



**Departamento de Bioquímica Clínica.
Area Tecnología en Salud Pública.
Asignatura Salud Pública.**

Titulo del trabajo: “Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica”.

Nombre y Apellido del alumno: Augusto Sorrequieta.

Fecha de presentación: 2 de Junio de 2004.

La intención de este trabajo es plantear la importancia de un adecuado tratamiento de las Aguas Residuales en América Latina como medida de preservación de la Salud Poblacional así como también el rol del Bioquímico en la puesta en marcha, desarrollo y control de esta tecnología.

Sorrequieta Augusto

ÍNDICE:

- ❖ INTRODUCCIÓN
- ❖ TRANSMISIONES DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA
- ❖ AGUAS RESIDUALES
 - CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍQUIDOS CLOACALES
 - EL LIQUÍDO CLOACAL: Características según su origen
 - CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES
 - CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AGUA
 - CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA
- ❖ REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA: NECESIDADES Y PROBLEMAS.
 - CONTROL DE LOS EFLUENTES PARA REUSO Y DE LOS CULTIVOS
- ❖ TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
 - OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AR:
 - PROCESOS UNITARIOS DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA
- ❖ TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS
- ❖ LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
 - CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LAS LAGUNAS
 - ECOSISTEMAS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
 - CLASIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS LAGUNAS
 - ELECCIÓN LAGUNAS FACULTATIVAS VS. ANAERÓBICA
 - SISTEMAS DE LAGUNAS DE VARIOS TIPOS Y MODULACIÓN DE UNIDADES
 - CONTROL Y RENDIMIENTO
 - VENTAJAS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
 - CONDICIONES ACEPTABLES Y NO ACEPTABLES DE APLICACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN
- ❖ LODOS O FANGOS ACTIVADOS
- ❖ SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LOS LODOS. DESTINO USOS, VENTAJAS Y PRECAUCIONES
- ❖ CONCLUSIONES
- ❖ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTRODUCCION:

El 49% de la Región de América Latina y El Caribe tiene servicio de alcantarillado colectándose diariamente 40 millones de metros cúbicos de aguas residuales que se vierten a los ríos, lagos y mares.¹

Del volumen colectado por los sistemas de alcantarillado, menos del 10% recibe algún tipo de tratamiento previo a su descarga en un cuerpo de agua superficial o antes de su uso para el riego de productos agrícolas.¹

Las descargas de estas aguas residuales sin ningún tratamiento, contaminan las playas de uso recreacional y los productos hidrobiológicos que crecen en las áreas cercanas. Esta situación también ocasiona un grave impacto económico sobre las exportaciones de productos hidrobiológicos y el turismo.¹

La disposición de las aguas residuales sin tratamiento previo en aguas superficiales afecta su posterior uso. Muchos de los ríos y lagos utilizados como fuente de abastecimiento de agua, tienen altos niveles de contaminación microbiológica (16 ríos de América superan los 1000 coliformes fecales/100 ml; GEMS-1987).¹

Estas mismas aguas superficiales se usan para el riego de cultivos agrícolas de consumo humano, incrementando los factores ambientales de riesgo para la salud de la población.¹

Dentro de las patologías desencadenantes de la mortalidad infantil, las diarreas son altamente preocupantes en toda la región latinoamericana. La contaminación del agua y de los alimentos constituye un importante factor de riesgo de enfermedades diarreicas; se ha calculado que hasta un 70% de los 1 400 millones de episodios de diarrea que afectan a los niños menores de 5 años en todo el mundo se debe a patógenos transmitidos por el agua y los alimentos. Las cepas de *Escherichia coli*, por sí solas causan el 25% de todas las diarreas en el mundo.¹

Los componentes orgánicos presentes en el agua residual no son estables y, mediante un proceso natural, aerobio o anaerobio tienden a transformarse en compuestos más estables que, finalmente, a través del reino vegetal, son reintegrados al ciclo vital. Ahora bien, esta transformación que se realiza en los cauces naturales, supera, cuando el desagüe es importante, la capacidad asimilativa o auto depuradora del cuerpo receptor. De esta forma se crea en dicho cuerpo receptor una progresiva degradación, uno de cuyos más destacados efectos es la reducción del nivel de O₂ disuelto hasta niveles en los que no es posible el desarrollo de la vida. Todo esto lleva a una degradación progresiva de los cauces naturales.²

Un ejemplo del impacto económico derivado de la contaminación lo experimentan las plantas potabilizadoras de agua que incrementan sus costos debido a la pobre calidad del agua cruda que procesan.¹

Es necesario tomar conciencia y decidir una acción sobre la situación por la que estamos atravesando, producto de la poca o ninguna atención que hemos brindado a los recursos renovables como el agua.

