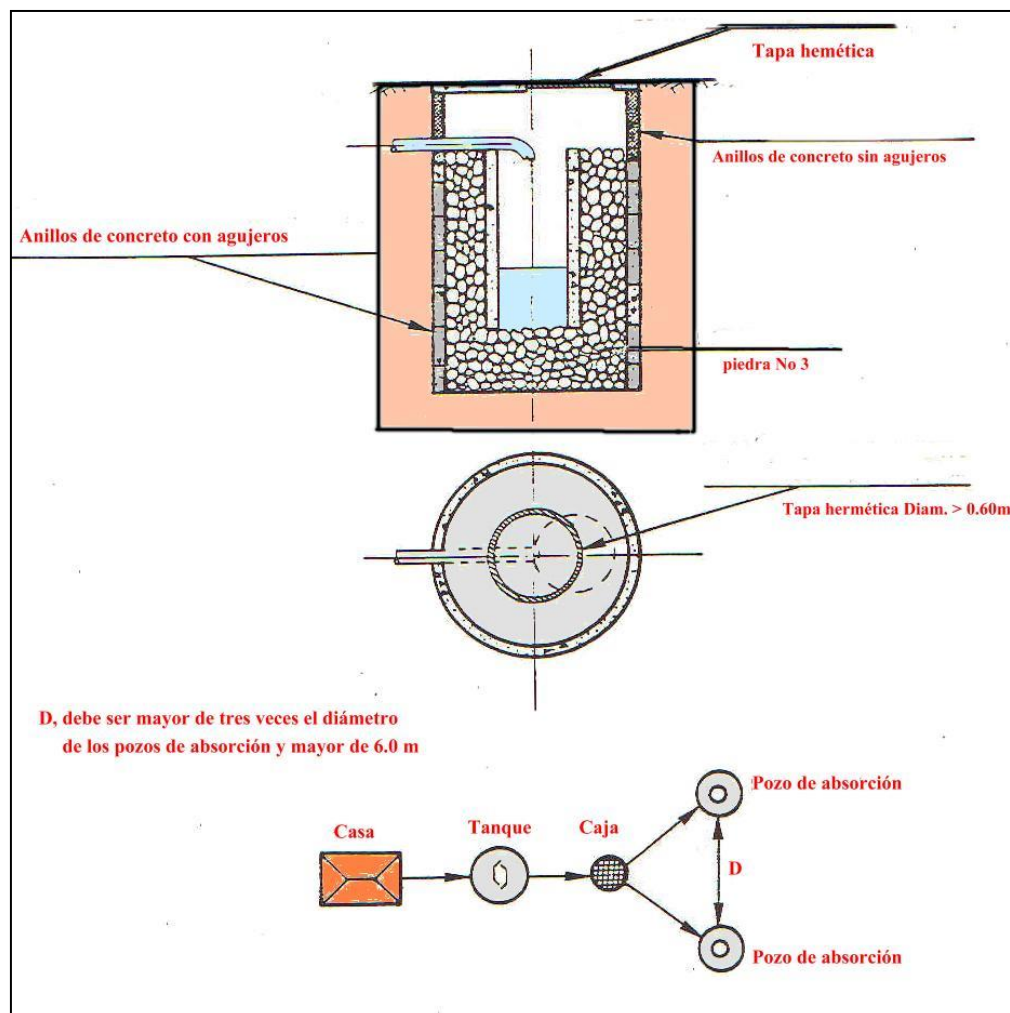
Componentes de la Zanja de filtración

1. Tubería de distribución del efluente generalmente de **10** cm.
2. Lecho filtrante de arena gruesa limpia de **60** cm de profundidad mínima, de ser posible de **75** cm, a través del cual el efluente del fosos séptico de filtra y sufre una descomposición biológica.
3. Tubería inferior de desagüe generalmente de **10** cm de diámetro, rodeada de una capa de grava extendida en el fondo de la zanja. Esta tubería recoge el efluente filtrado y lo vierte en una zanja de evacuación u otra corriente de agua semejante. , además evita que el agua subterránea afecte el proceso biológico que se realiza en el lecho de arena.





Pozo de absorción

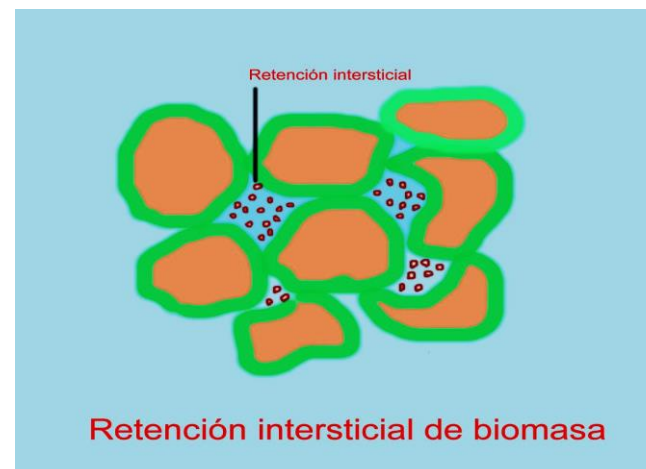
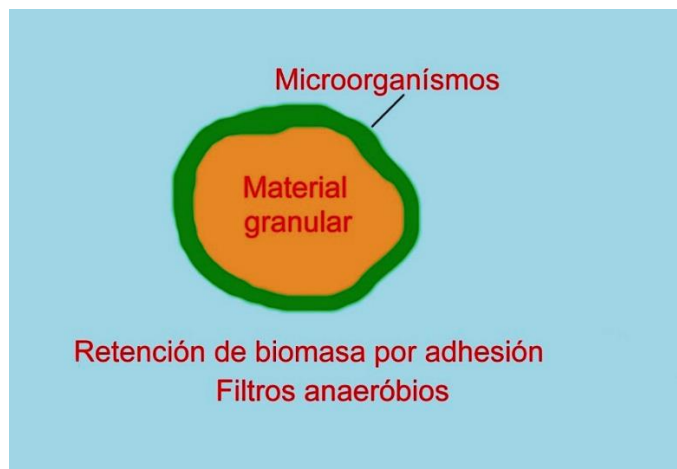


Filtro Anaerobio

El filtro anaerobio ascendente **es básicamente una unidad de contacto**, en la cual el agua residual pasa a través de una masa biológica contenida dentro del reactor. La biomasa (microorganismos) retenida en el reactor se puede presentar en tres formas:

- **Película biológica** fina adherida al material
- **Biomasa dispersa** retenida en los vacíos (poros) del material granular.
- **Flóculos o granos** retenidos en el falso fondo, bajo el material de soporte.

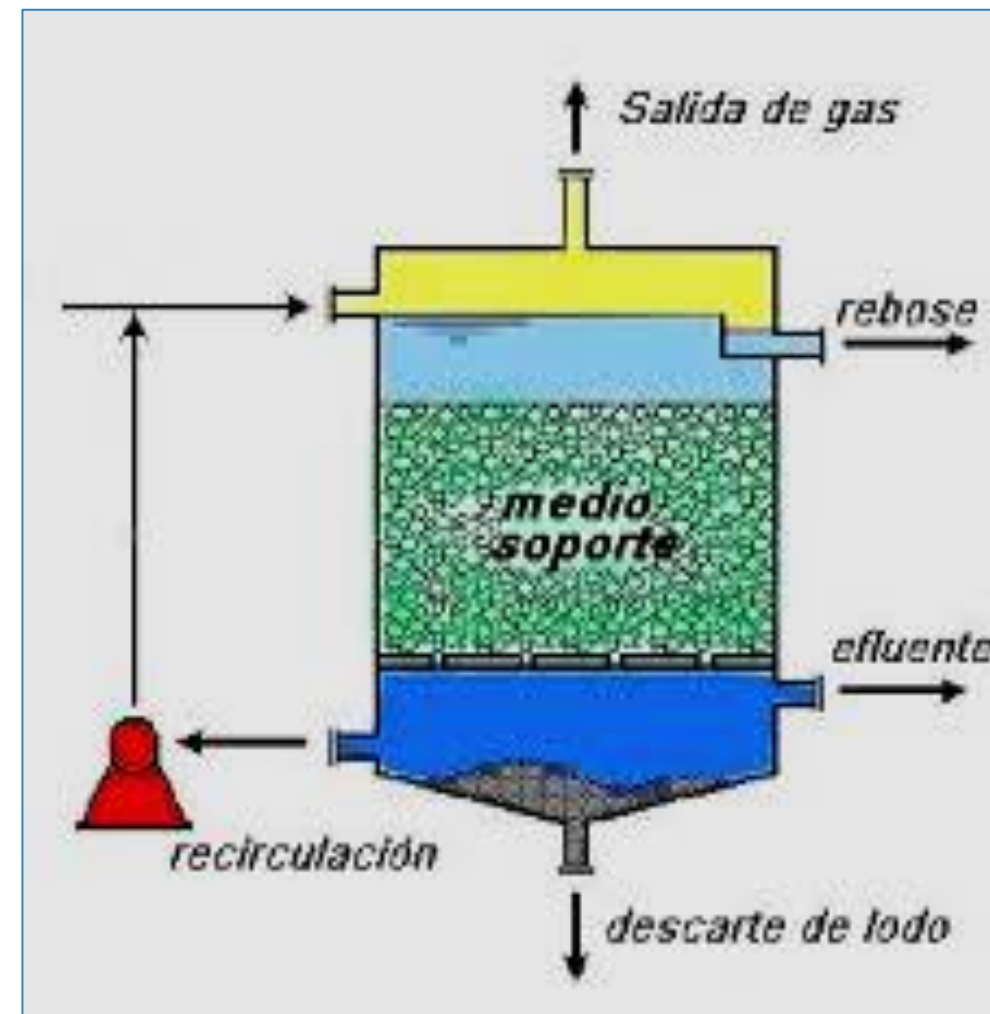
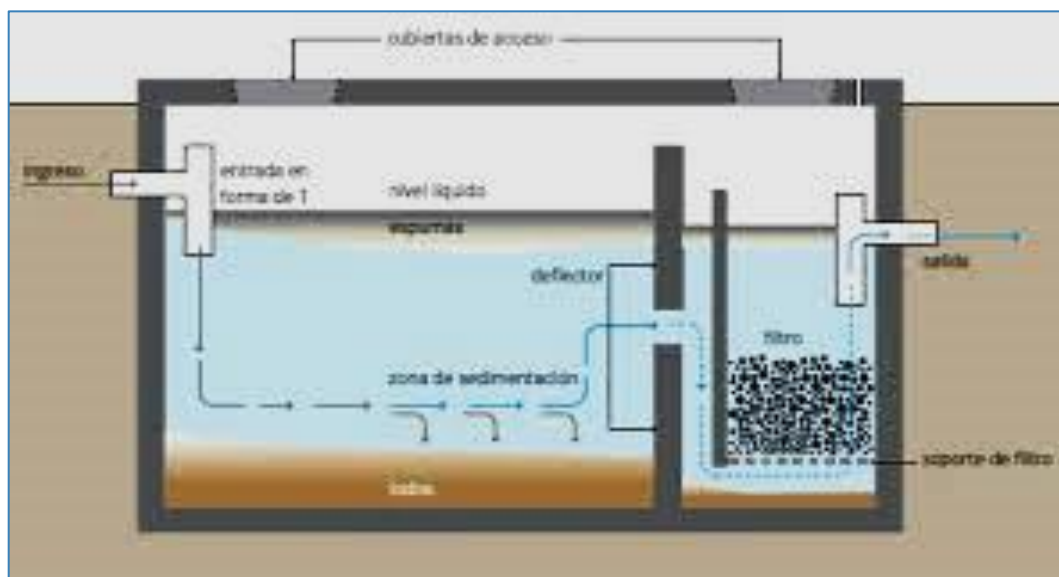
Los compuestos orgánicos solubles contenidos en el agua residual afluyente entran en contacto con la biomasa, difundiéndose a través de la superficie del biofilme o el lodo granular, donde es convertido en productos intermediarios(ácidos grasos volátiles) y finales específicamente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2)



Filtros Anaerobios

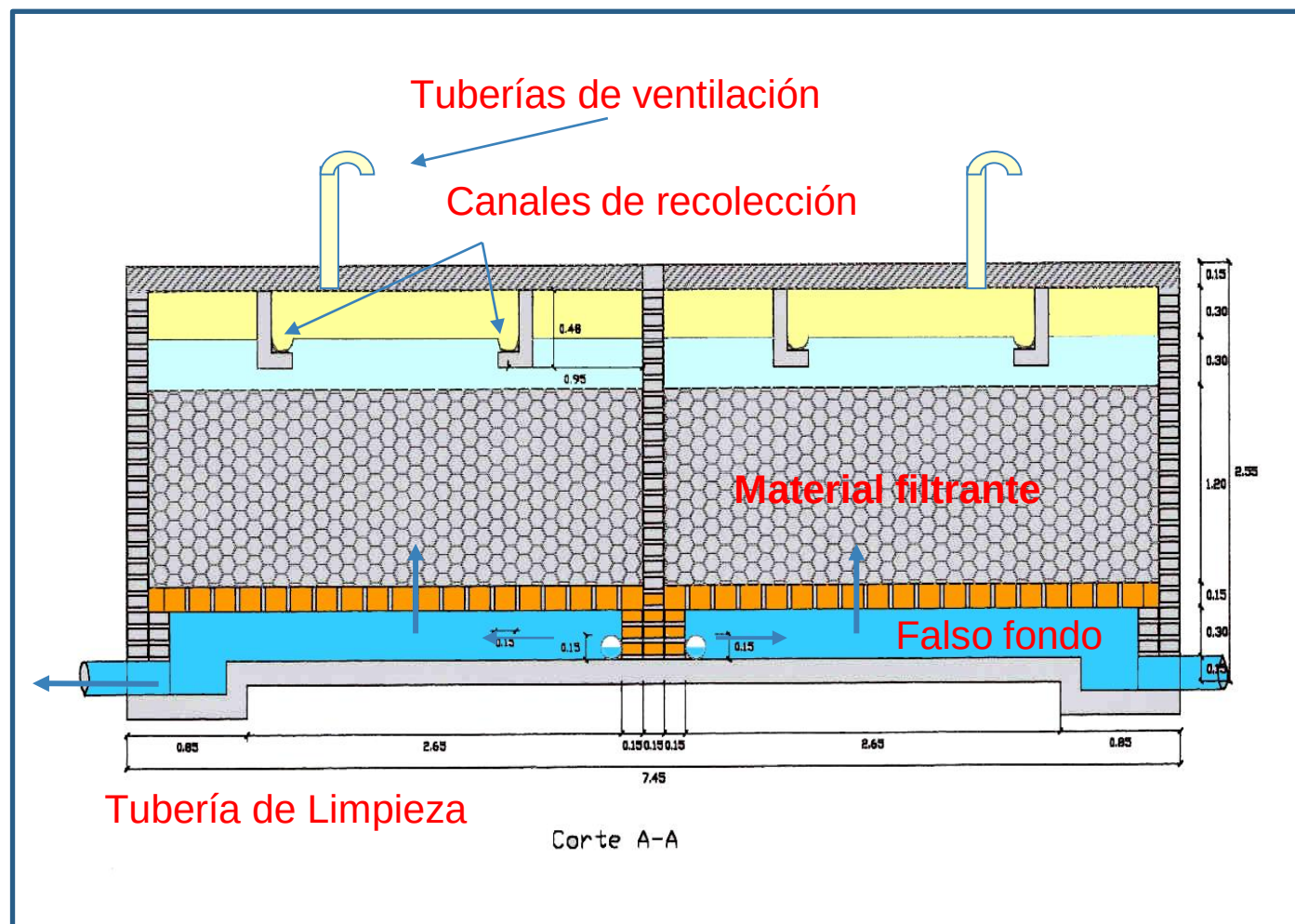
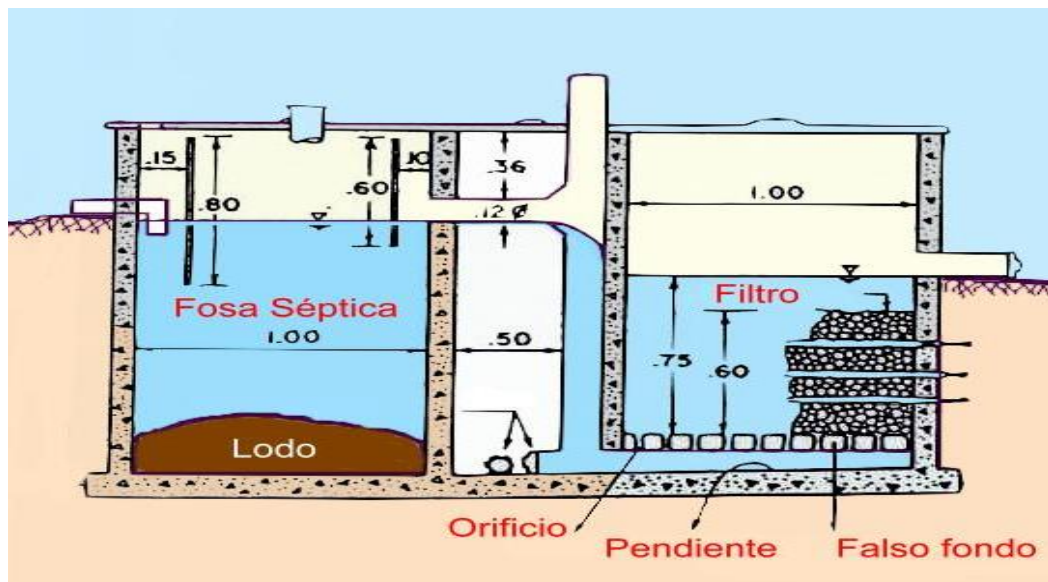
Aplicación

Se utiliza **cuando no es posible infiltrar en el suelo** el efluente de la fosa séptica o hay **necesidad de una tratamiento adicional**, porque se quiere disponer el efluente en un cuerpo de agua,



Componentes de un filtro Anaerobio

- **Tubería de Entrada**
- **Falso fondo**
- **Tubería de Limpieza**
- **Material filtrante**
- **Canales de recolección**
- **Tuberías de Ventilación.**

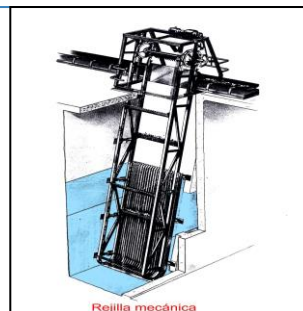




Pretratamiento



LA LIMPIEZA DEL AGUA



1 PARA LOS DESPERDICIOS Y LOS PAPELES



Un simple colador basta.



2 PARA LA ARENA Y OTRAS PARTÍCULAS PESADAS



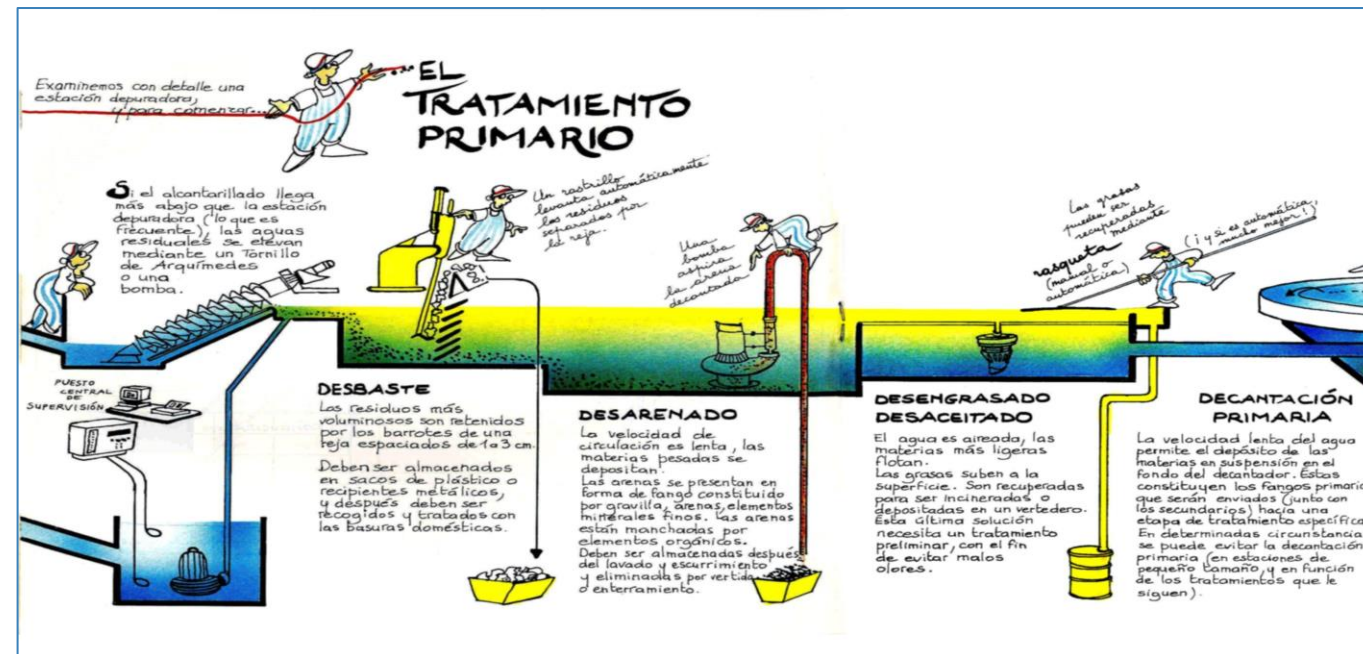
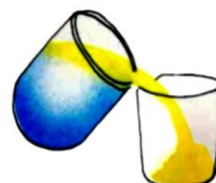
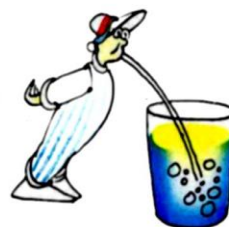
Si hacéis circular el agua len... ta... men... te... caerán al fondo.



3 PARA EL ACEITE... Y LAS GRASAS

Como son más ligeras que el agua, flotan.

Si además sopláis en el agua, se acentúa el fenómeno.

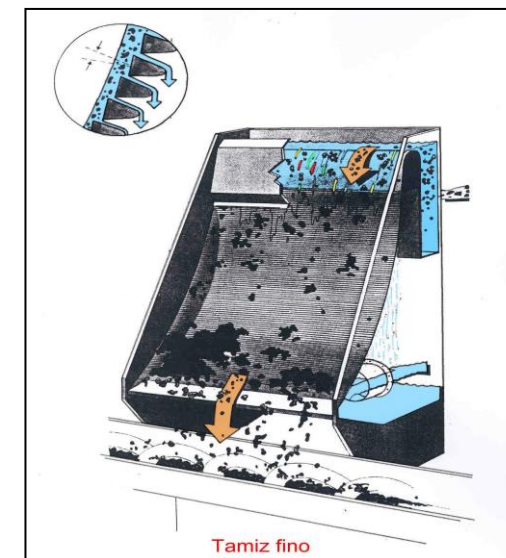
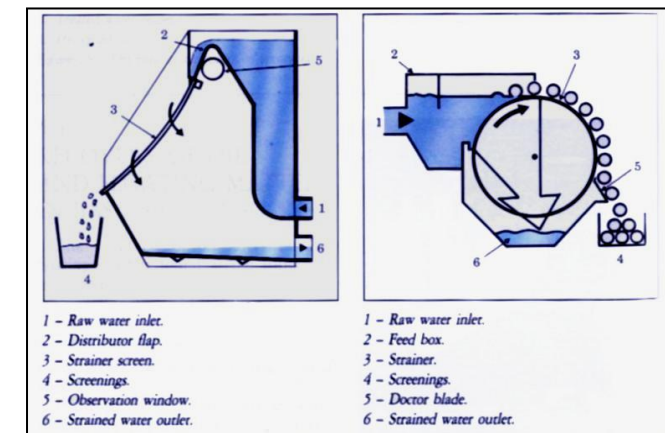


Tamices

Afinado del proceso de eliminación de residuos sólidos, se llega a la utilización de tamices con separación libre entre barras de hasta **0.2mm**, siendo los normalmente utilizados los de separación de **1mm**. Se busca un sistema sencillo autolimpiable, que permita en muchos casos sustituir los desbastes, eliminación de arenas gruesas y grasas.

Clasificación de tamices:

- ✓ Plano estático
- ✓ Curvo estático tipo Hydarsive
- ✓ Giratorio con sistema de limpieza
- ✓ Con superficies móviles tipo Esmil



Desbaste, Rejas

Desbaste

Consiste en la **separación del agua residual de sólidos** tales como: Piedras, ramas, plásticos, trapos etc. mediante rejas o tamices.

Tiene como objeto:

- Eliminar los objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la planta.
- Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficiencia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos.

En las rejas, la separación de los sólidos se realiza mediante barrotes, su **limpieza se hace en forma manual empleando un rastrillo**, esta labor se realiza en forma periódica y los objetos rastrillados previamente a su eliminación se escurren sobre una placa perforada situada sobre el canal, posteriormente se depositan en un hoyo excavado en el terreno y ubicado las inmediaciones a la reja.

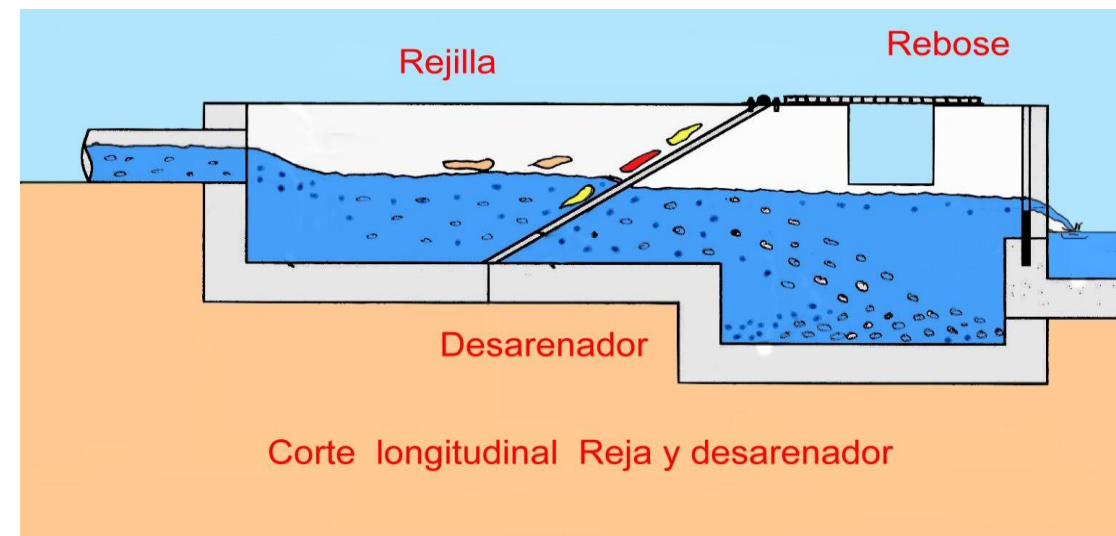
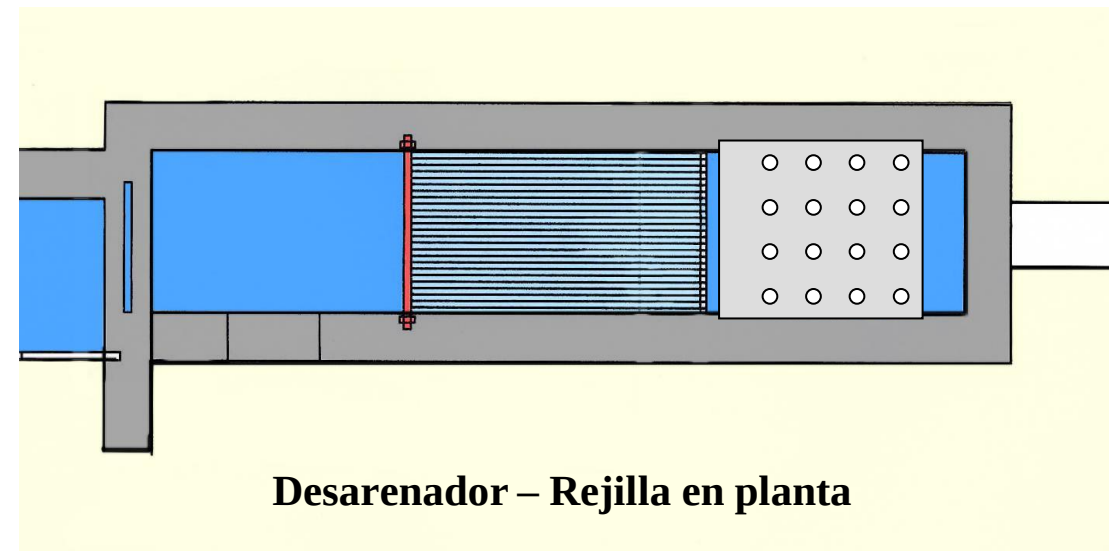


Desarenador

Tiene por objeto **eliminar las materias más pesadas que el agua** y mayores que **2 milímetros**.

Con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y tuberías, proteger las bombas del desgaste y evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

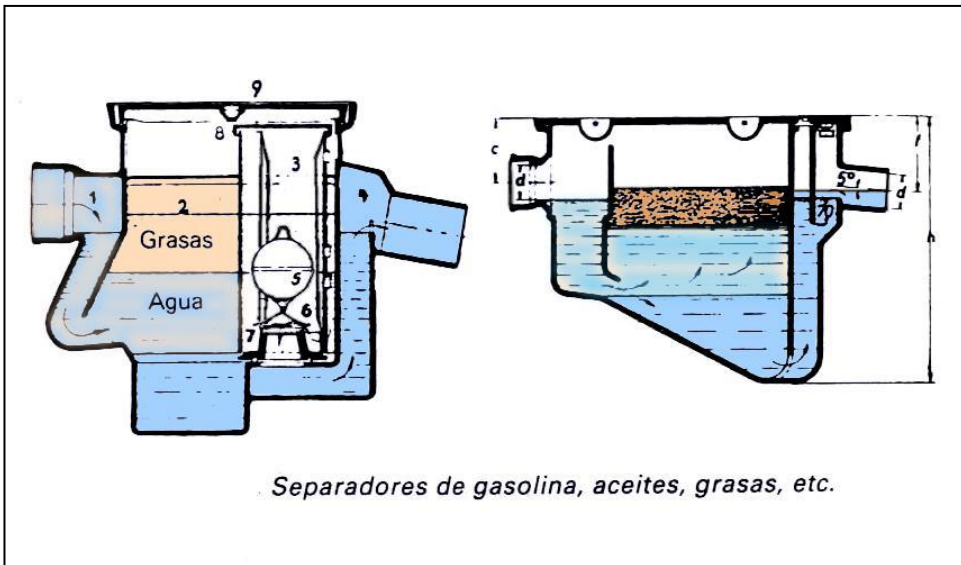
El **mantenimiento** tiene que ser por lo menos **semanal** y cada dos días debe **hacerse un barrido o limpieza de fondo** para liberar el material orgánico retenido entre el material granular para evitar su descomposición.



Desengrasado

Las grasas crean muchos problemas en la depuración de aguas residuales, especialmente en los elementos y procesos siguientes:

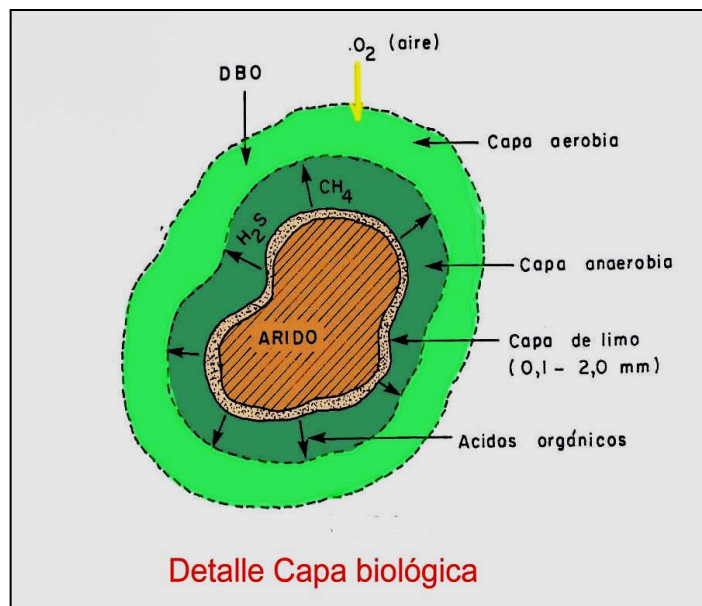
- Obstrucción en rejillas finas
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación
- Dificulta la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55 - 70% al subir las grasas de 0 a 70 mg/L
- Perturban el proceso de digestión de lodos
- La DQO se incrementa en un 20 a 30%



Lechos bacterianos (Filtro percolador)

Descripción

Consiste en un proceso en el cual la biomasa bacteriana forma una biopelícula sobre un medio de soporte fijo. El agua residual y el aire circulan libremente a través de los huecos que existen en el material soporte. Los organismos presentes en la biopelícula oxidán la materia orgánica que toman del agua residual, valiéndose del aire que circula por el medio.



Sistema de tratamiento con filtro Percolador

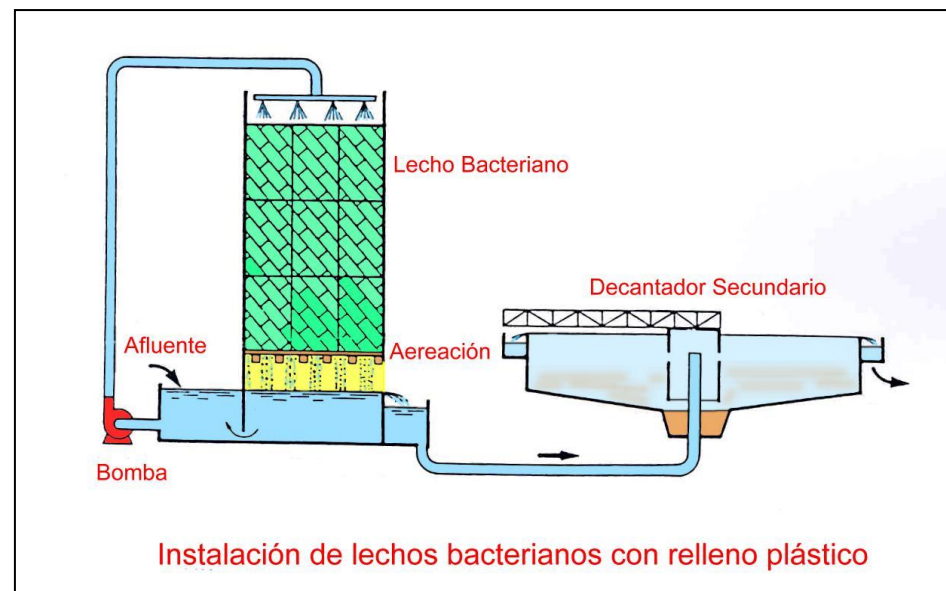
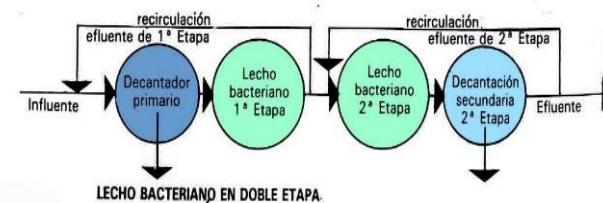
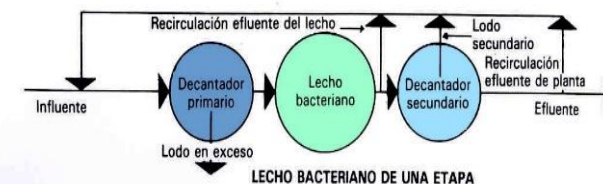
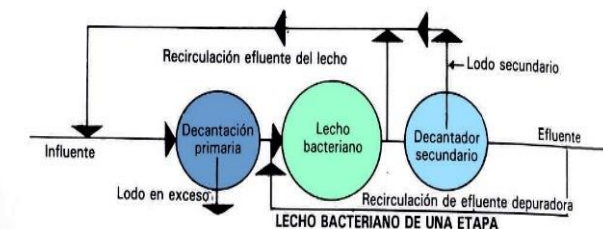
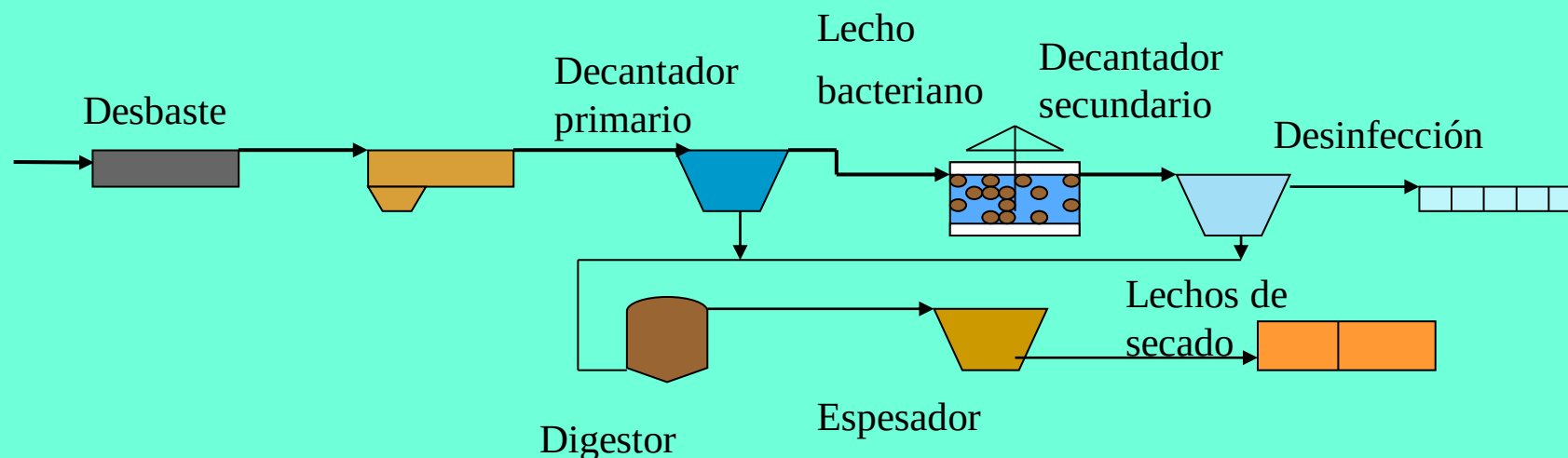