No estamos plenamente conscientes ni tenemos un real conocimiento de que la capacidad de renovación de los cuerpos de agua es finita, y se ha abusado de la creencia de la asimilación ilimitada por parte de la naturaleza. De este modo, en los niveles de decisión política de nuestros países tanto central como local, no se le ha otorgado la prioridad necesaria a la descontaminación de los cursos superficiales del agua. Por otro lado, en todos los sectores de nuestra sociedad no existe una percepción cabal de los riesgos para la salud a los cuales estamos expuestos, a través de la cadena de factores de riesgo asociados a la disposición de las aguas residuales sin tratamiento previo.³

TRANSMISIONES DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA: ⁴

Antes de comenzar sería importante resumir las enfermedades que se relacionan íntimamente con el agua, de manera de tener una idea mas clara de los riesgos para la salud relacionado con este recurso renovable:

- 1) Enfermedades microbiológicas transmitida por el agua: Enfermedades en las que el organismo patógeno se encuentra en el agua y cuando se ingiere una dosis suficiente infecta al que la bebe. La mayoría de estos patógenos provienen de la contaminación del agua con excretas humanas. Las enfermedades mas importantes de este tipo incluyen: disentería amebiana, la shigellosis, el cólera, las diarreas del tipo E. Coli, las diarreas virales, la hepatitis A, y la fiebre tifoidea.
- 2) Enfermedades químicas transmitidas por el agua: Enfermedades asociadas ala ingestión de agua con sustancias tóxicas en concentraciones dañinas. Estas pueden ser de origen natural o artificial y dichas enfermedades tienen mayor importancia en países industrializados y es común que sean de evolución crónica. Ejemplo: Nitratos por el riesgo de formación de nitrosaminas cancerigenas y el riesgo de metahemoglobinemias.
- 3) Enfermedades relacionadas con la higiene: Enfermedades evitables si se dispone de agua segura y en cantidad suficiente para la higiene personal y doméstica. Como ejemplos podemos citar enfermedades de la piel como la tiña y de los ojos como el tracoma. Pueden también incluirse enfermedades asociadas a la infestación por insectos como la sarna y la pediculosis.
- 4) Enfermedades transmitidas a través del contacto con el agua: Transmitidas a través del contacto con la piel con agua infestada con organismos patógenos. La mas importante de estas enfermedades es la esquistisomiasis.
- 5) Enfermedades con vector de hábitat acuático: En este grupo se incluyen aquellas enfermedades que dependen en parte del ciclo vital de vectores acuáticos. Ej.: Malaria (asociada a mosquitos).

AGUAS RESIDUALES (AR):

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado.

Aguas residuales domesticas: Líquidos provenientes de las viviendas, e edificios comerciales e institucionales.

Aguas residuales municipales: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratada en una planta de tratamiento municipal.

A estas dos últimas se le suele llamar Líquidos cloacales.

Aguas residuales industriales: Aguas residuales provenientes de la descargas de industrias de manufacturas.⁵

CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍQUIDOS CLOACALES ²

1) Características Físicas:

- a) Temperatura.
- b) Olor: amoníaco, sulfuros, escatol, mercaptanos.
- c) Color: según su condición: fresco, viejo, séptico.

2) Características químicas:

- a) Materia orgánica: Hidratos de carbonos, proteínas, grasas.
- b) Materia inorgánica: Principalmente cloruros, sulfatos y fosfatos de sodio, calcio, magnesio y potasio.
- c) Agentes tenso activos: sulfatos de alquilo lineales (biodegradables)

3) Características microbiológicas:

- a) Bacterias entéricas (flora intestinal).
- b) Bacterias enteropatógenas.
- c) Parásitos.
- d) Virus.



Distribución de los sólidos contenidos en el agua residual urbana típica:

EL LIQUIDO CLOACAL: Características según su origen ²

- ❖ Agua de cocina: detergentes, grasas y restos de alimentos.
- ❖ Agua de lavado: detergentes y jabones.
- ❖ Agua de baño:
 - Materia Fecal: 20% materia seca, 80% agua.
 - Restos de alimentos no digeridos: proteínas, hidratos de carbonos, grasas.
 - Secreción biliar Sales de Ca y Fe.
 - Elementos celulares de pared intestinal.
 - Bacterias (450 millones /g. MF).
 - Orina: 1.5 l/día.

- Urea.
- Aniones: cloruros, sulfatos, fosfatos.
- Cationes: Na, Ca, Mg, K.

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES:

Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.⁵ Hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica.⁵

Se citaran ahora las características más importantes:

A) CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AGUA: ⁴

Más que caracterizar a cada organismo patógeno por separado se prefiere usar los microorganismos indicadores los cuales no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos si no que se dirige más a evaluar el grado en el que ha sido contaminado con heces humanas o de otros animales de sangre caliente (contaminación fecal)

Coliformes: Grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram (-) no esporógenas, baciliformes que fermenta la lactosa formando gas en un periodo de 48 hs. a 35 °C.

Coliformes fecales: Subgrupo del anterior en el que estarían los microorganismos con mayor probabilidad de haberse originado en los intestinos. Ambos grupos se los determina por el método del número más probable (NMP). Otra forma de determinar coliformes sería por el método de Filtración por Membrana. Las bacterias coliformes detectadas por las dos técnicas no siempre son exactamente las mismas. En general se acepta que el método de filtración por membrana tiene como ventaja respecto del NMP, la reproducibilidad.

Streptococos Fecales: Puede servir para conocer la fuente probable de contaminación, la relación coliformes/ streptococos es siempre mayor a 4.0 en aguas residuales domésticas, mientras que la relación para las aguas residuales de granja (donde se vuelcan heces de aves de corral, gatos, perros y roedores) es menor a 0.7.

B) CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):⁶

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20° C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. Es un valor que se relaciona directamente con la calidad del agua.

Nivel DBO(en ppm)	Calidad del agua
1 a 2	Muy buena
3 a 5	Aceptable: Moderadamente limpia
6 a 9	Mala: Algo contaminada
10 o más	Muy Mala: Muy Contaminada

(Extraído de <http://k12science.ati.stevens-tech.edu>)

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se usa para medir el O₂ equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte (generalmente K₂Cr₂O₇, en medio ácido, a alta T° y comúnmente con un catalizador).

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica y se puede realizar en solo unas 3 horas. En general se espera que la DQO sea similar a la DBO, pero existen factores que hacen que esto no se cumpla (Ej.: muchos compuestos orgánicos oxidables por dicromato no son oxidables biológicamente).⁵

Oxígeno disuelto (OD): La baja disponibilidad de OD limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las AR para su disposición en ríos y embalses. En Aguas naturales, para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda OD mayores de 4 mg/l.⁵

Detergentes: Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma. Además inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del O₂. Estos se determinan mediante el ensayo SAAM, sustancias activas al azul de metileno, por medio de la cuantificación del cambio de color de una solución estándar de A.M.⁵

El siguiente cuadro muestra otros valores determinados en aguas residuales y efluentes de sistemas de tratamiento; y el valor requerido para la descarga en un curso de agua natural, según establecido por la jurisdicción de la provincia de Santa Fe:

Ley 11220: Límite para la descarga de efluentes cloacales. ²			
	PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE OBLIG.
1	DBO	mg/l O ₂	50
2	DQO	mg/l O ₂	125
3	TOTAL SOL. SUSPENDIDOS	mg/l	60
4	Aceites y Grasas	mg/l	50
5	Fósforo Total	mg/l	2
6	Nitrógeno Total	mg/l N	15
7	Temperatura	°C	45
8	pH	Unidad de pH	7,5 - 8,5
9	Amoníaco Total	mg/l N	25
10	Coliformes Totales	NMP/100 ml	5000
11	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000
12	Fenoles	ug/l	50
13	Hidrocarburos Totales	mg/l	50
14	Cianuros	ug/l	100
15	Detergentes Sintéticos	mg/l	3
16	Cromo	ug/l	200
17	Cadmio	ug/l	100
18	Plomo	ug/l	500
19	Mercurio	ug/l	5
20	Arsénico	ug/l	500
21	Sulfuros	mg/l	1

REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA: NECESIDADES Y PROBLEMAS.