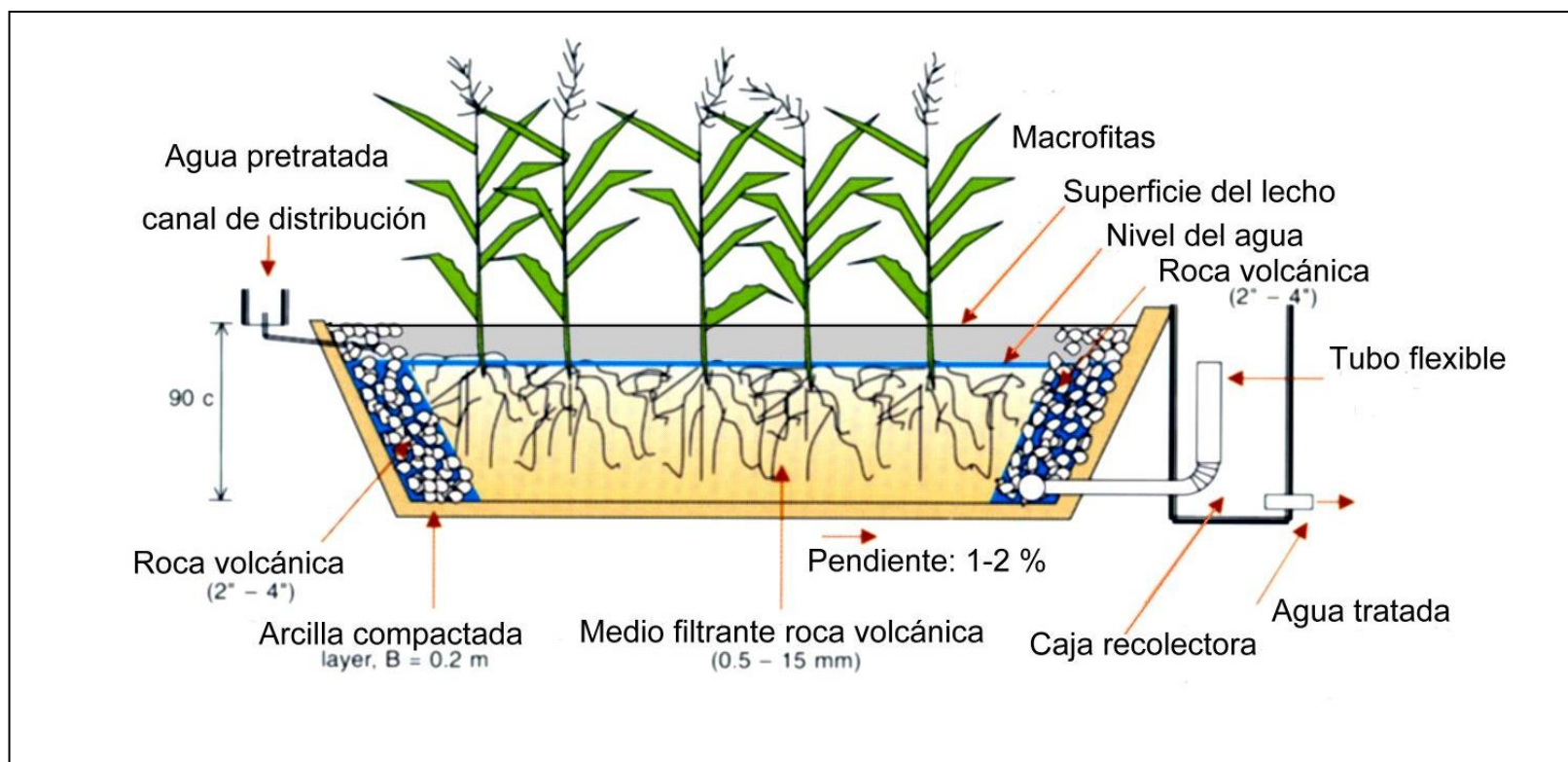
Diagrama de flujo



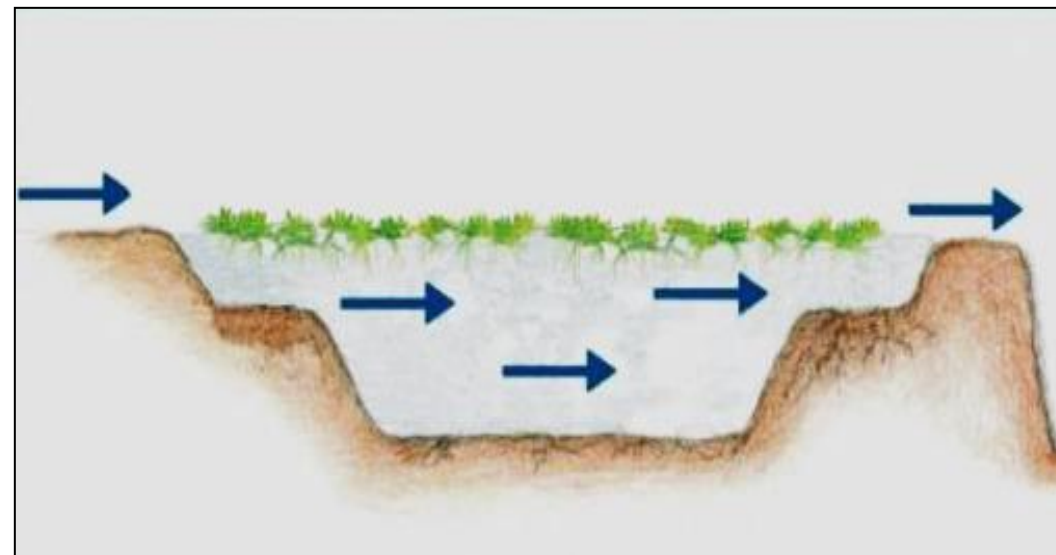
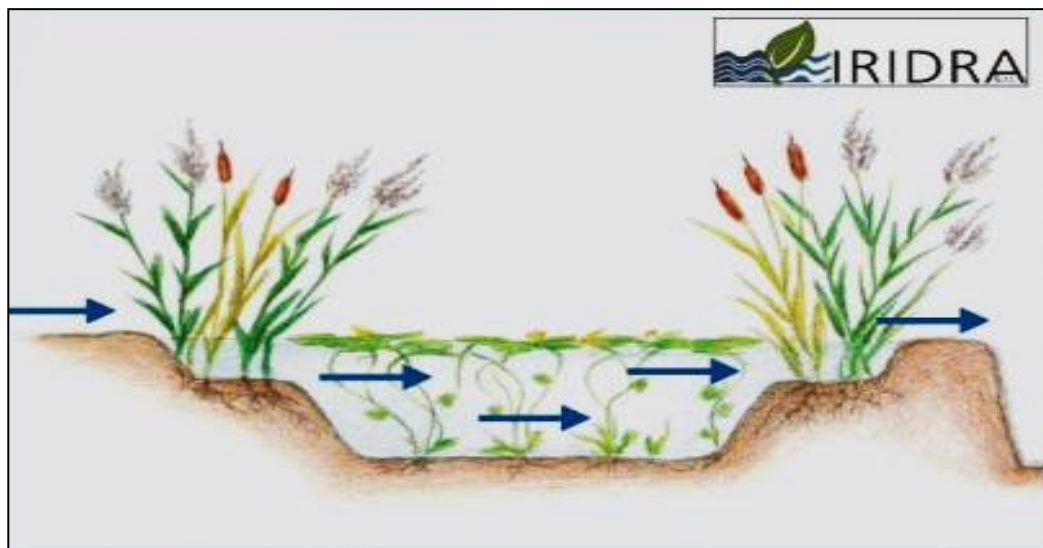
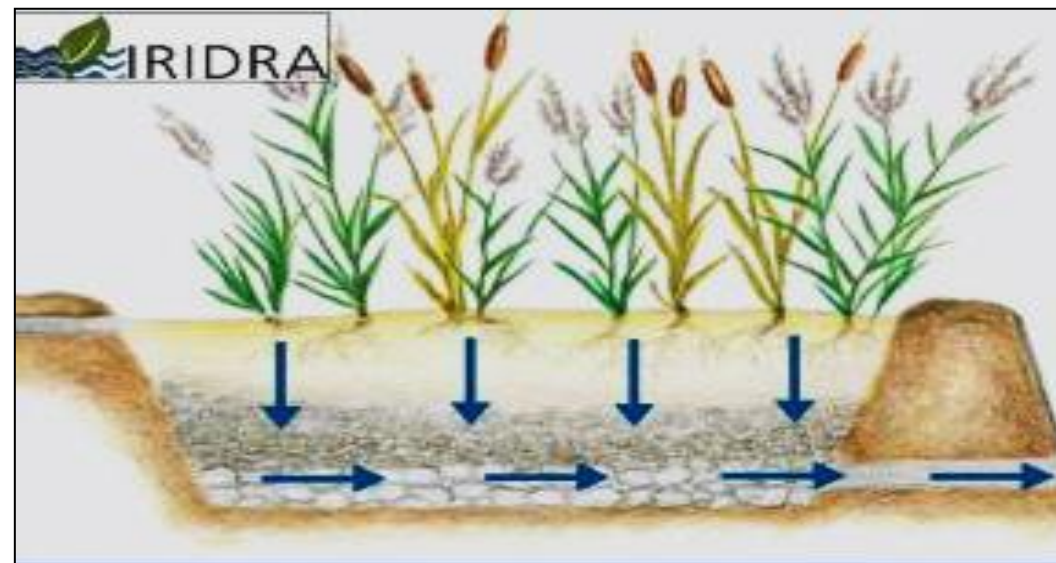
Esquemas de Lechos Bacterianos

Humedales

Consisten en excavaciones de baja profundidad que se hacen en el terreno, y se rellenan de grava o material de alta permeabilidad, donde se siembran plantas que degradan la materia orgánica del agua residual aplicada



Tipos de humedales





Tipos de plantas para humedal



Papiro



Bambú



Vetiver



Espadaña



Pasto de napier

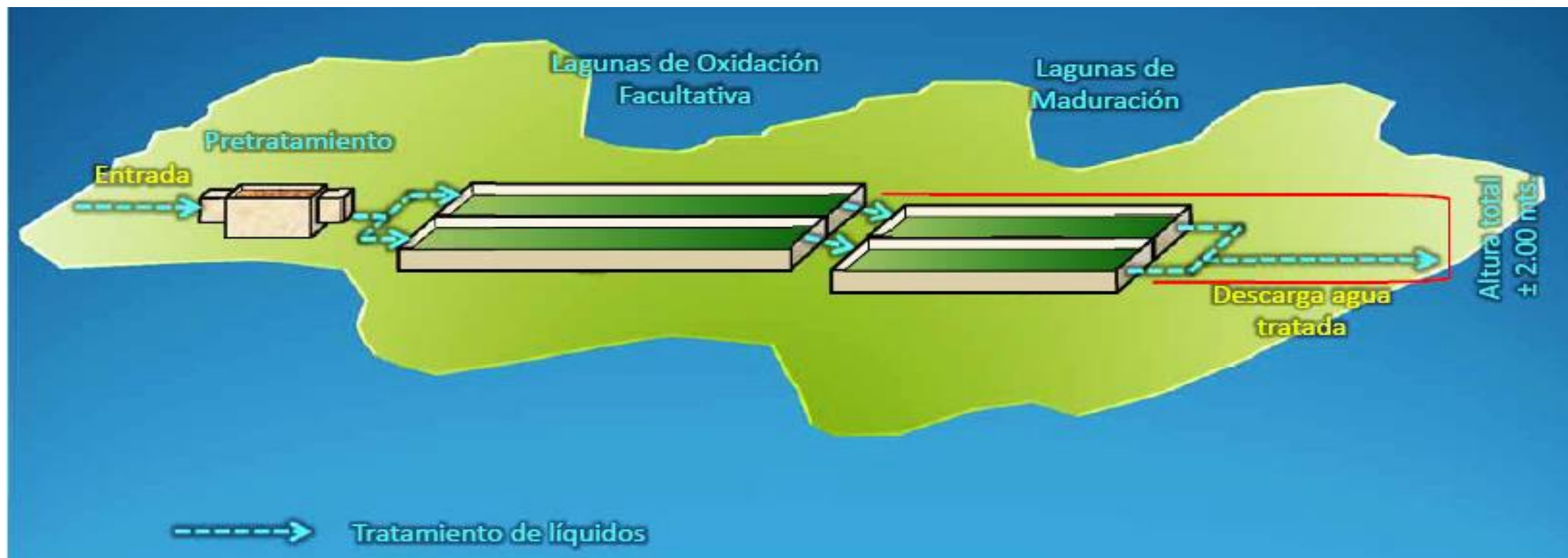


Ave del paraíso

Nombre de la Planta	Características	Desventajas
Papiro Egipcio (Cyperus papyrus)	Decorativo (ver Figura 11).	Altura 4 m, las raíces sólo se forman a partir de la planta madre.
Papiro paraguaita (Cyperus albobistratus)	Son plantas resistentes, excelentes para altas cargas o sales del agua residual.	
Papiro enano (Cyperus haspensis)	Excelente cuando es la única planta.	No sobrevive a la sombra de las plantas más grandes.
Bambú, pequeñas especies ornamentales	Decorativo.	De crecimiento lento, especialmente en los 3 primeros años y si la planta no está bien adaptada al clima.
Espadaña de hoja ancha (Typha latifolia)	A menudo son más resistentes en condiciones de calor que la caña.	
Especies de género: Heliconia; Canna; Zantedeschia; Calla Lily	Decorativo. Conocido con el nombre ave del paraíso, platanera silvestre	Algunas plantas de estas especies prefieren condiciones de media sombra y otras de plena luz solar.
Pasto de Napier o hierba de elefante (Pennisetum purpureum)	Especie gramínea nativa de las praderas tropicales de África.	Tiene una productividad muy alta en el forraje del ganado así como para la producción de biocombustibles.
Vetiver Chrysopogon zizanioides, antiguamente conocido como Vetiver javanico	Crece hasta 1,5 m de altura y forma un sistema radicular eficiente. Este pasto se utiliza en climas cálidos para el control de erosión y para la producción de esencia de aceite, destilado de sus raíces. También se utiliza como planta de forraje o como material de artesanía.	Las raíces no crecen tan bien cuando las plantas son utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en HHAA, pero aún son eficientes para mantener la funcionalidad de un HFV. Por lo tanto, el vetiver se recomienda sólo para HFV, pero no para HHF.

Lagunas de estabilización

El tratamiento con lagunas consiste en el almacenamiento de las aguas residuales durante un tiempo variable, en función de la carga aplicada y de las condiciones climáticas, de manera que la **materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de las bacterias heterótrofas** presentes en el medio.



Objetivos de una laguna de estabilización



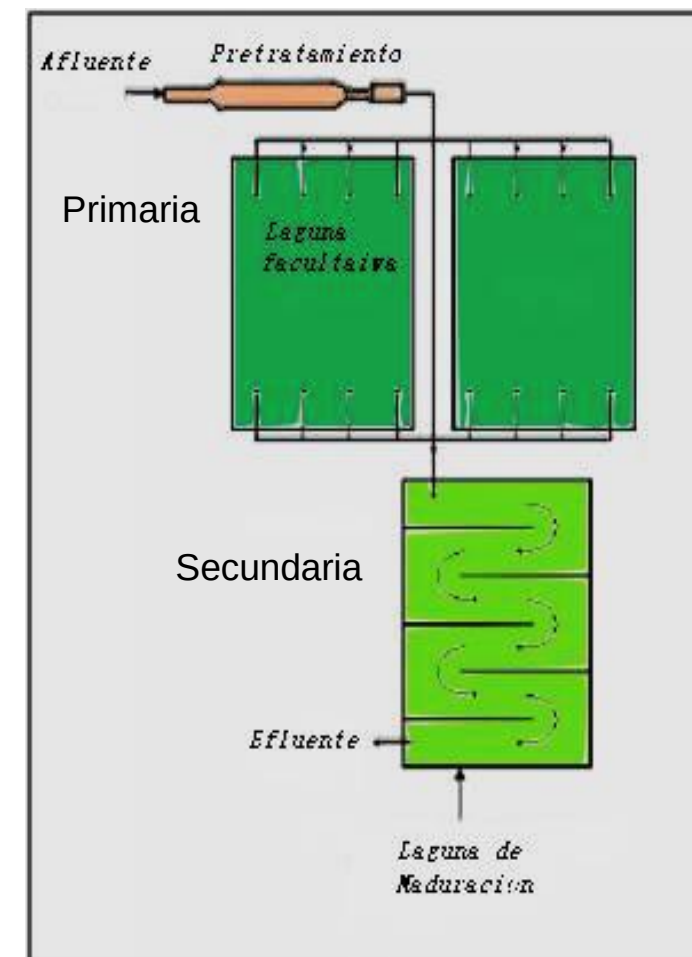
Primaria

- ❖ Reducción de compuestos orgánicos (DBO y DQO) tanto soluble como total
- ❖ Reducción de sólidos suspendidos
- ❖ Reducción de parásitos $\Rightarrow$ Nematodos > 10 días
- ❖ Reducción de costos de construcción $\Rightarrow$ > cargas superficiales



Secundaria

- ❖ Reducción de Coliformes fecales al nivel deseado
- ❖ Complementar reducción de nematodos
- ❖ Reducir a los niveles requeridos la concentración de otros contaminantes (DBO, nutrientes y algas)
- ❖ Minimizar la influencia de la estratificación termal



Clasificación de las de lagunas

Por el contenido de oxígeno

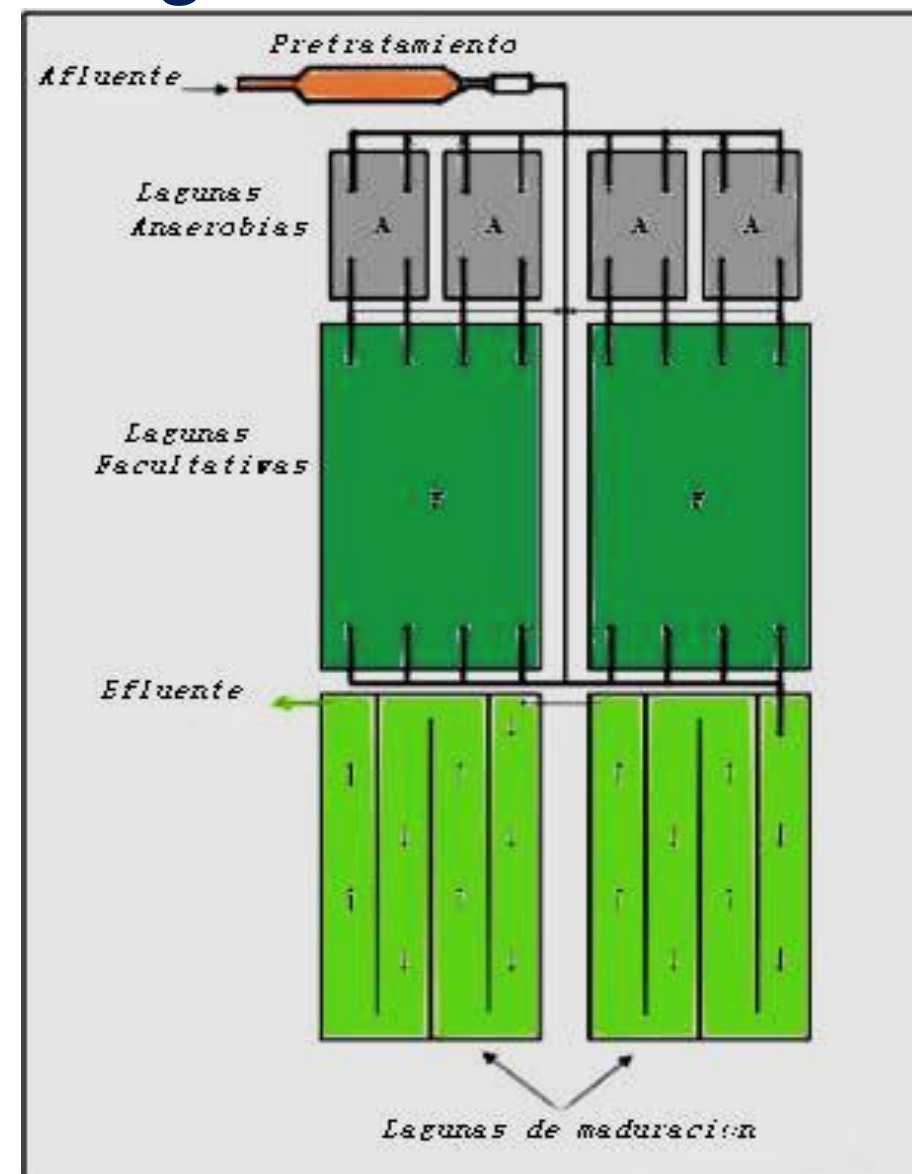
- Anaerobia
- Aerobio
- Facultativa
- Aireada --- Aireación artificial