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales para abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y se ha optado por el uso de las aguas residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de bastas agrícolas irrigadas con estas aguas en forma directa, la mayoría sin tratamiento previo.¹

Esta situación es sólo la punta del iceberg, ya que una cantidad superior de tierra agrícola se irriga con aguas superficiales de ríos y canales que superan ampliamente el nivel máximo de mil coliformes fecales por 100 ml que recomienda la OMS para el riego de vegetales de consumo crudo. Con estos niveles de contaminación, los riesgos de consumir alimentos contaminados es alto.¹

La evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura realizado por el CEPIS (Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria) (1990), ha demostrado que la presencia de bacterias patógenas y parásitos en los productos agrícolas está relacionada directamente con la calidad microbiológica del agua de riego. El 20 y 70% de los productos regados con aguas crudas muestran presencia de Salmonella y parásitos, respectivamente, mientras que con aguas que tuvieron tratamiento primario, esta infestación descendió a niveles de 5 y 18% para los mismos agentes concluyendo que es posible obtener verduras sin Salmonella si se riegan con aguas residuales con niveles menores a 10,000 coliformes fecales/100 ml y con una Salmonella/100 ml.⁷

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció que el principal riesgo en el empleo de agua residual para riego agrícola es la diseminación de parásitos. En el Instituto Nacional de Salud Pública (México) se demostró que la principal diseminación presente en sus aguas residuales es de helmintos (lombrices parasitarias).⁸

En muchos países, fue necesario modificar la normativa de manera que los estándares de calidad fueran orientados al control de microorganismos patógenos. Hoy, la nueva normativa establece que para riego en todo tipo de cultivos se puede reusar el agua negra tratada que contenga <1000 NMP/100 mL de Coliformes Fecales y <1 HH/L (huevos de helmintos por litro). Adicionalmente, para el caso del riego de cultivos que no se consumen crudos es posible aceptar hasta 5 HH/L junto con <1000 NMP/100 mL.⁹

En el aprovechamiento de aguas residuales y lodos (ver "Subproductos del tratamiento biológico"), las medidas para proteger la salud se pueden agrupar en cuatro grandes categorías:¹⁰

- 1) tratamiento de los residuos (aguas residuales y lodos);
- 2) restricción de cultivos;
- 3) métodos de aplicación de los residuos; y
- 4) control de la exposición humana.
 - i) agricultores y sus familias;
 - ii) personas que manejan los productos cultivados;
 - iii) consumidores (de productos cultivados, carne y leche); y
 - iv) personas que viven cerca de los campos de cultivo.

CONTROL DE LOS EFLUENTES PARA REUSO Y DE LOS CULTIVOS:

La utilización de efluentes requiere tratamientos y controles adecuados que aseguren la ausencia de riesgos para la salud humana y animal y eviten la contaminación de aguas superficiales y de napas freáticas durante su manipulación, su almacenamiento y su uso. Las principales restricciones para su utilización son: ¹¹

- el contenido de elementos pesados;
- el contenido de orgánicos traza;
- la presencia de patógenos.

La última restricción comprende el control de virus (*adenovirus*, *rotavirus*, *virus de hepatitis*, etc.), bacterias (*Salmonella*, *Shigella*, etc.), protozoos (*Amoeba*, *Giardia*, *Cryptosporidium*) y helmintos (*Taenia*, *Hymenolepis*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Enterobius*, *Ancylostoma*). Actualmente se estima que existen alrededor de 30 enfermedades que pueden ser transmitidas por el uso de efluentes domiciliarios, de las cuales las más comunes en países con climas templados y templado - cálidos son provocadas por nematodos y cestodes. ¹¹

En la mayoría de los países, sólo se realizan análisis de bacterias coliformes fecales para el control de patógenos en efluentes, sin embargo hay estudios que demuestran que no existe relación entre la presencia de bacterias y huevos de helmintos por lo tanto el riesgo potencial de adquirir enfermedades con parásitos intestinales humanos es mayor que con bacterias, considerando que éstas sufren una desactivación progresiva en los sistemas de tratamiento, son más susceptibles a la cloración y son menos persistentes en el ambiente. ¹¹

En particular, los controles más estrictos sobre *Ascaris*, establecidos especialmente en las regulaciones en USA, están relacionados con su extraordinaria resistencia asociada a ciertos componentes de su cáscara que le permite sobrevivir ante condiciones ambientales muy rigurosas durante periodos que fluctúan entre 12 y 18 meses. ¹⁰ ¹¹

El estudio de riesgos para la Salud por el uso de aguas residuales en agricultura (CEPIS, 1990) ha determinado que existe una relación directa entre la calificación sanitaria (*E.coli* + *Salmonella*) y los coliformes fecales en los productos agrícolas, que permite simplificar las actividades del programa de vigilancia. Por ello este Programa debe efectuarse a través de la cuantificación de coliformes fecales por gramo de verdura e indicar la ausencia de huevos de parásitos o quistes de protozoarios viables en 5 unidades de muestras. ⁷