Por su ubicación con otros procesos

- Primarias
- Secundarias
- Maduración

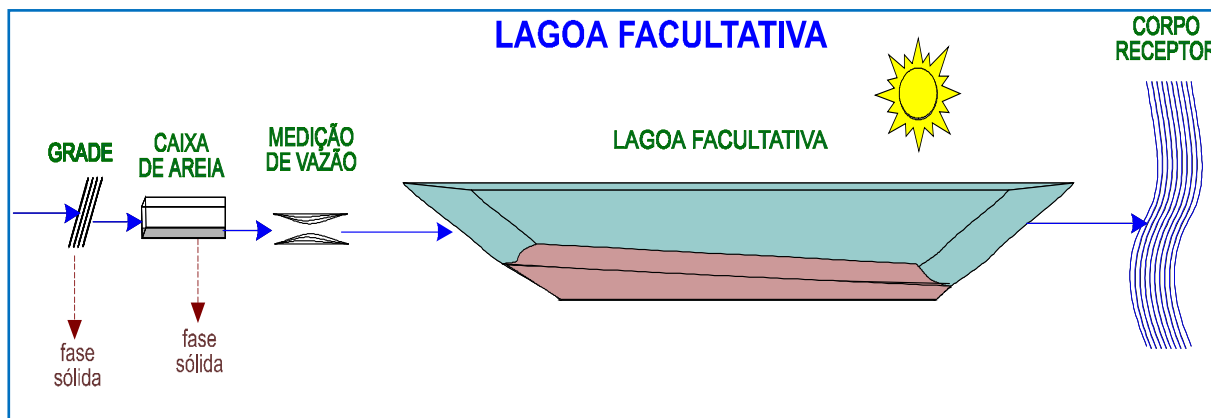
Por su Secuencia

- En paralelo
- En serie

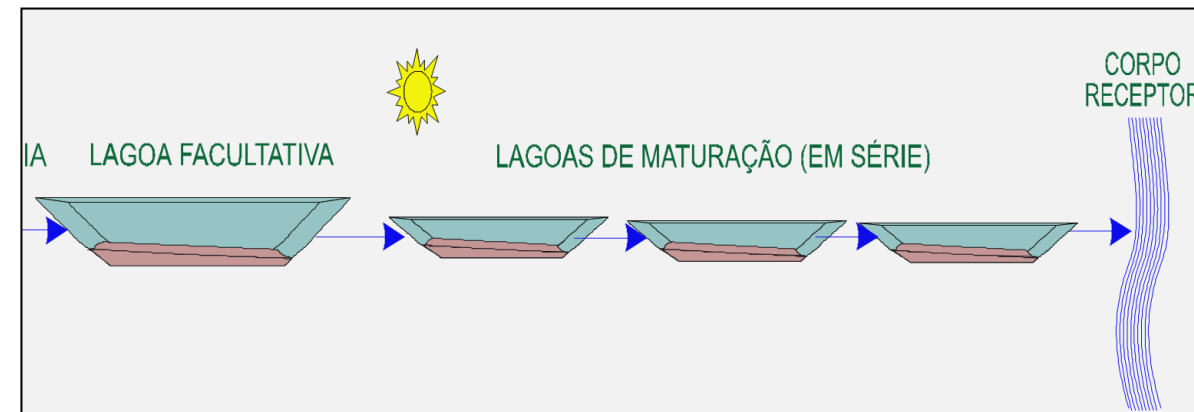


Sistemas de lagunas de estabilización

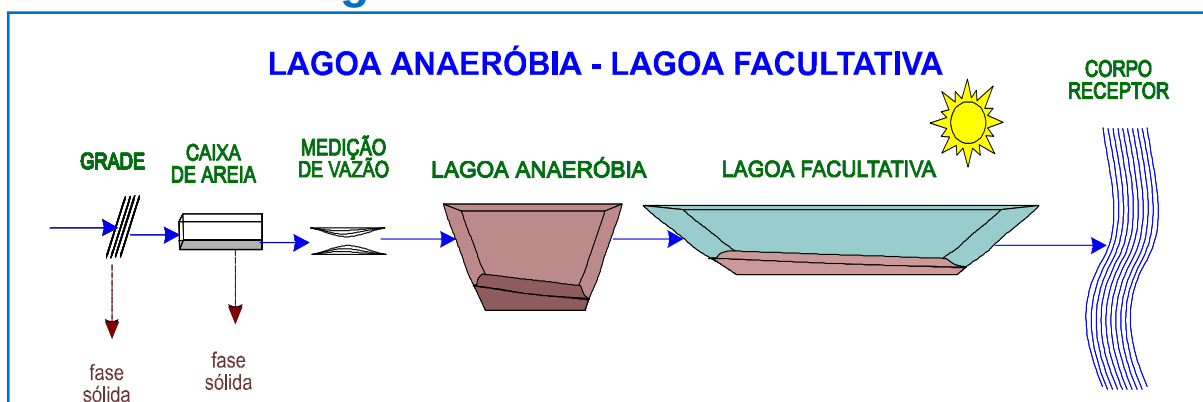
• Sistema Facultativa primaria



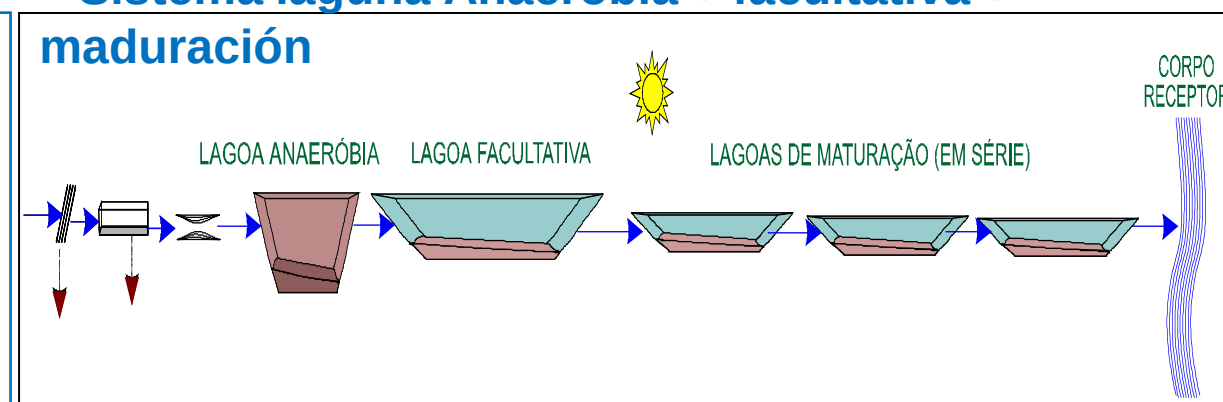
■ Sistema laguna facultativa + maduración



• Sistema Laguna anaeróbia + facultativa



■ Sistema laguna Anaerobia + facultativa + maduración



Síntesis de la materia orgánica

Las algas sintetizan la materia orgánica de la que están constituidas en presencia de luz, para lo que necesitan, además, dióxido de carbono (CO_2) y nutrientes disueltos (N,P,K):

Algas, luz + CO_2 + Nutrientes disueltos = Nuevas algas + Oxígeno

De esta forma, si combinamos la actividad de algas y bacterias, el proceso global es el siguiente:

Bacterias, algas + Materia orgánica = Nuevas bacterias + Nuevas algas

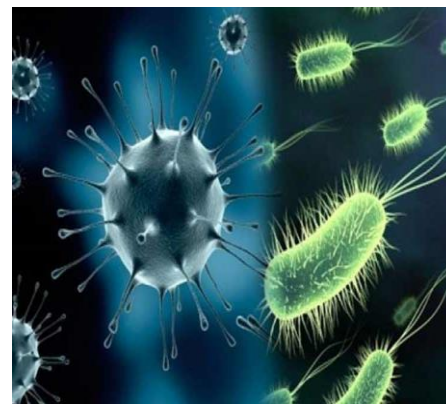
En conjunto se obtiene una estabilización de la materia orgánica, que se traduce en fuertes descensos de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno del agua a su paso por las lagunas facultativas

Oxidación Biológica de la materia orgánica

Desde el punto de vista de la depuración, **las bacterias se pueden describir como pequeños reactores bioquímicos**, capaces de autorregularse. La oxidación biológica es la conversión bacteriana de los compuestos orgánicos hasta compuestos inorgánicos oxidados, proceso que se conoce con el nombre de mineralización. Como ejemplo de estos procesos tenemos:

Bacterias

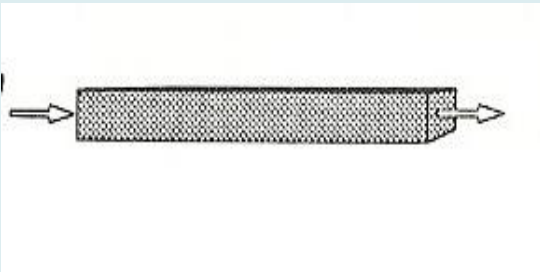
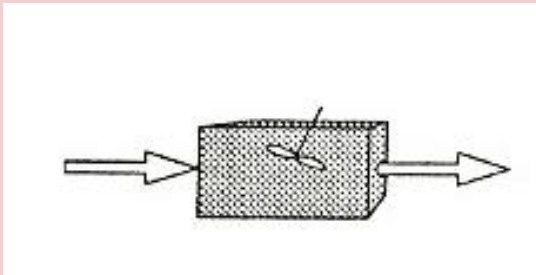
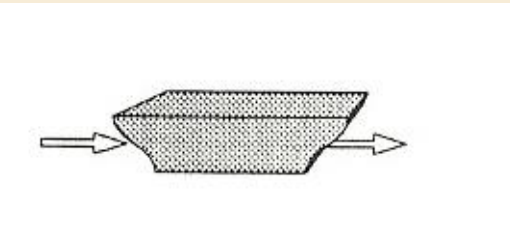
- Carbono orgánico + $O_2 = CO_2$
- Hidrógeno orgánico + $O_2 = H_2O$
- Nitrógeno orgánico + $O_2 = NO_3^-$
- Fósforo orgánico + $O_2 = PO_4^{3-}$
- Azufre orgánico + $O_2 = SO_4^{2-}$



El proceso global de oxidación bacteriana puede describirse mediante la ecuación siguiente:

Bacterias + Materia orgánica + Oxígeno = Productos oxidados + Nuevas bacterias

Modelos de régimen hidráulicos

Modelo Hidráulico	Esquema	Características
Flujo Pistón		La partículas entran continuamente en una extremo del tanque, pasan a través del mismo y son descargadas en el otro extremo, en la misma secuencia en que entran, las partículas conservan su identidad y permanecen un tiempo igual al de retención. Se logra en Tanques largos
Mezcla Completa		La partículas que entran en el tanque son inmediatamente dispersadas en todo el reactor , el flujo de entrada y salida es continuo, las partículas dejan el tanque en proporción a su distribución estadística. Se obtiene en tanque cuadrados o circulares.
Flujo Disperso		El flujo es arbitrario y se obtiene en un sistema con un grado de mezcla intermedio entre flujo pistón y mezcla completa, en la realidad la mayor parte de los reactores trabajan así.

Características principales de los sistemas de Lagunas

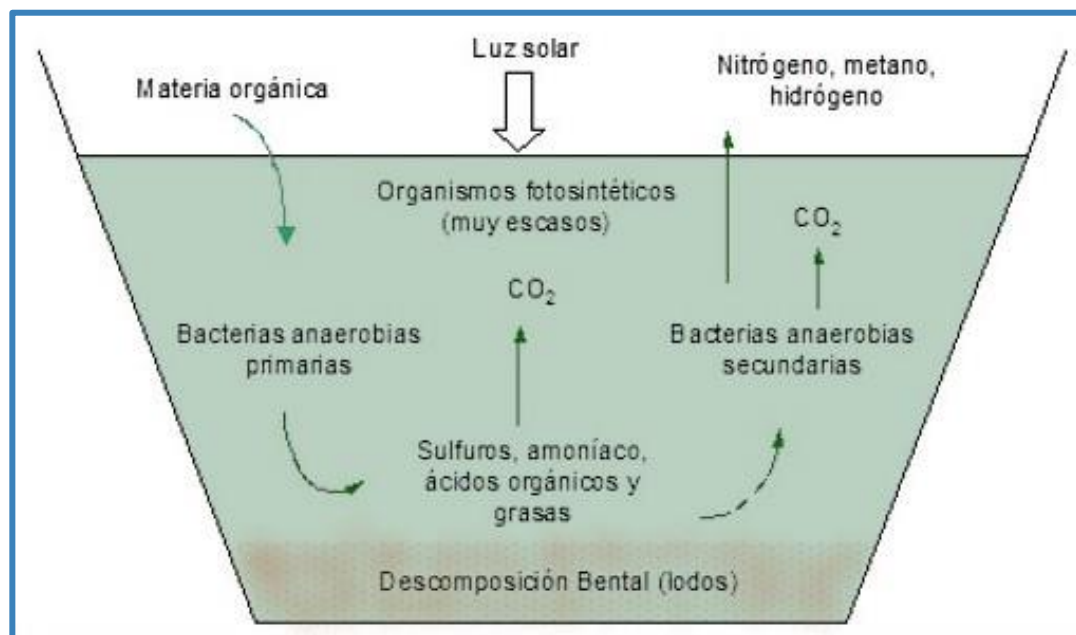
Descripción	Característica	Facultativa	Anaerobia + facultativa	Aireada Facultativa	Aireada MC + L Decantación
Eficiencia	DBO (%)	70 - 85	70 - 90	70 - 90	70 - 90
	Nitrógeno (%)	30 - 50	30 - 50	30 - 50	30 - 50
	Fosforo (%)	20 - 60	20 - 60	20 - 60	20 - 60
	Coliformes (%)	60 - 99	60 - 99.9	60 - 96	60 - 99
Requisitos	Area (m ²)	2.0 - 5.0	1.5 - 3.5	0.3 - 0.6	0.2 - 0.5
	Potencia (W/hab)	≈ 0	≈ 0	1.0 - 1.7	1.0 - 1.7
Costos US\$	Obra civil	10 - 30	10 - 25	10 - 25	10 - 25

Lagunas Anaerobias

Operan bajo una condición **de ausencia de aire u Oxígeno libre** y se caracterizan por el empleo de una **alta carga orgánica** y por consiguiente un **corto período de retención**.

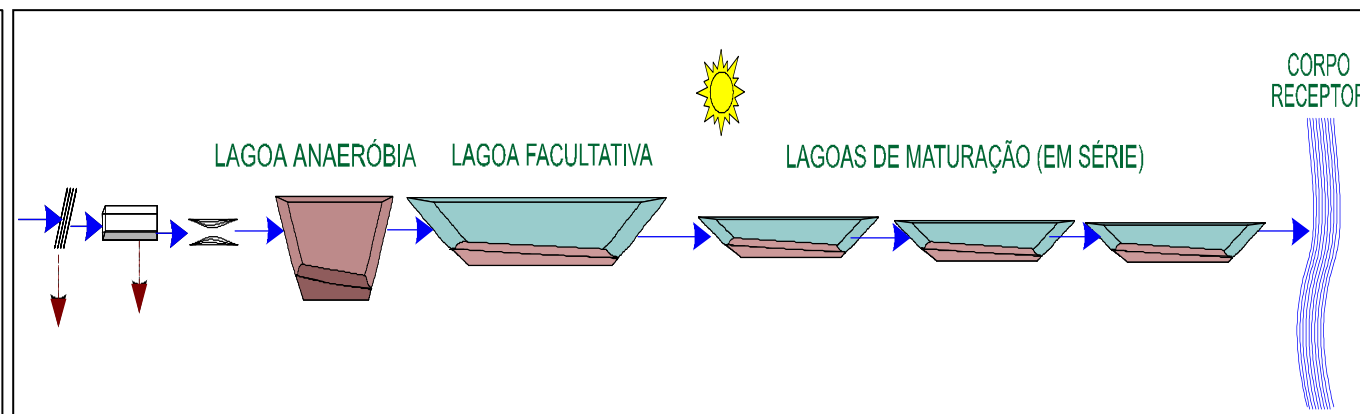
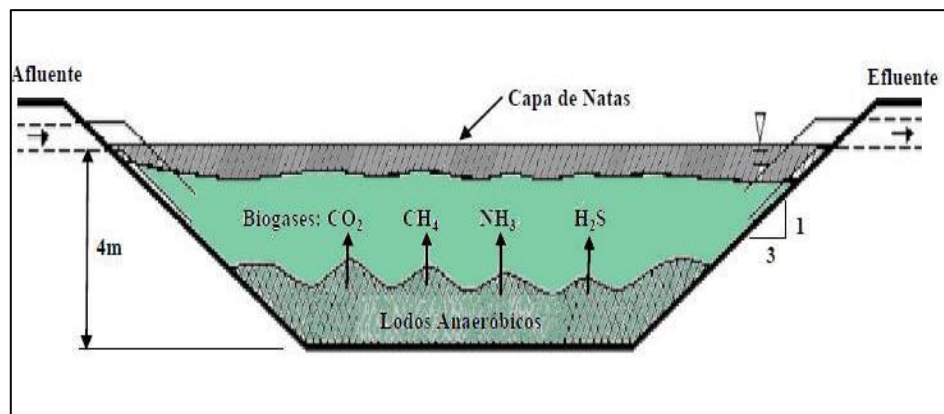
Su aspecto físico es de coloración negra o gris, cuando por efecto de una carga adecuada, presentan condiciones de fermentación del metano.

Se utilizan como una **primera etapa en el tratamiento de aguas residuales** domésticas e industriales.



Características de las lagunas anaerobias

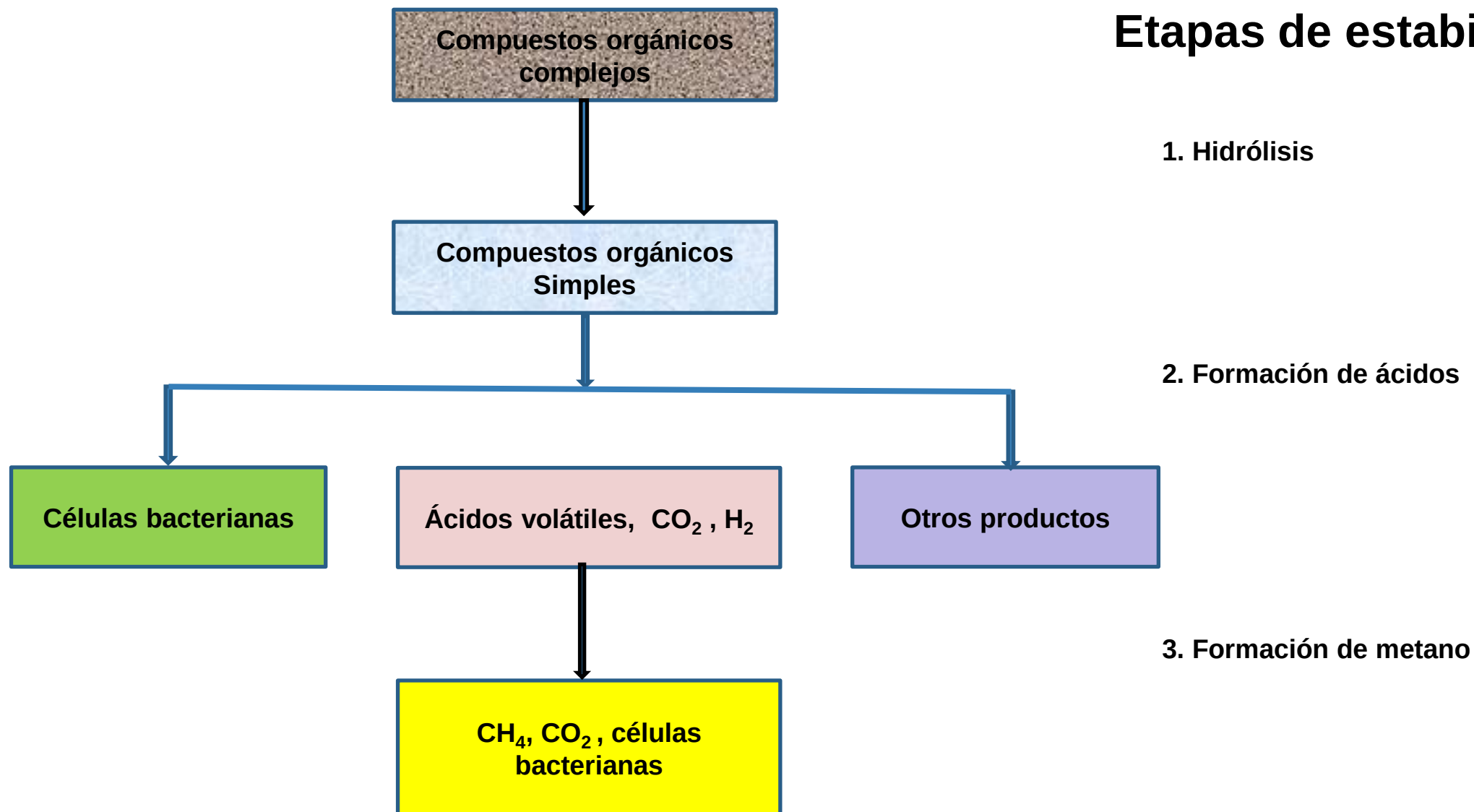
- Las lagunas anaerobias constituyen un proceso de tratamiento que opera en ausencia de oxígeno.
- Se utilizan normalmente como **primera fase en el tratamiento** de aguas residuales urbanas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable.
- El objetivo primordial de estas lagunas es la **reducción de contenido en sólidos y materia orgánica** del agua residual, y no la reducción de microorganismos patógenos y la obtención de un efluente de alta calidad.
- Las lagunas anaerobias **operan en serie con lagunas facultativas y de maduración**.
- Son **usualmente profundas** del orden de **4 a 5.0m**, esto es importante porque limita la penetración del oxígeno producido en la superficie a las zonas bajas. Por ser mas profundas el **área superficial es menor**.
- Las lagunas anaerobias **se diseñan para aguas residuales con altas cargas** y se caracterizan por su corto tiempo de retención hidráulica.