En 1989, un Grupo Científico de la OMS formuló nuevas directrices sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y la acuicultura ¹³. En cuanto al uso agrícola, estas directrices introdujeron un enfoque nuevo y más severo referente a la necesidad de reducir el número de huevos helmínticos (nematodos: especies de *Ascaris* y *Trichuris* y anquilostoma) en efluentes a un nivel de ≤ 1 huevo/litro. Esto significa que alrededor del 99.9 % de los huevos de helmintos deben ser eliminados con procesos adecuados de tratamiento en zonas donde las enfermedades helmínticas son endémicas y presentan riesgos efectivos para la salud. Basado en la evidencia epidemiológica actual, se recomienda una directriz bacteriana de un promedio geométrico de 1.000 coliformes fecales por 100 ml para el riego ilimitado de todos los cultivos. ¹²

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES:

El CEPIS considera que, una forma de contribuir al mejoramiento de los indicadores de salud de los países de la Región, caracterizados por una alta incidencia de enfermedades entéricas y parasitosis, es el tratamiento de las aguas residuales, ya sea para disponerlas finalmente en cuerpos de agua o para su reutilización.³

En los países en desarrollo, el objetivo prioritario de tratamiento de las aguas residuales, debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos pues son males endémicos en nuestros países y no la remoción de materia orgánica y nutrientes, que sí es el principal objetivo del tratamiento en los países desarrollados, en los cuales una tifoidea o un caso de parasitismo son excepcionales.¹

Según un estudio patrocinado por el Banco Mundial en 1997¹⁵, la construcción de una planta convencional para el tratamiento secundario de aguas residuales para una población de 1 millón de habitantes requiere una inversión capital de aproximadamente US\$100 millones, sin mencionar los costos sustanciales de operación y mantenimiento para su operación continua. Sin embargo, los costos económicos asociados con un brote de enfermedad indican que la inversión inicial de capital valdría mucho la pena. En el primer año de la epidemia del cólera de 1991 en el Perú, se asociaron altos costos a las necesidades curativas y de atención preventiva de la salud para el público. Asimismo se incurrieron pérdidas debido a la disminución de turismo y una prohibición temporal sobre las importaciones de productos alimenticios peruanos. Sólo en el primer año, los cálculos de estas pérdidas varían entre US\$180-500 millones.¹⁴

El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales.³

Cuando un vertido de agua residual sin tratar llega a un cauce produce varios efectos sobre él:¹⁶

- Tapiza la vegetación de las riberas con residuos sólidos gruesos que lleva el agua residual, tales como plásticos, utensilios, restos de alimentos, etc.
- Acumulación de sólidos en suspensión sedimentables en fondo y orillas del cauce, tales como arenas y materia orgánica.
- Consumo del oxígeno disuelto que tiene el cauce por descomposición de la materia orgánica y compuestos amoniacales del agua residual.
- Formación de malos olores por agotamiento del oxígeno disuelto del cauce que no es capaz de recuperarse.
- Entrada en el cauce de grandes cantidades de microorganismos entre los que pueden haber elevado número de patógenos.
- Contaminación por compuestos químicos tóxicos o inhibidores de otros seres vivos (dependiendo de los vertidos industriales)
- Aumenta la eutrofización (incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton. *Extraído del diccionario de la lengua española*) al portar grandes cantidades de fósforo y nitrógeno.

Como medida preventiva, en los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales se da énfasis a la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión. Por otro lado, en el tratamiento para uso agropecuario se exige la eliminación de agentes patógenos, como los helmintos.¹⁰

La importancia de la eliminación de helmintos se observa en un estudio realizado por Cifuentes y colaboradores (1992) en el que demostraron que el empleo del agua negra en riego es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por Helmintos en la región del valle del Mezquital. En este se observa que, los niños entre 4 y 16 años sufren 16 veces más de Ascariasis que en zonas donde se emplea agua limpia, mientras que tienen tasas de morbilidad similares para enfermedades diarreicas originadas por otro tipo de patógenos.⁹