Mecanismos del proceso anaerobio

Etapas de estabilización



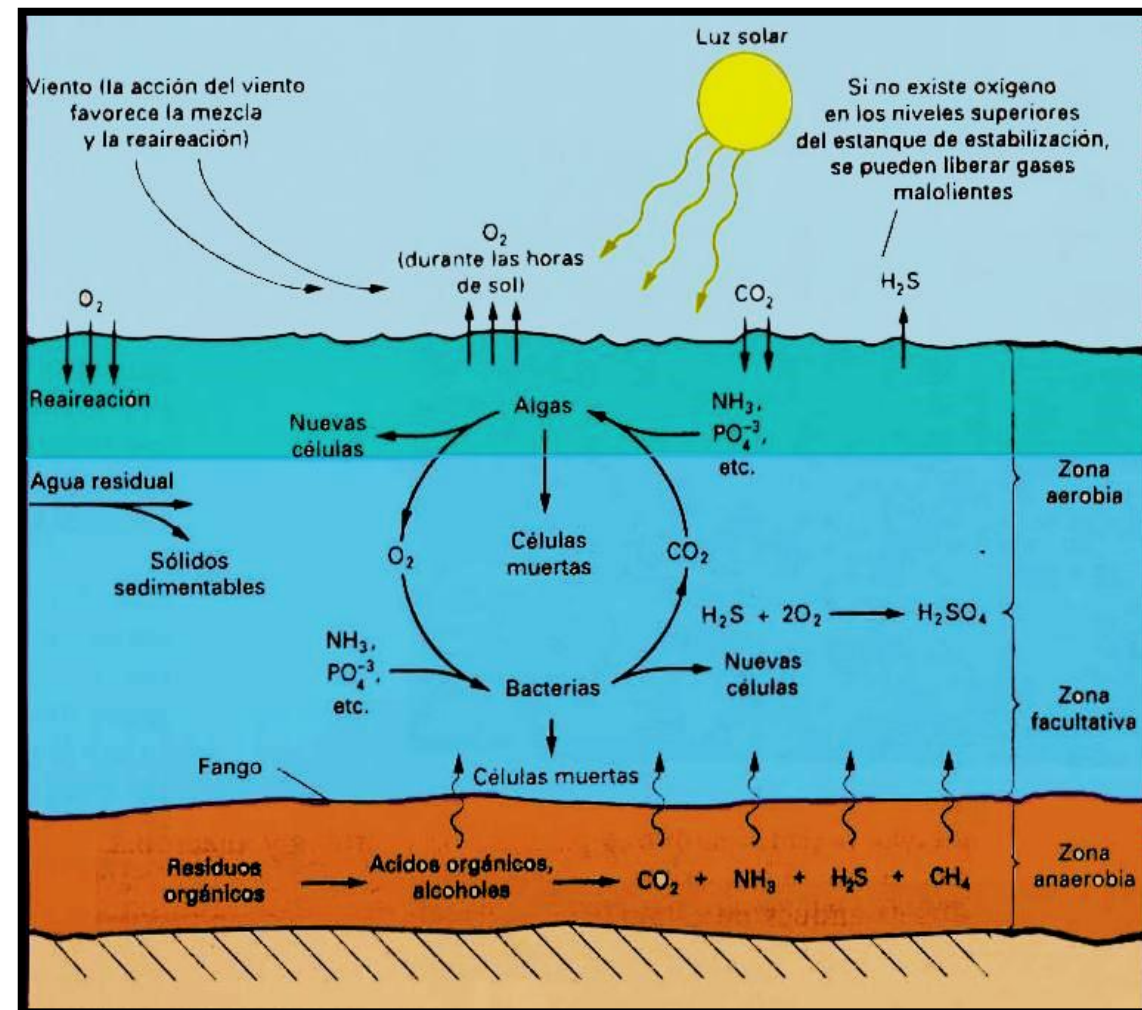
Lagunas facultativas

Son aquellas donde la estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una **combinación de bacterias aeróbicas, facultativas y anaeróbicas**. Estas lagunas se excavan en el terreno y se alimentan con agua residual procedente de un **proceso previo de desbaste o con el efluente de un tratamiento primario**.

Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaeróbico, los **materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aeróbicas y facultativas**, empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes en la superficie.

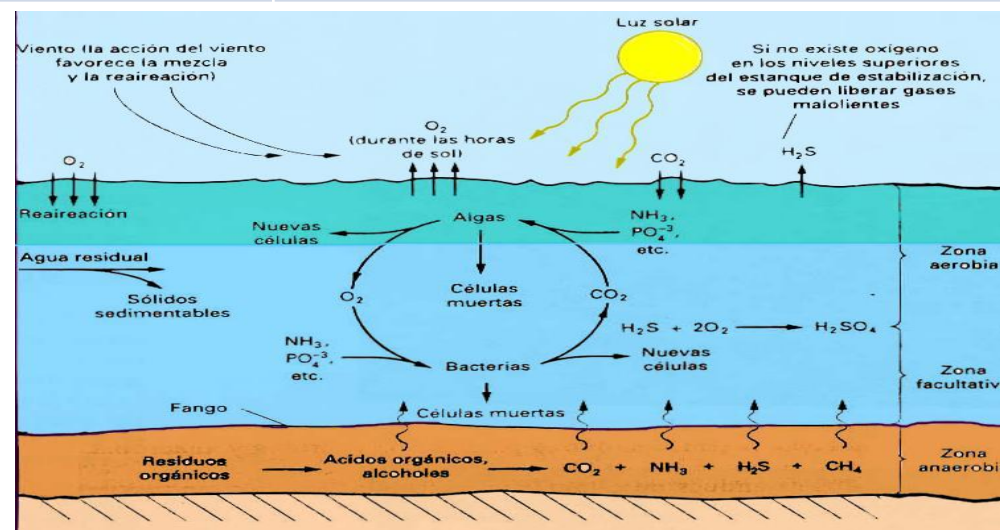
El dióxido de carbono (**CO₂**) que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas.

La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango permite la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases como el **CO₂, H₂S, CH₄ y el NH₃** que se oxidan por las bacterias aerobias o se liberan a la atmósfera.



Influencia de las condiciones ambientales

Factor	Influencia
Radiación solar	• Velocidad de fotosíntesis
Temperatura	• Velocidad de fotosíntesis • Tasa de descomposición bacteriana • Solubilidad y transferencia de gases • Condiciones de mezcla
Viento	• Condiciones de mezcla • Reaireación atmosférica



Lagunas de Maduración

Introducción

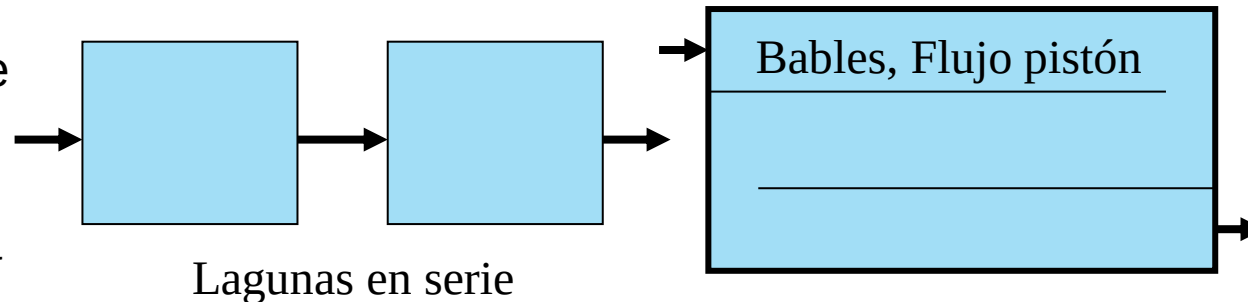
Son frecuentes como **tratamiento terciario** después de una secuencia de lagunaje anaerobio + facultativo, con el **objeto de mejorar la calidad del efluente principalmente reduciendo la concentración de patógenos**, para lo cual su colocación en serie o con flujo pistón es más efectiva .

Los factores que intervienen en el proceso son: Sedimentación, escasez de alimento, rayos ultravioletas, predadores, competencia y toxinas producidas por algunas especies en el medio, altas temperaturas y valores de pH.

Los **principales parámetros de diseño** para una carga dada son el **régimen hidráulico adoptado** y el **tiempo de retención**.

El régimen hidráulico tiene una gran eficiencia en la remoción de coliformes, en orden descendente la eficiencia es la siguiente:

- Flujo pistón
- Lagunas en serie
- Flujo disperso
- Mezcla completa



Lagunas aireadas

Son empleadas generalmente como **primera unidad de un sistema**, en casos **donde la disponibilidad de terreno es limitada** o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones y desechos industriales, son **muy utilizadas en climas fríos**. **El efluente es de buena calidad si se coloca seguidamente una laguna de decantación.**

Tipos de lagunas

- Lagunas aireadas de mezcla completa.
- Lagunas aireadas facultativas.
- Laguna facultativa con agitación mecánica.
- Laguna de oxidación aireada.



Los dos primeros tipos de lagunas, deben ser complementadas con lagunas facultativas diseñadas con la finalidad de tratar el efluente de la laguna primaria, asimilando una gran cantidad de sólidos en suspensión.

Lagunas aireadas de mezcla completa En estas lagunas se mantiene la biomasa en suspensión, con un alta densidad de energía instalada($>15 \text{ W/m}^3$). Son **consideradas como un procesos incipiente de lodos activados sin eliminación y recirculación de lodos** y la presencia de algas no es aparente.

la profundidad en este tipo de lagunas varia entre **3 y 5 m** y el período de retención entre **2 y 5 días**. Se recomienda el uso de aireadores de baja velocidad de rotación.

Laguna de Decantación

La remoción de sólidos en suspensión de las lagunas aireadas debe hacerse con decantación, generalmente se utilizan lagunas de decantación.



Parámetros de diseño

Un tiempo de retención mayor de **1** día, para sedimentación de sólidos en suspensión.

El volumen para acumulación de lodos debe calcularse separadamente. Los dispositivos de entrada y salida deben evitar al máximo el apareamiento de zonas muertas.

Para evitar el crecimiento de algas, se recomienda un tiempo de detención menor de **2** días.

En lugares calientes debe tener la posibilidad de trabajar a nivel variable, de modo de mantener un tiempo de retención próximo a un día.

Para el control de olores una altura entre **1** y **2** m de agua debe mantenerse sobre el lodo.

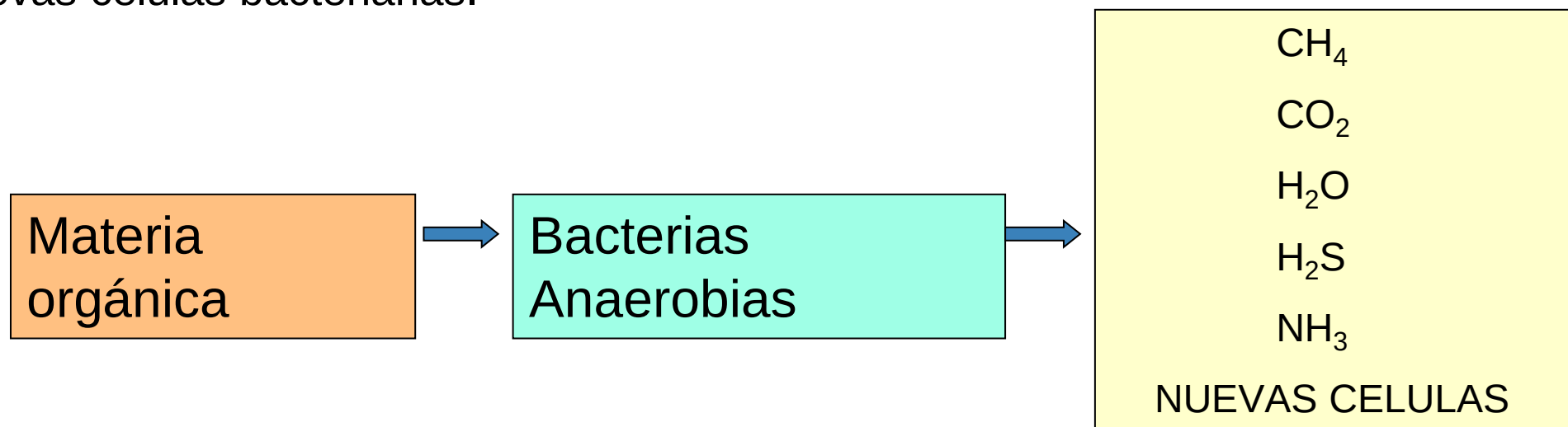
La profundidad de la laguna varia normalmente entre **3** y **5** m.

Se estima que entre el **40** y **60** % de los sólidos volátiles son degradados cada año en la lagunas



Digestión Anaerobia

Es un proceso que se realiza en ausencia de oxígeno, en el cual la materia orgánica compleja es convertida en: Metano, dióxido de carbono, agua, sulfuro de hidrógeno y amonio además de nuevas células bacterianas.



Fases del proceso

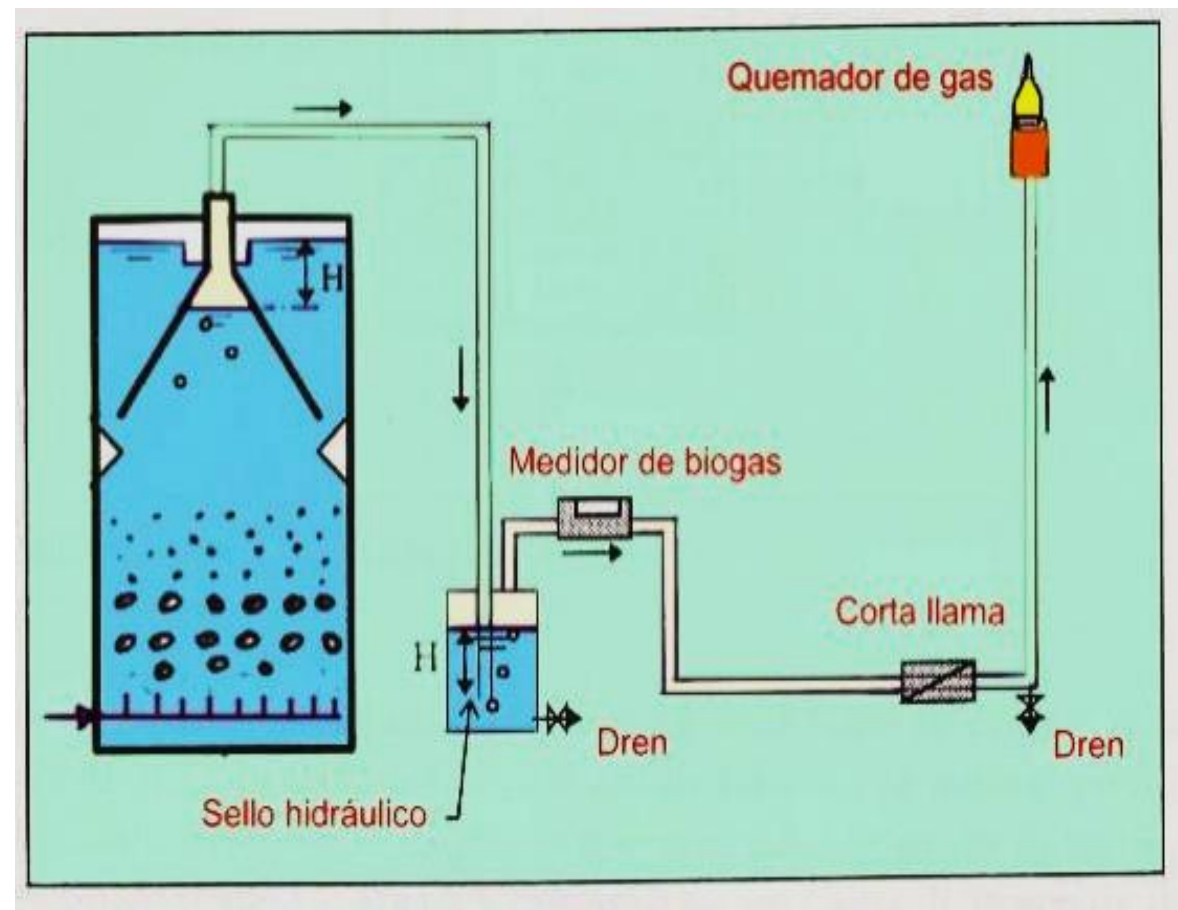
- ❖ Hidrólisis de compuesto orgánicos complejos
- ❖ Producción de ácidos
- ❖ Producción de metano (CH_4)

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y manto de lodos, RAFA

Introducción

Consiste en un flujo de aguas residuales que pasa a través de un lecho de lodo denso y de elevada actividad microbiológica. El perfil de sólidos en el reactor varía de muy denso y con partículas granulares de elevada capacidad de sedimentación, próximas al fondo (lecho de lodos), hasta un lodo más disperso y leve en la parte superior del reactor (manto de lodos).

La estabilización de la materia orgánica ocurre en todas las zonas de reacción (lecho y manto) siendo la mezcla del sistema generada por el flujo ascensional de las aguas residuales y las burbujas de gas.

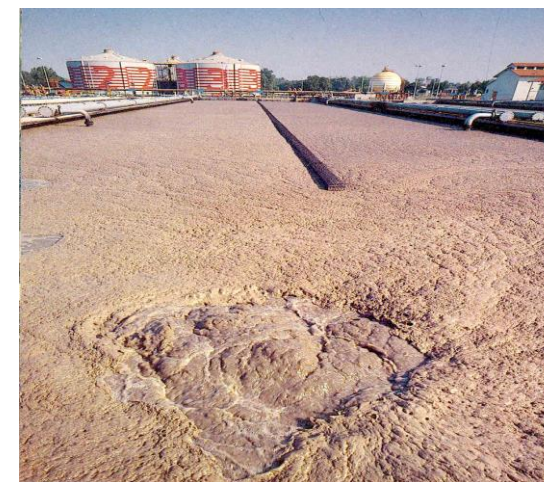
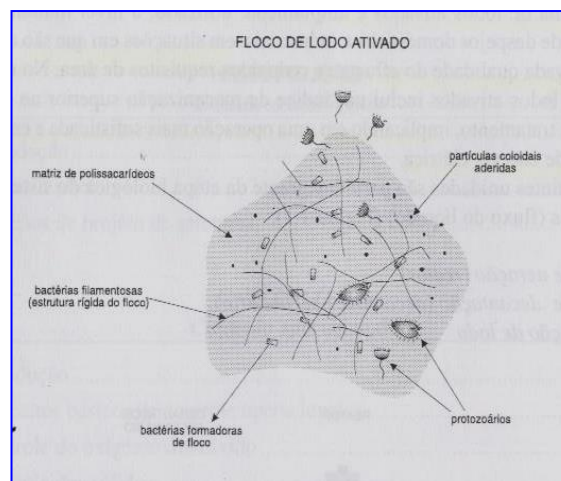


Lodos Activados

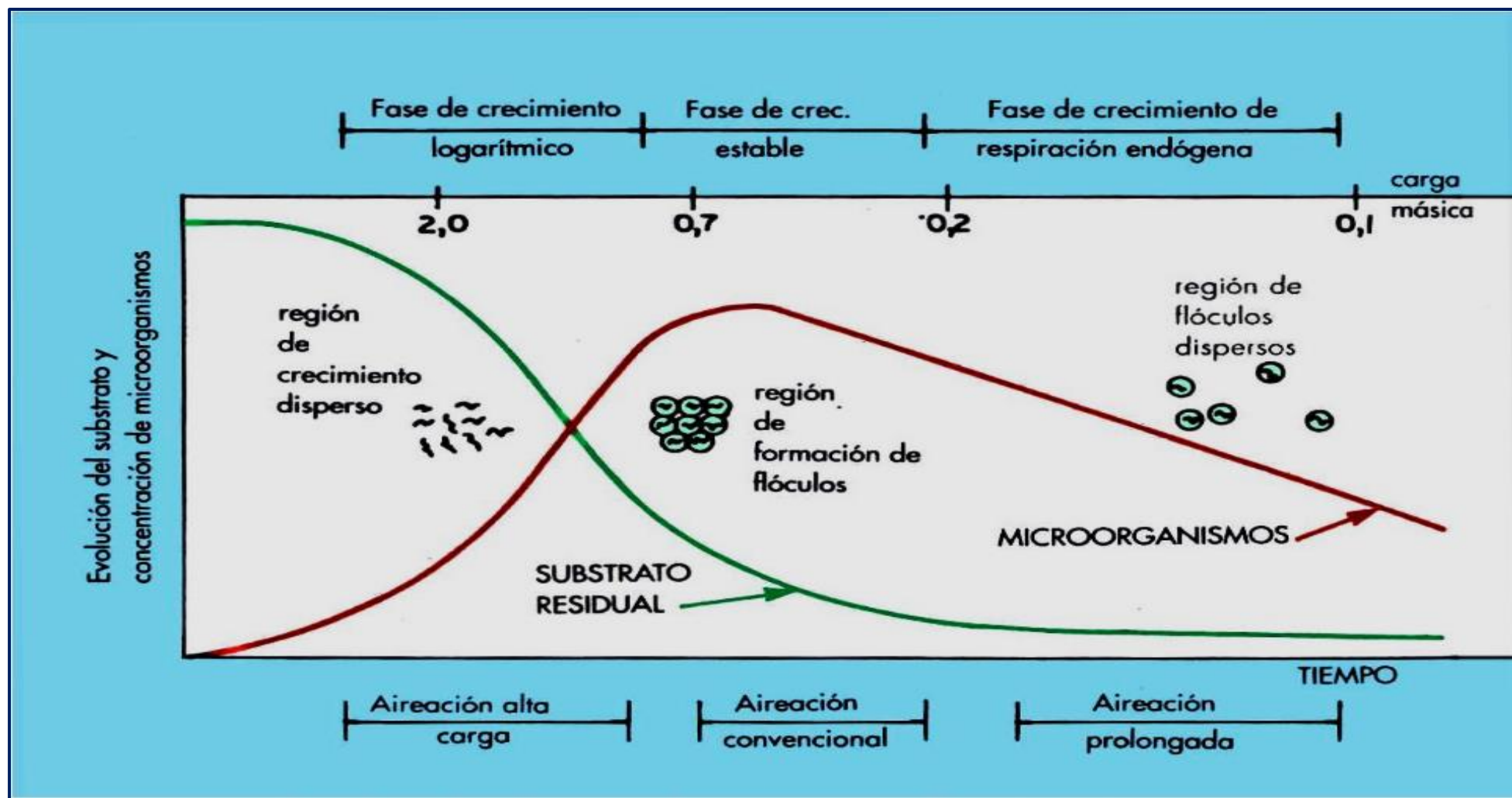
En este proceso pueden distinguirse dos operaciones diferenciadas: **Oxidación biológica y la separación sólido líquido**. La primera tiene lugar en la cuba de aireación, donde **se desarrolla un cultivo biológico formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos** (fangos activos), **La segunda en un clarificador o decantador** secundario, donde el licor mezcla se retiene para separar el agua depurada y los fangos floculados.

Este proceso requiere para su desarrollo de un **sistema de aireación y agitación**, que suministre el oxígeno necesario para que las bacterias aerobias realicen la acción depuradora, evite la sedimentación de los flóculos en el reactor y permita la homogenización de los fangos activos.

La población bacteriana **se mantiene en un determinada concentración de sólidos(MLSS)**, para llegar a un **equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos existentes** en el reactor, el cual se alimenta con agua residual a depurar.



Crecimiento de microorganismos y reducción de substrato

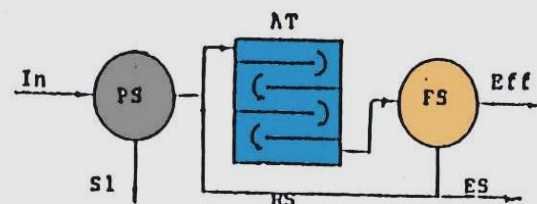


Tipos de reactores de lodos activados

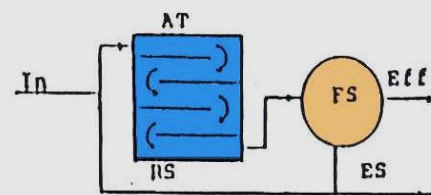
Eficiencias de remoción DBO, en %

Convencional	90 – 95
Aireación extendida	85 – 95
Aireación con Oxígeno	85 - 95
Canal de oxidación	85 - 95

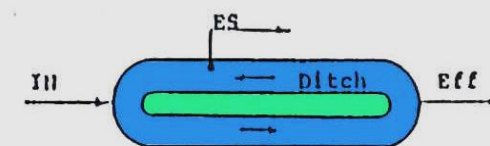
(1) Lodos activados convencionales



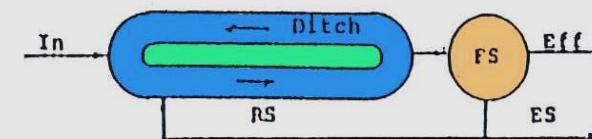
(2) Aereación extendida



(3) Canal de oxidación



(a) Flujo discontinuo



(b) Flujo continuo

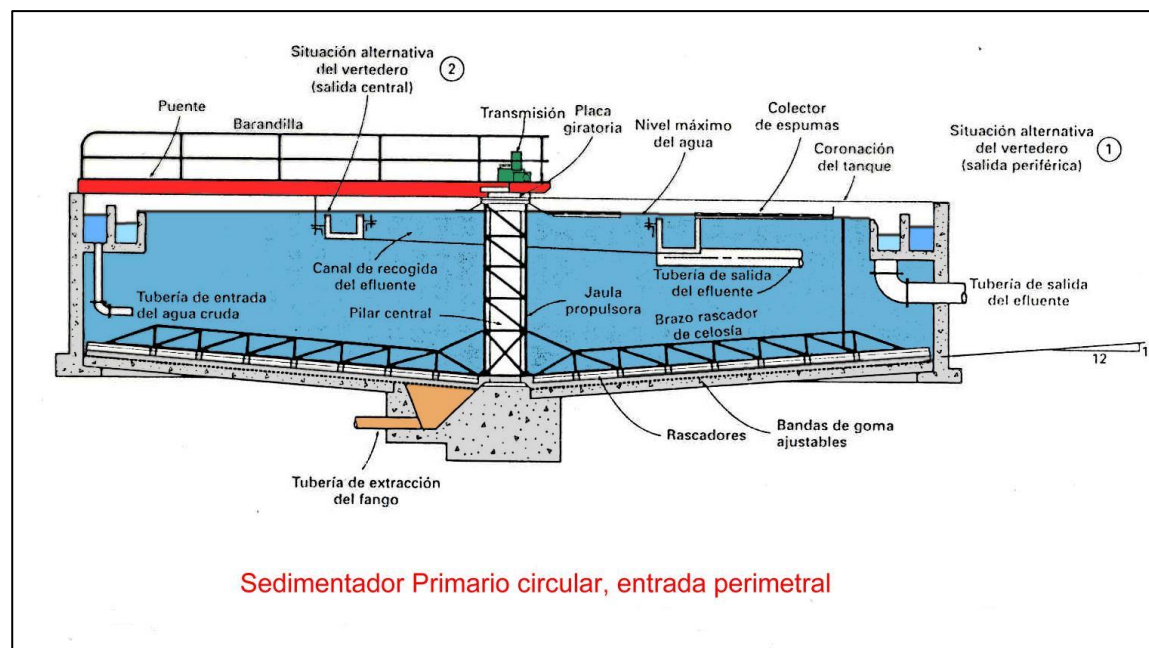
Note:

In: Influent	PS: Primary settling tank
Eff: Effluent	AT: Aeration tank
Sl: Sludge	FS: Final settling tank
ES: Excess sludge	SR: Sludge reaeration tank
RS: Return sludge	CT: Contact tank

Sedimentación secundaria

Es fundamental en el tratamiento de lodos activados y es responsable de los siguientes fenómenos:

- Separación de los sólidos en suspensión presentes en el efluente del reactor, permitiendo un efluente clarificado.
- Concentración de los sólidos en suspensión en el fondo del decantador, permitiendo el retorno de lodos con una concentración más elevada.
- Almacenamiento de los sólidos en suspensión en el decantador



Desinfección

Desde el punto de vista de salud, **es la etapa más importante del tratamiento del agua residual**. Se define como el proceso de destruir microorganismos patógenos mediante proceso físicos y químicos, su **objetivos son prevenir la extensión de enfermedades y proteger los abastecimientos de agua potable, playas zonas recreativas y zonas de cultivos**.

Tipos de microorganismos a eliminar

- Entero-bacterias (Salmonella typhosa, Vibrio Cholerae, Shigella sp, etc.)
- Virus (Poliomelitis, Hepatitis infecciosa, Echovirus, etec.)
- Protozoos (Leptospira icterohemosp, Leishmania sp, Huevos de gusanos, etc.)

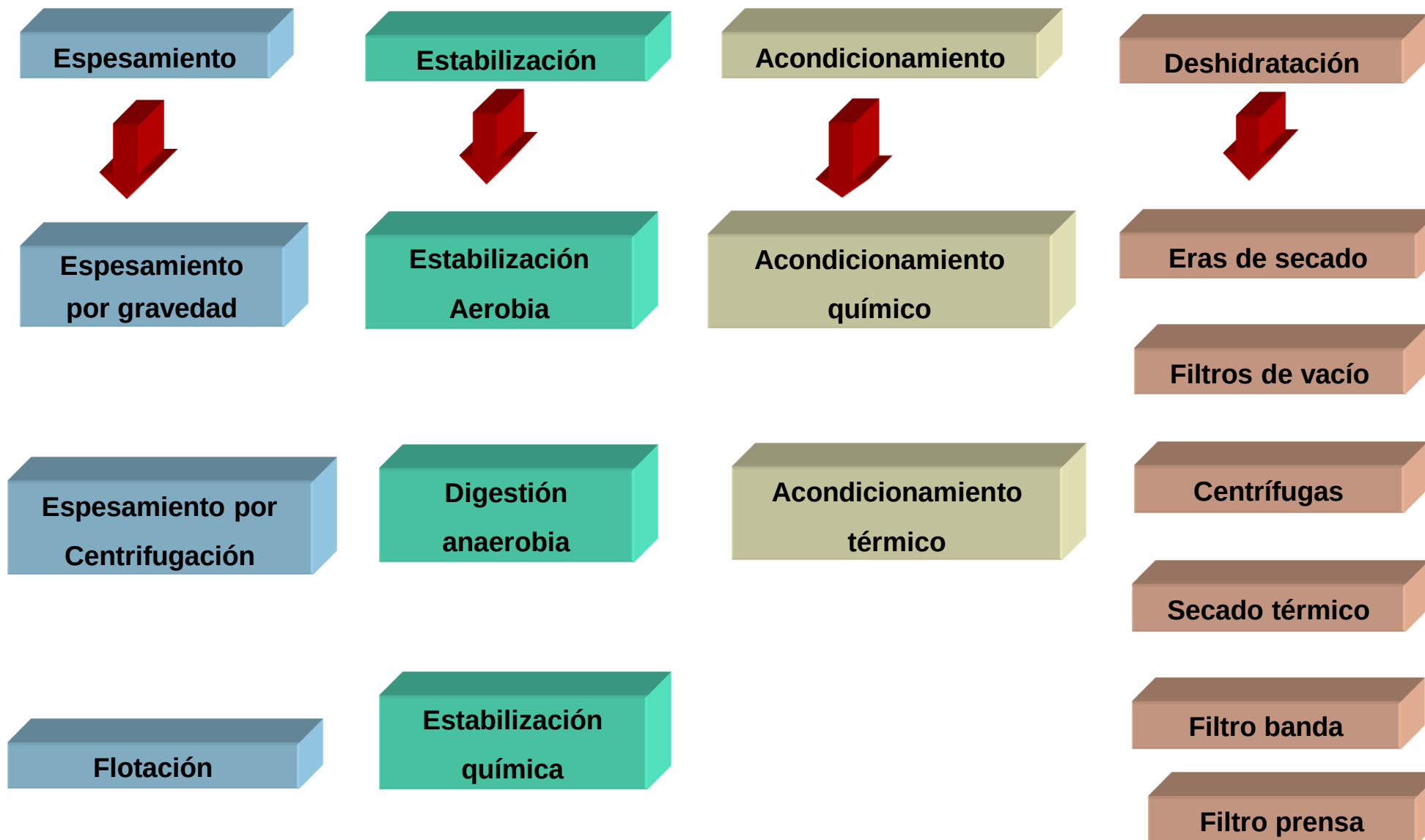
Métodos disponibles:

- Agentes químicos (Cloro, bromo, yodo, ozono)
- Agentes físicos (calor, Luz ultravioleta)
- Medios mecánicos (tamizado, sedimentación primaria, desarenadores)
- Radiación (rayos gamma cobalto 60)





Tratamiento de fangos





Lechos de Secado

La deshidratación es una operación unitaria física (Mecánica) **utilizada para reducir el contenido de humedad** generalmente de los lodos digeridos. El lodo se deshidrata la mayor parte por drenaje a través de la arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire y al sol.

El lodo se puede extraer después de que se haya secado y drenado suficientemente para ser paleado, este lodo seco tiene una textura gruesa y agrietada y es de color negro o marrón oscuro.

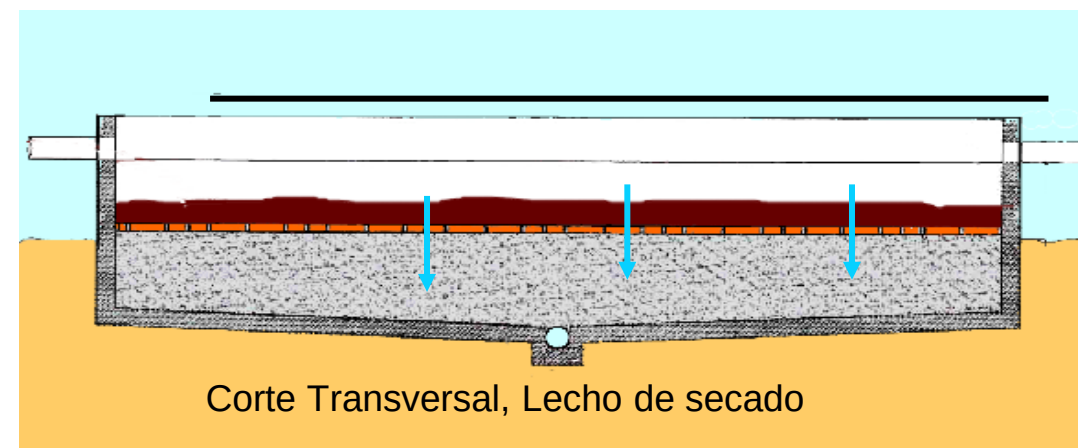
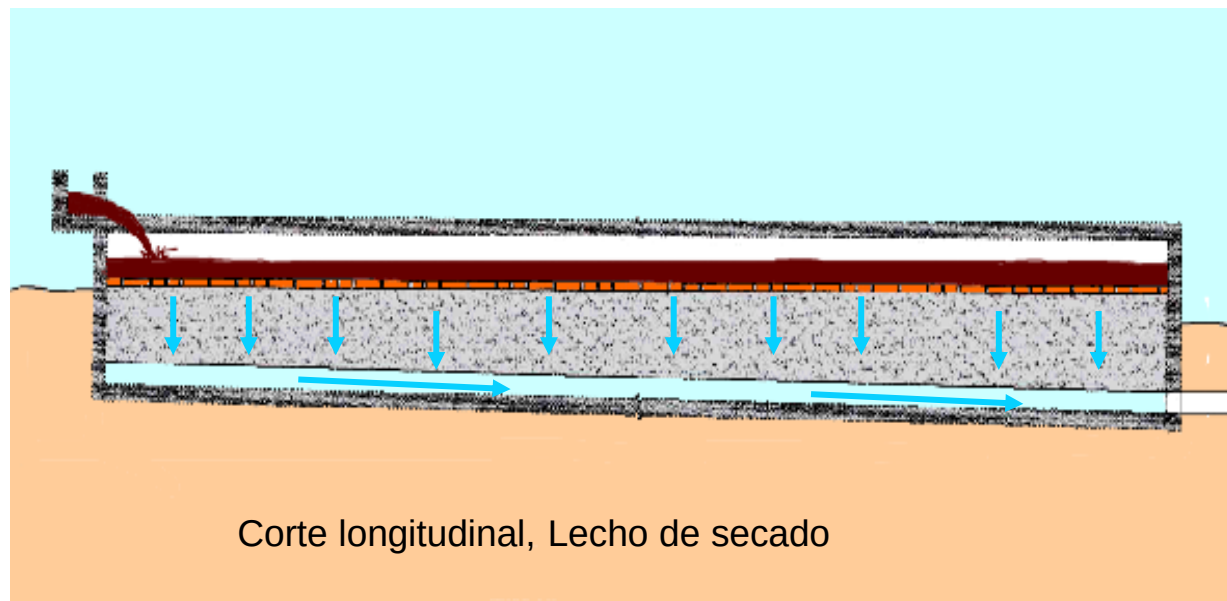
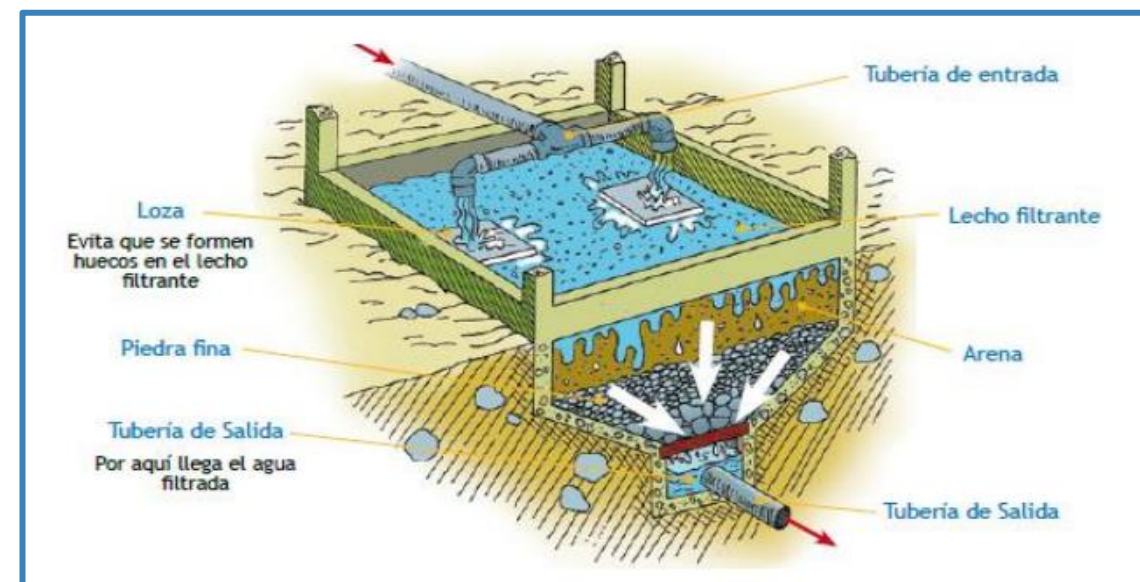
El contenido de humedad después de **15** días en condiciones favorables es del orden del **60 %**. La extracción del fango se realiza cargando manualmente con palas carretillas de mano.