En lo que respecta a la remoción de patógenos de las aguas residuales, el número de los que sobreviven es más importante que el número de los que mueren. Cifras como 99% o 99,9% de remoción de agentes patógenos pueden parecer impresionantes, pero representan el 1% y el 0,1% de sobrevivientes, respectivamente. Dadas las altas concentraciones de patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales, estas proporciones pueden ser importantes. Las aguas residuales sin tratar pueden tener más de 10^5 bacterias patógenas por litro, por lo que un 99% de reducción dejaría más de 10^3 bacterias patógenas por litro. Por tal motivo, el grado de eliminación de microorganismos de las aguas residuales a través de un tratamiento determinado se expresa mejor en función de unidades logarítmicas₁₀. Al tratar las aguas residuales municipales para su uso en riego sin restricción, se necesita reducir la concentración bacteriana al menos en 4 unidades logarítmicas₁₀ y la concentración de huevos de helmintos en 3 unidades logarítmicas₁₀.¹⁰

Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método, mas común, consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica.³

OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AR:

Objetivos generales:¹⁷

- Los directamente relacionados con la salud humana y el bienestar de la comunidad
- los relativos a lograr la sostenibilidad ambiental y la estética
- y los que persiguen el reciclamiento o reuso del agua tratada.

Objetivos Específicos:

Se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas.⁵

Se pueden considerar como objetivos iniciales principales del tratamiento de AR, los siguientes:⁵

- Remoción de DBO.
- Remoción de sólidos suspendidos.
- Remoción de patógenos.

Posteriormente ha sido común agregar:

- Remoción de N y P.

Finalmente se involucra:

- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas.
- Remoción de trazas de metales pesados.
- Remoción de sustancias inorgánicas resueltas.

La complejidad del sistema de tratamiento es, por lo tanto, función de los objetos propuestos.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pretratamientos, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales.⁵

PROCESOS UNITARIOS DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA:

Pretratamiento: tienen como objetivos remover del AR aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores o que, en algunos casos, son incompatibles de ser tratados conjuntamente con los demás componentes del AR.⁵ Podemos citar como ejemplos²:

- Rejas finas.
- Rejas gruesas.
- Desarenador.

Tratamiento Primario: Se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos mediante sedimentación u otro medio; y constituye un método de preparar el agua para tratamiento secundario.⁵ Podemos citar como ejemplos²:

- Sedimentación.
- Flotación: Generalmente se consigue con la introducción de burbujas de gas en el líquido en las cuales se adhieren las partículas y la fuerza ascendente es suficiente para llevar dichas partículas a la superficie, de donde son retiradas.
- Neutralización: Tiene el objetivo de corregir el pH a un rango 6.5-8.5 a fin de poder descargar el efluente en fuente receptores naturales, proteger las condiciones o instalaciones de tratamiento o posibilitar un tratamiento biológico ulterior. (este proceso se puede realizar previo a la descarga).

Tratamiento Secundario: Se usa principalmente para remoción del DBO soluble y sólidos suspendidos y organismos patógenos.⁵

Este se puede dividir en dos grandes grupos: el de naturaleza biológica, que se utiliza preferentemente cuando las partículas a eliminar son fundamentalmente orgánicas y el de naturaleza química que se utiliza preferentemente cuando estas son fundamentalmente inorgánicas o cuando las orgánicas se presentan en baja concentración.²

- ❖ *Filtro percolador:* Es esencialmente una caja que cierra un material de contacto, generalmente piedra granítica, que al recibir el AR se va lubricando con una capa biológica responsable de las transformaciones bioquímicas que reduce la materia orgánica biodegradable (DBO).²
- ❖ *Lodos activados:* (descripto mas abajo)
- ❖ *Lagunas de estabilización:* (descripto mas abajo)
 - Aerobias.
 - Anaerobias.
 - Facultativas.
 - Aireadas.

- ❖ *Procesos fisicoquímicos: Floaculación-coagulación.* Estos se llevan a cabo mediante el uso de reactivos químicos (coagulantes), que consiguen la floaculación y coagulación de las partículas coloidales, lo que posibilita una fácil decantación de las mismas²

Tratamiento Terciario o avanzado: Supone la necesidad de remoción de nutrientes para prevenir eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario para adecuar al agua para su reuso.⁵

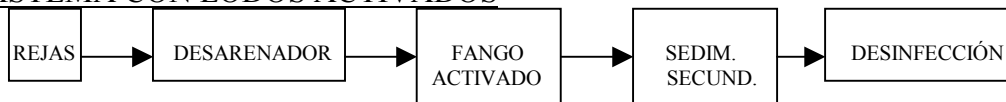
Consigue en general, una acción sobre las partículas disueltas y solo se utiliza cuando se requieren elevados grados de calidad en el efluente.