El lodo seco se retira y se evacua a vertederos controlados o se utiliza como mejorador de suelos.



Componentes de un lecho de Secado

- ✚ Solera de drenaje
- ✚ Sistema de drenaje
- ✚ Material filtrante
- ✚ Camada de soporte





Objetivos de la deshidratación

- Reducir los costos de transporte
- Facilitar su manipulación
- Es necesaria para aumentar su poder calorífico previo a su incineración
- Antes del compostaje para reducir la cantidad de material de enmienda o soporte
- Para evitar la generación de olores y que el lodo sea putrescible.
- Para reducir la producción de lixiviados previo a la evacuación a vertederos controlados.





Disposición de Lodos

Vertedero

Vertido al mar

Acondicionamiento de suelo

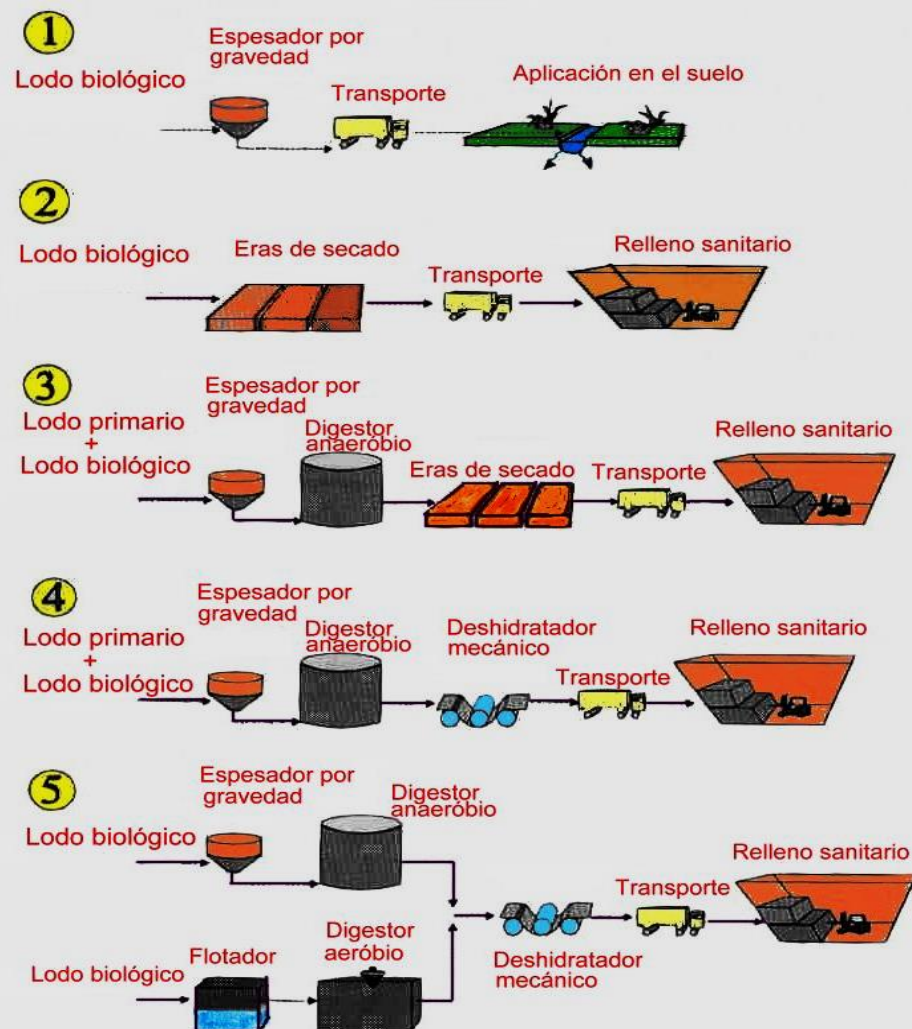
Uso agrícola

Incineración

Compost

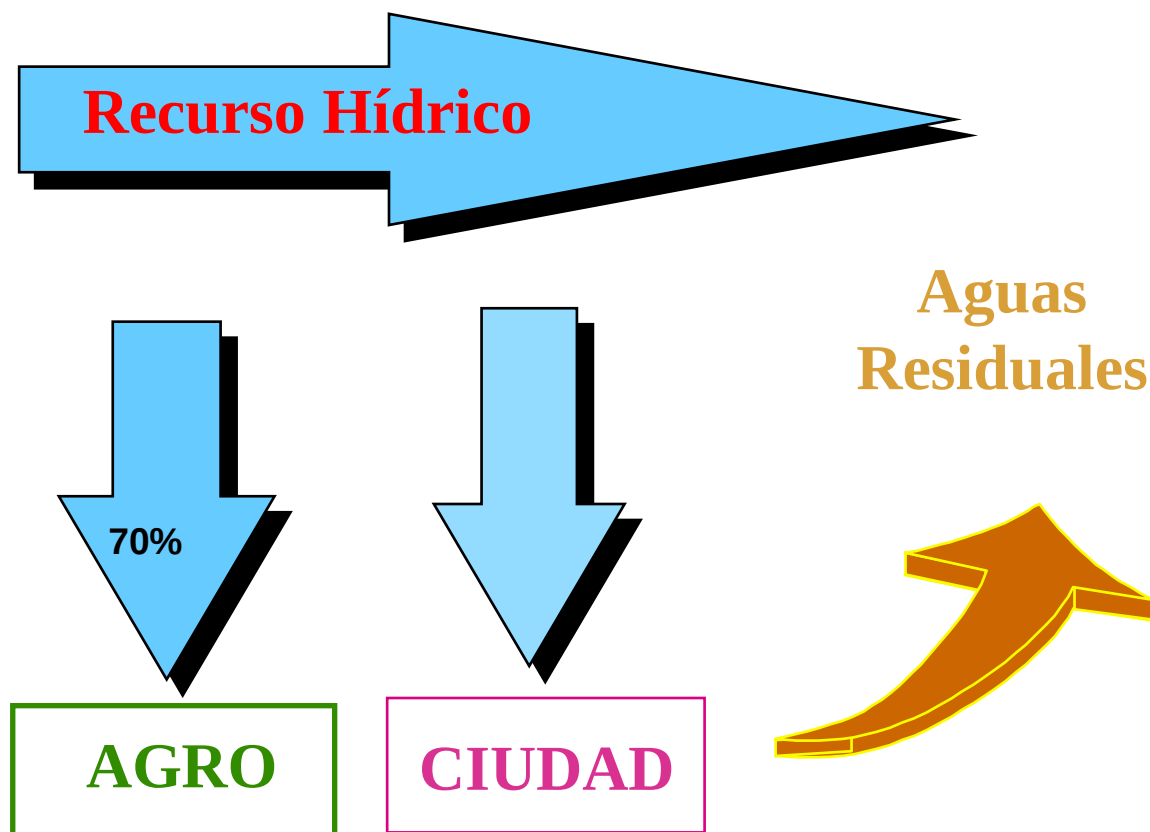
Otros

Tratamiento y disposición de lodos

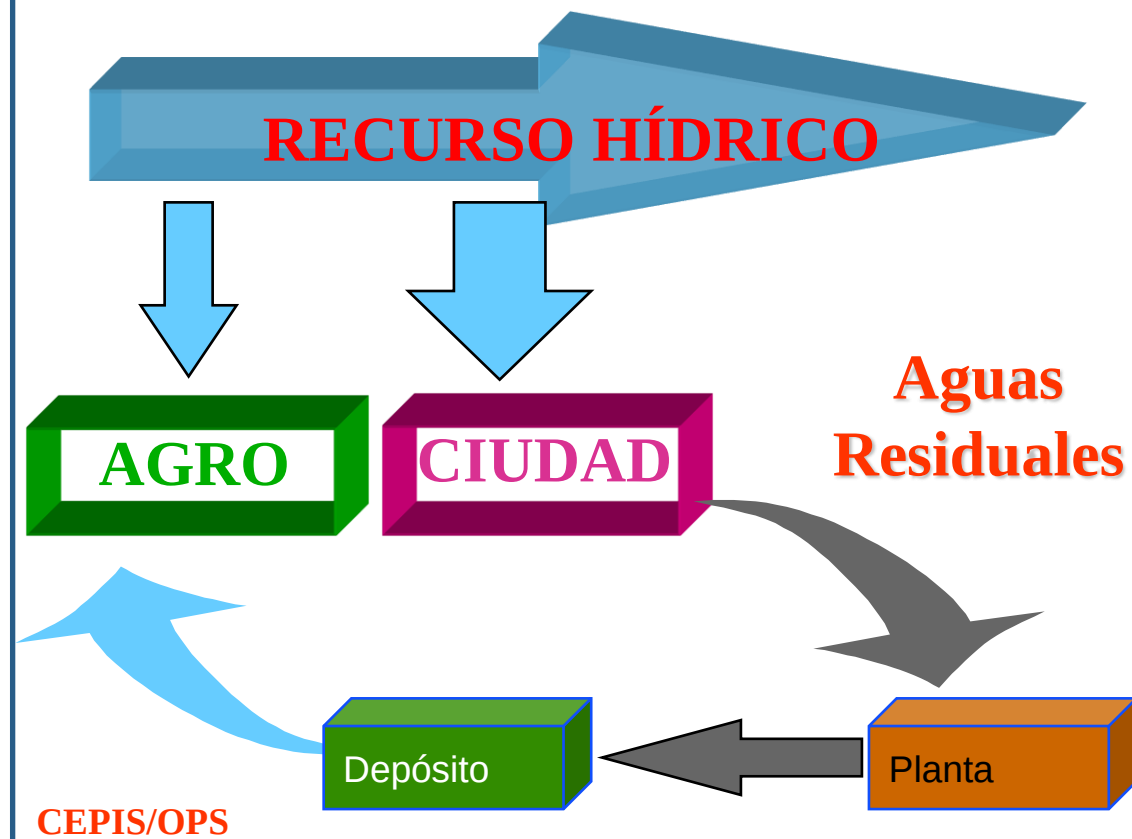


Reúso del agua residual

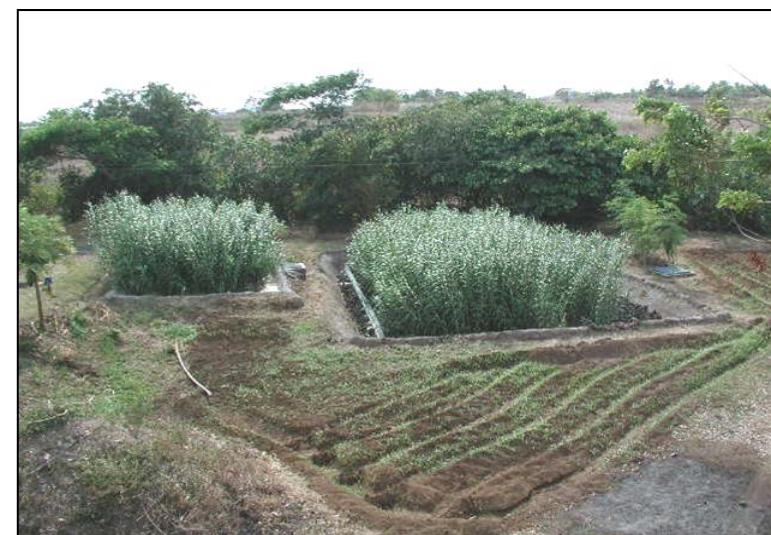
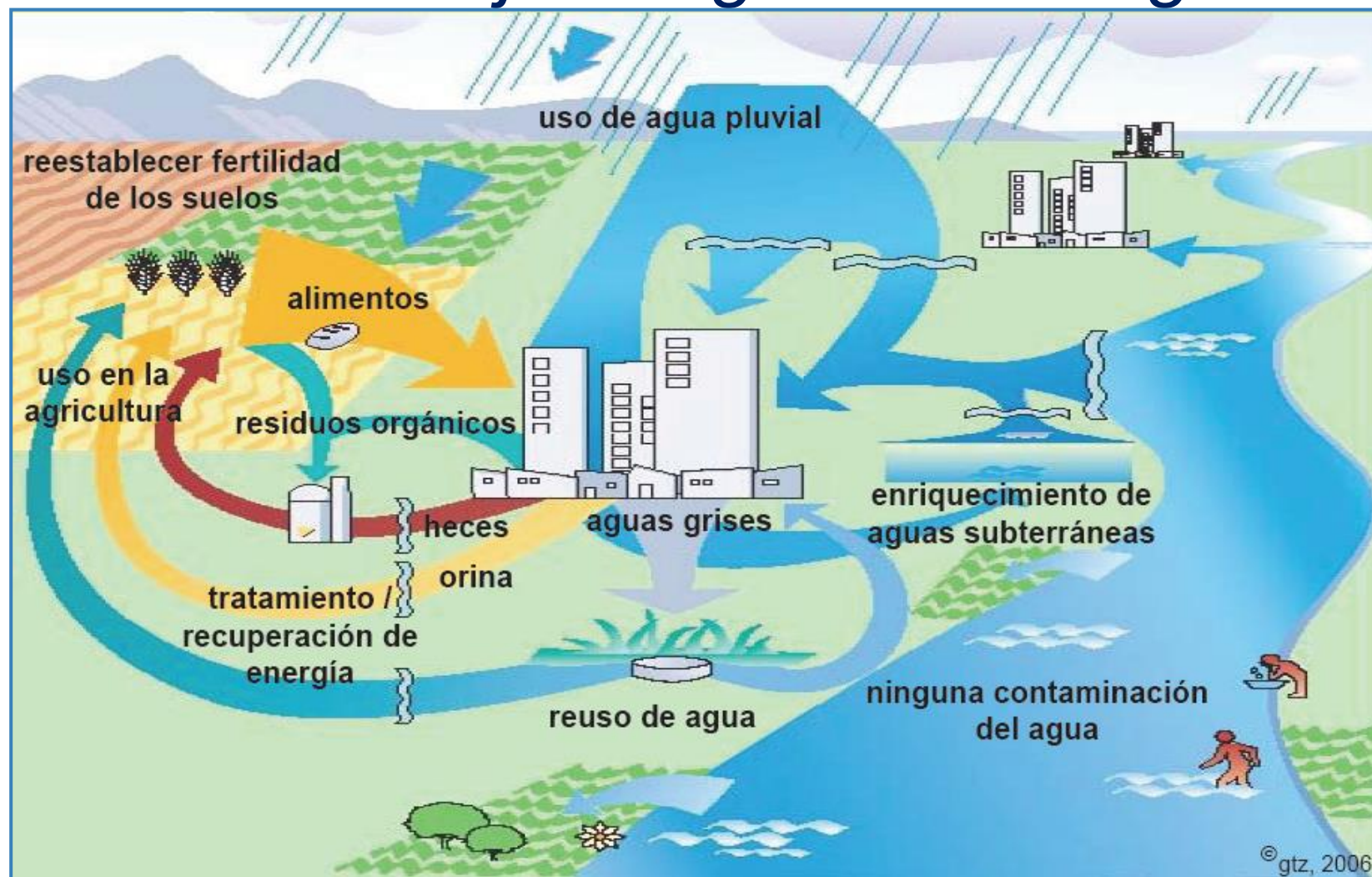
Situación actual



Manejo Integral



Manejo integral de las aguas residuales

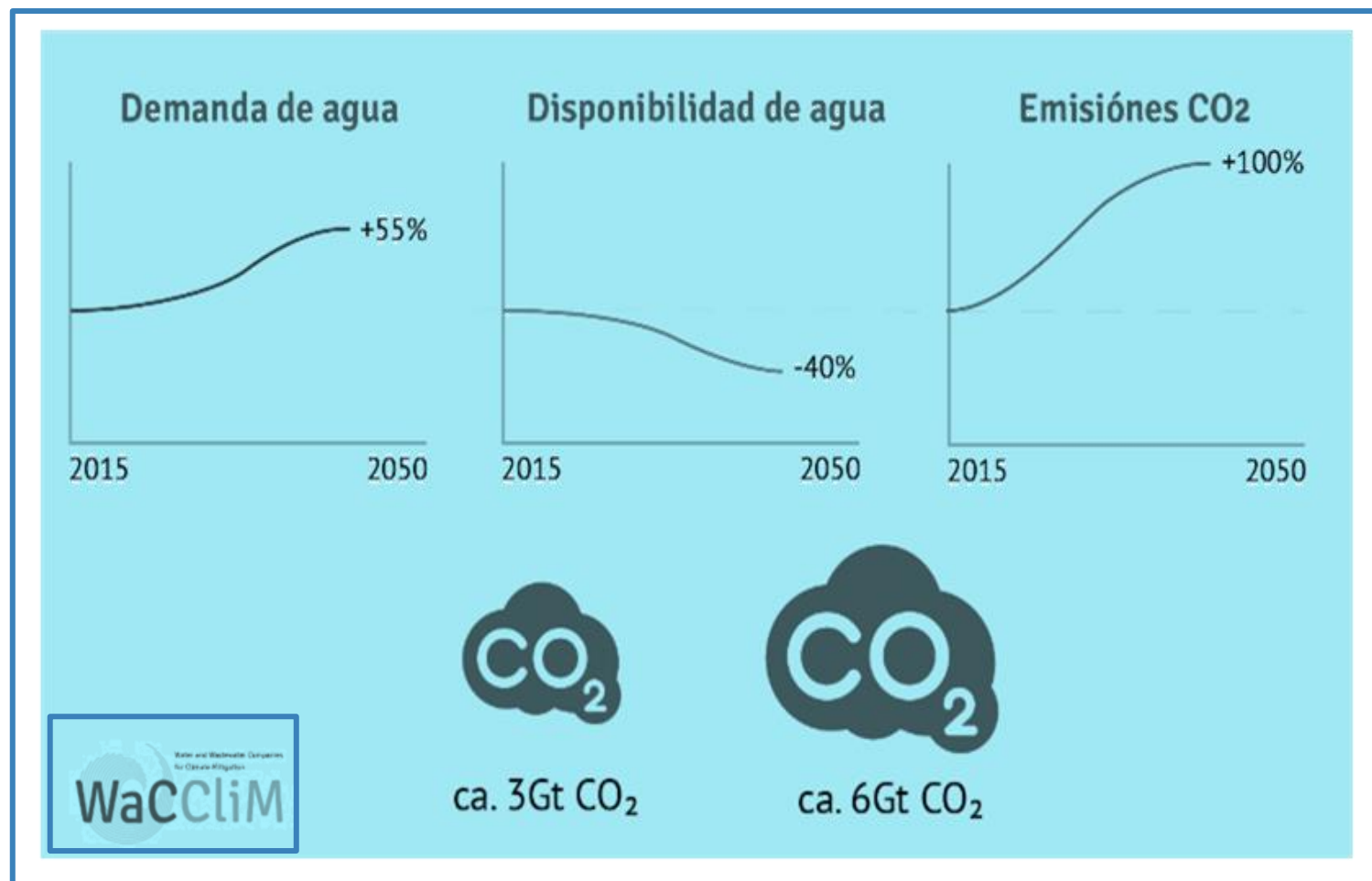


La disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua, ya que la contaminación de las fuentes de agua puede excluir diferentes usos.

Agua residual visto como un recurso

Los flujos de aguas residuales contienen elementos aprovechables, como: **nutrientes, metales y materia orgánica**, tal como **el agua** en sí misma, que pueden ser extraídos y utilizados para otros fines productivos.

Las aguas residuales son, por lo tanto, un recurso valioso y si se logra su gestión sostenible se convertirán en un pilar fundamental de la economía circular.



Reflexión sobre el Reuso de aguas residuales

- Se utiliza desde la antigüedad (Antigua Grecia con sistemas de saneamiento del año 3.000 a.C)
- Existen Guías de la OMS para el uso seguro de agua residual (1973,1989 y 2006)
- El agua potable es el recurso natural más importante del planeta, es limitado y cada vez más escaso. No tiene sentido que la usemos para actividades que no requieren que sea potable.
- La reutilización de agua les permite a las comunidades depender menos de las fuentes de aguas subterráneas y superficiales y puede disminuir la extracción de agua de los ecosistemas sensibles.
- El Agua Residual es una fuente de agua confiable, que además es resiliente contra las interrupciones de suministro por estacionalidad y las que se pudieran desencadenar, debido al cambio climático.
- El tratamiento y reutilización adecuados de las aguas residuales contribuiría a una mayor seguridad alimentaria y a generar fuentes alternas de agua y nutrientes, así como otros materiales recuperables.
- La población de mayor ingreso exporta los efluentes de las depuradoras a los cursos de agua, la mayor parte del tiempo contaminando el ambiente, exponiendo e infectando a quienes viven “río abajo”.
- En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres, que subsisten por medio de la agricultura.
- Mejora el rendimiento económico al reducir los costos por suministro de agua y nutrientes e incrementa la producción, reduce las áreas y niveles de tratamiento, reduce los costos de potabilización y los impactos ambientales.