Ejemplos combinación de procesos unitarios de depuración:

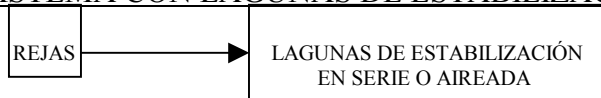
SISTEMA CON FILTRO PERCOLADOR (B)



SISTEMA CON LODOS ACTIVADOS



SISTEMA CON LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS:

Estos tratamientos se basan en procesos de naturaleza biológica, que utilizan los microorganismos para eliminar las partículas de carácter orgánico. Esta eliminación se desarrolla en tres fases o de tres modos distintos. Una parte de la materia orgánica es eliminada por oxidación, otra parte se utiliza para crear nuevo material celular y, finalmente, hay una tercera fase en la que se oxida este nuevo material celular.²

Debe hacerse especial mención a la presencia de tóxicos, como metales pesados, que podrían provenir de las descargas de aguas residuales industriales a la red de alcantarillado municipal; esto representa una limitación para la estrategia del uso de aguas residuales. Las sustancias tóxicas no sólo inhiben o reducen la eficiencia de los procesos biológicos que se dan en un tratamiento biológico, sino que además a lo largo de la cadena alimenticia se acumulan en los productos de consumo humano que se pretenden producir con el uso de aguas residuales tratadas o no, exponiendo a graves riesgos la salud de los consumidores.¹

Por ello, es necesario que los programas de ampliación de la cobertura de tratamiento de aguas residuales bajo esquemas integrados de tratamiento-uso, vayan acompañados de un programa de control de tóxicos de la industria. Esto requiere la implantación de una estrategia de minimización, reciclaje y tratamiento de residuales industriales, dentro de la industria donde se generan, es decir, en la misma fuente.¹

Tratamiento Anaerobio:⁵

Se produce la oxidación anaerobia de la materia orgánica. En su forma más elemental se puede considerar a este proceso de descomposición en dos etapas: Fermentación a ácidos y fermentación a metano (que ocurren simultáneamente):

- 1) Fermentación ácida: Los compuestos orgánicos de estructura compleja, proteínas, grasas, carbohidratos, son primero hidrolizados en unidades moleculares más pequeñas y sometidos a biooxidación para convertirlos en ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente acético, propiónico, butílico; alcoholes, hidrógeno y CO₂. Durante esta etapa no existe realmente estabilización, si no una transformación de material orgánico complejo en compuestos más simples.⁵
- 2) Fermentación metanogénica: Los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en CO₂ y CH₄ principalmente. La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la etapa de formación de metano por que este es poco soluble y se elimina como gas, así como el CO₂ que se elimina también de esta forma o es convertido en bicarbonato⁵. Como ejemplo de bacterias metanogénicas algunas podemos citar: *Metanosphaera*, *Stadtmanae*, *Metanopinillum*, *Metanogenium*, *Metanosarcina*, *Metanosaeta* y *Metanococcus*¹⁸

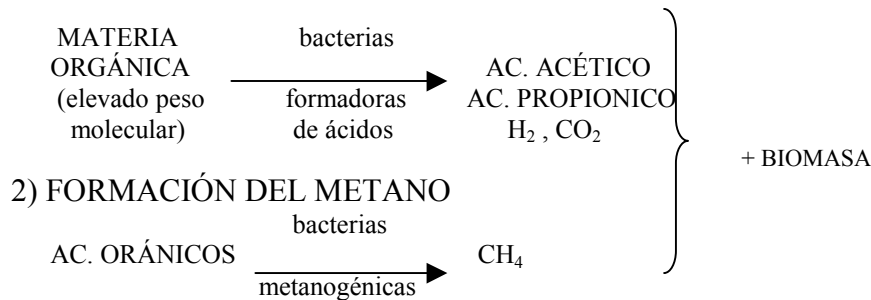
Cualquier reacción o condición que impida la formación de CH₄ produce una reducción de eficiencia en remoción del DBO en el proceso anaerobio. Una de las reacciones que compite con la reacción metanogénica es la reducción de sulfatos a sulfuros por las bacterias reductoras del sulfato (la DBO no es removida puesto que solamente se hace un cambio de materia orgánica en sulfuros)⁵