Fases de la gestión integrada de las aguas residuales

1. Prevención o reducción de la fuente de contaminación

- Control de la contaminación hídrica que se centren en la prevención y minimización de las aguas residuales.

2. Recolección y tratamiento de aguas residuales

- Las redes centralizadas de eliminación de desechos por flujos de agua siguen siendo el método más común de saneamiento y evacuación de las aguas residuales de origen doméstico, comercial e industrial.

3. Utilización de aguas residuales como fuente alternativa de agua

- Las aguas regeneradas también sirven como un suministro de agua sostenible y confiable para la industria y las municipalidades.

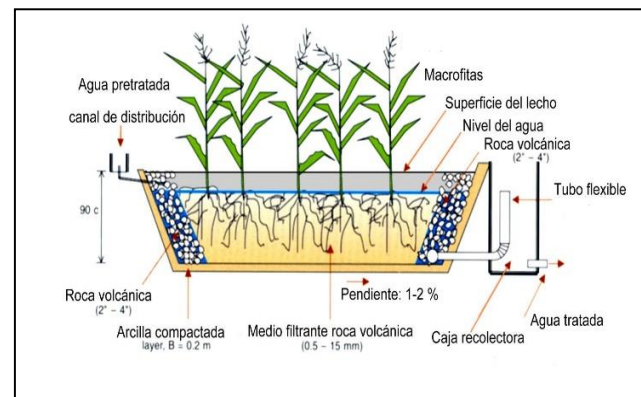
4. Recuperación de productos útiles

- Fuente de recursos, como energía y nutrientes, sigue siendo poco explotado. La orina contiene el 88% de nitrógeno y el 66% del fósforo que se encuentran en los desechos humanos.



Tipos de reúso

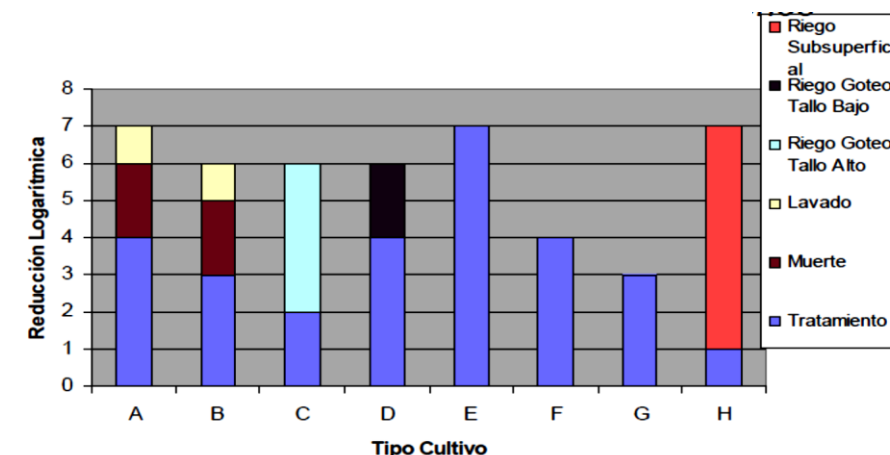
- Riego agrícola
- Irrigación de jardines
- Riego forestal y pastos
- Acuicultura
- Recarga de acuíferos
- Industrial
- Recuperación de ríos
- Protección de áreas costeras.



Reducción típica de patógenos, por medidas de control para aplicación del manual de las Guías 2006

Medida de control	Reducción logaritmica de patógenos	Notas
Tratamiento Aguas Residuales	1-6	La remoción de patógenos requerida en una planta de tratamiento de aguas residuales depende s la combinación de las medidas de protección a la salud
Irrigación Localizada (cultivos de tallo bajo)	2	Cultivos bajo suelo y cultivos como la lechuga que crecen arriba del suelo, pero en contacto con el.
Irrigación localizada (cultivos de tallo alto)	4	Cultivos, tales como el tomate, las partes cosechadas no están en contacto con el suelo.
Control de emisiones de rocío/aspersores	1	Uso de micro aspersores, aspersores controlados por anemómetros, aspersores de flujo hacia dentro.
Zona de amortiguamiento del rocío de los aspersores	1	Protección de residentes cerca del area de influencia del rocío emanado por la aspersión. La zona de amortiguamiento debe ser de 50 a 100 m.
Muerte natural patógenos	0.5-2 por día	Muerte natural en la superficie del cultivo que ocurre entre el último riego y el consumo. La reducción logarítmica depende del clima (temperatura, intensidad solar, tipo de cultivo, etc.)
Lavado de producto	1	Lavado con agua limpia de cultivos para ensalada, vegetales y frutas
Desinfección de producto	2	Lavado con un desinfectante ligero y agua limpia de cultivos para ensalada, vegetales y frutas
Remoción de cáscara	2	Cultivos de frutas o de raíz.
Cocimiento	5-6	Se asegura la destrucción de patógenos por la inmersión del cultivo en agua hirviendo hasta que esté cocinado

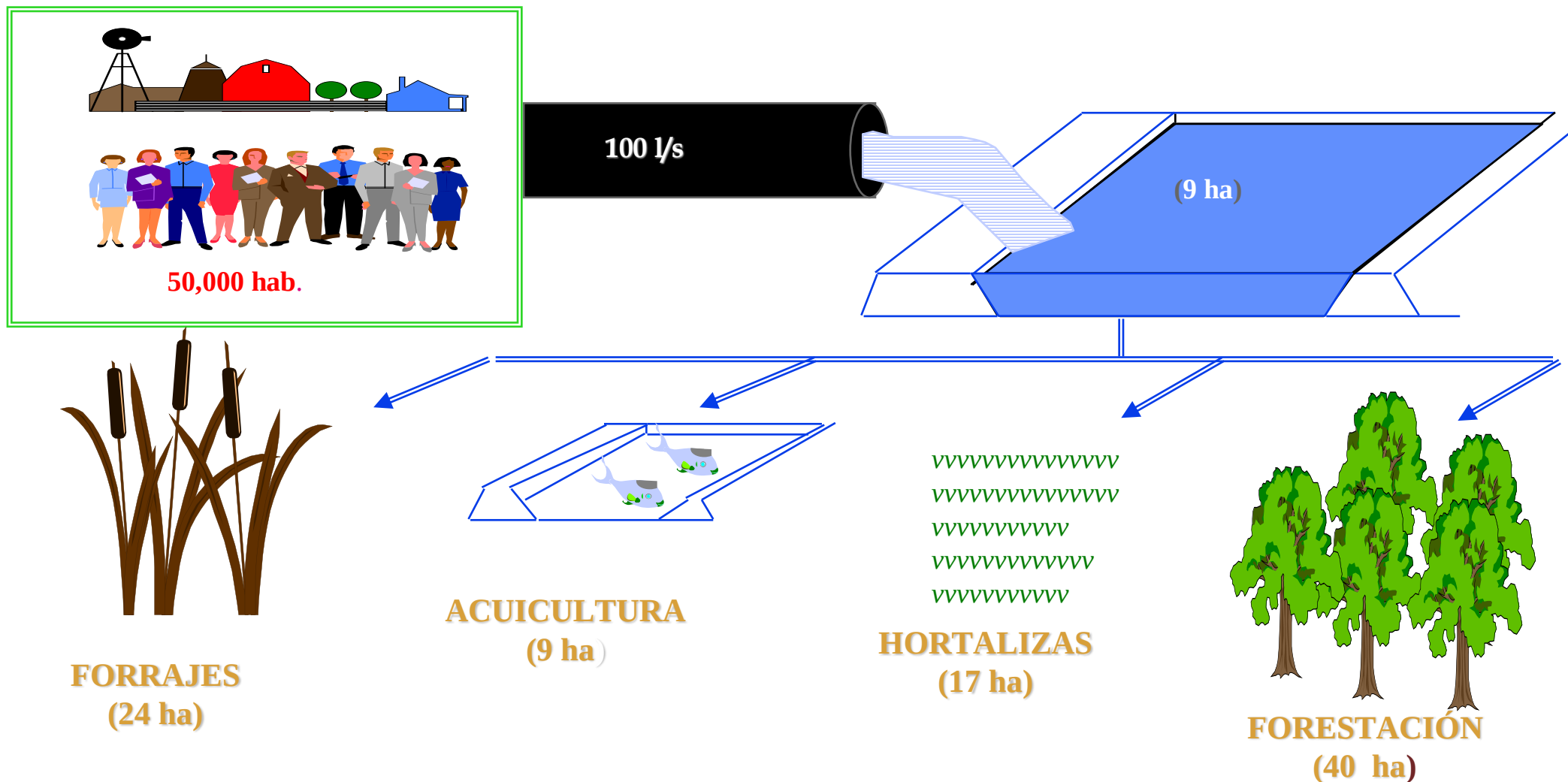
Opciones para la reducción de patógenos



A = cultivos con raíz, B = cultivos con hojas, C= Riego por goteo, cultivos de tallo alto, D = Riego por goteo cultivos tallo bajo, E = Requerimiento Tiulo 22 California, F= Agricultura mano obra intensiva, G = Agricultura altamente mecánica, H = Irrigación subsuperficial



Módulo de Tratamiento y uso





Reuso de agua en agricultura, El Zamorano



Laguna Terciaria



Plantación de frijoles



Elaboración de Compost

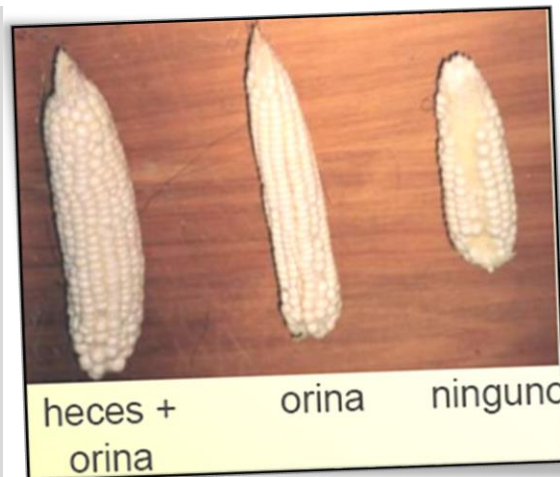


Riego de maíz y frijoles

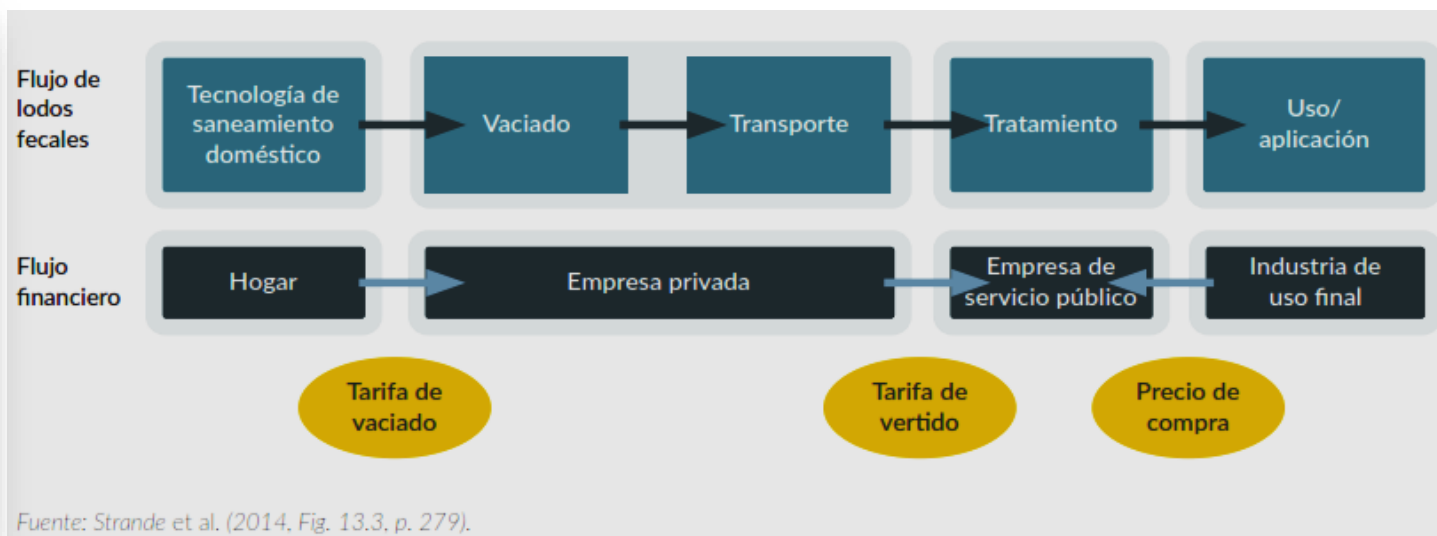
Uso de nutrientes de aguas residuales

CEPIS/OPS, 1997

CULTIVO	AGUAS NEGRAS	AGUAS BLANCAS
Alfalfa	12	10
Maíz	5	2
Trigo	3	2
Cebada	4	2
Avena forraje	22	12
Tomate	35	18
Ají	12	7



Modelo de flujo financiero para el manejo de lodos fecales



El lodo generado es rico en nutrientes y materia orgánica, lo que le confiere un potencial considerable como acondicionador del suelo y fertilizante.



Tabla 1. LMP para metales pesados en biosólidos.

NOM-004-SEMARNAT-2002 CONTAMINANTE (determinados en forma total)	TIPO:	
	EXCELENTE mg/Kg base seca	BUENO mg/Kg base seca
Arsénico	41	785
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Clasificación en función de su contenido de patógenos y parásitos

APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS EN FUNCION DEL TIPO Y CLASE. CONTENIDO DE HUMEDAD HASTA EL 85 %.

NOM-004-SEMARNAT-2002	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
CLASE:	Coliformes fecales NMP/g base seca	Salmonella ssp. NMP/g base seca	Huevos de Helmintos / g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

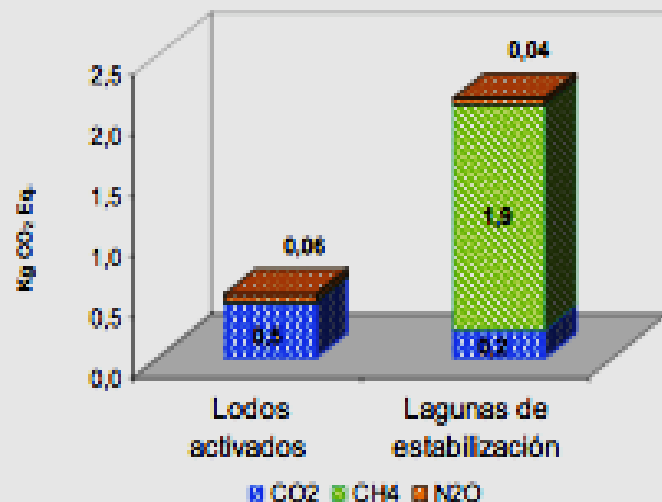
TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	Usos urbanos con contacto publico directo durante su aplicación
EXCELENTE O BUENO	B	Usos urbanos sin contacto directo durante su aplicación. Los establecidos para clase C.
EXCELENTE O BUENO	C	Usos forestales Mejoramiento de suelos Usos agrícolas

a) Huevos de Helminto viables.

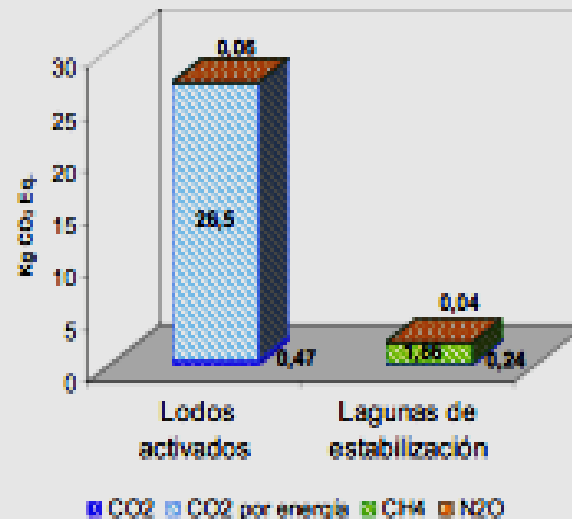
La aplicación de biosólidos para aprovechamiento agrícola y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley de Sanidad Vegetal.

Potencial de Calentamiento Global

Figura 11. Potencial de calentamiento global por componentes, en Kg CO₂ Eq.

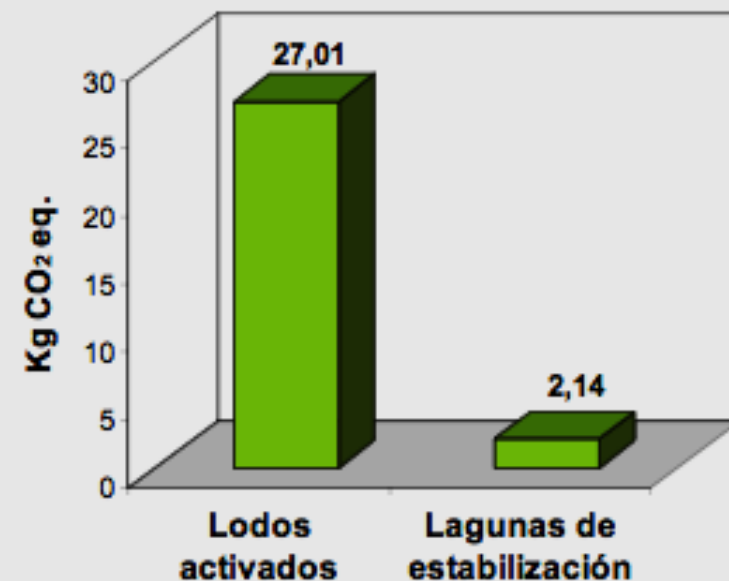


a) Producción de gases sin considerar el consumo de electricidad



b) Producción de gases considerando el consumo de electricidad

Figura 12. Potencial de calentamiento global, en Kg CO₂ Eq.



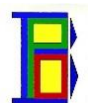
Fuente:
Villareal & Zambrano (2006)



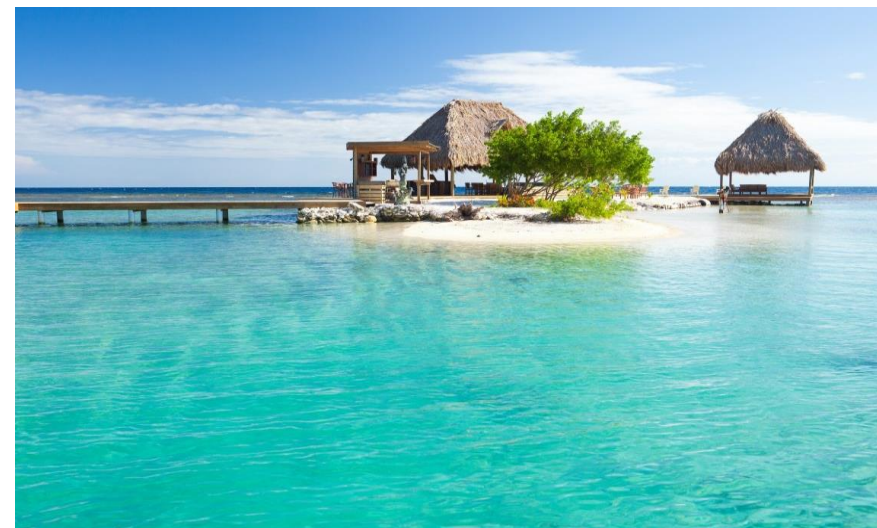
CONASA
Consejo Nacional de Agua
Potable y Saneamiento

para todos
por siempre
AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN HONDURAS

*¡Gracias por su
Atención!*



Ing. Pedro E. Ortiz B.



**No Contaminemos,
conservemos Nuestro Ambiente**