En resumen, en el proceso anaerobio, las bacterias acidogénicas y las metanogénicas conforman una simbiosis que hace posible el proceso. En este, bacterias metanogénicas y no metanogénicas deben estar en equilibrio dinámico, el proceso debe carecer de OD,

debe estar libre de sustancias inhibidoras (como metales pesados y sulfuros) y deben mantener un pH entre 6.5 y 7.6. Como la tasa de crecimiento de las metanógenas es lenta, se deben proveer tiempos de retención prolongados. ⁵

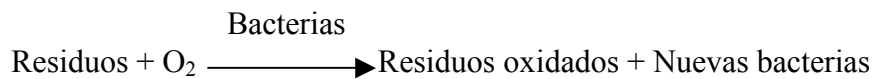
PROCESOS ANAERÓBICOS

1) LICUEFACCIÓN



Tratamiento Aerobio:

En el proceso de oxidación de la materia orgánica los microorganismos utilizan O₂ como aceptor final de electrones. Con lo cual la descomposición se produce de la siguiente manera:



Residuos: C_{orgánico}, H_{orgánico}, N_{orgánico}, S_{orgánico}, P_{orgánico}

Residuos Oxidados: CO₂, H₂O, NO₃⁻, SO₄⁻, PO₄³⁻ (respectivamente).

El proceso aeróbico cuenta con la ventaja de la ausencia de olores y de la mineralización completa de los compuestos biodegradables, aunque tiene las desventajas de que al ser la tasa de síntesis celular alta la producción del lodos es elevada y que podría requerir mucha energía para la oxigenación y mezcla. ⁵

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN:

Son depósitos o estanques conformados en el suelo en los cuales se vierte el AR a los efectos de producir en ellos su tratamiento depurador en base a una determinada permanencia.

Las lagunas de estabilización son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de corrientes de residuos, pero requieren vastas extensiones de terreno por lo que son el método más económico para tratar aguas residuales, en donde los costos de terreno sean relativamente bajos. ¹⁷

Principales procesos en una laguna de estabilización:¹⁷

- 1) Sedimentación primaria
- 2) Biodegradación de compuestos orgánicos (aeróbica o anaeróbicamente)
- 3) Efectos diversos debido al tipo de reservorio (forma, capacidad de dilución y amortiguamiento de cargas pico, tanto orgánicas como hidráulicas).

CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LAS LAGUNAS²

- *Lagunas aeróbicas:* Es un proceso estrictamente aerobio, lo cual significa que en todo el volumen de agua existe oxígeno disuelto, el cual es suministrado, principalmente, por una capa superficial de algas por medio de su efecto fotosintético. En un estado de equilibrio óptimo existe una cantidad constante de algas y bacterias.
- *Lagunas anaeróbicas:* Contrariamente al sistema anterior, aquí no existe oxígeno disuelto, siendo entonces las bacterias anaeróbicas las responsables de la reducción de la materia orgánica. Constituye un proceso más lento que el de las aeróbicas.
- *Lagunas facultativas:* Es una combinación de los dos anteriores es decir, anaerobias en la parte inferior y aerobias en la superior. Entre estas dos partes existen bacterias facultativas que reducen la materia orgánica con o sin oxígeno y actúan como barrera. Tienen una mayor profundidad que las aerobias.
- *Lagunas aireadas:* En estas se produce el mismo proceso que en las lagunas aeróbicas, con diferencia que la incorporación de aire se realiza no por las algas sino artificialmente con agitadores mecánicos de superficie. Esto permite una considerable reducción de la superficie como así también una mayor profundidad del estanque.

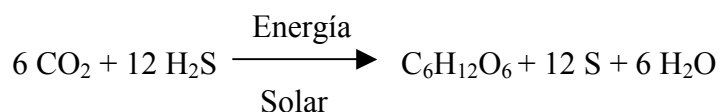
Importancia de la fotosíntesis:

Los estudios realizados sobre lagunas de estabilización han considerado como factores de influencia importantes sobre el proceso, entre otros: Fotosíntesis, pH, Profundidad, Nutrientes, Sedimentación de lodos, Vientos, Sulfuros, OD, Radiación solar, T°, Tiempo de retención, Infiltración, evaporación, Geometría de la laguna, DBO y sólidos suspendidos. ⁵

Fotosíntesis:

La materia orgánica del agua residual es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el O₂ producido por las algas. Las algas, utilizando energía solar, sintetizan materia orgánica y producen O₂ con el CO₂ y el amoníaco producido por las bacterias. La oxidación fotosintética permite cargas de DBO de hasta 25 g DBO/m³d; pero en ausencia de oxigenación fotosintética, la oxigenación atmosférica solo permite cargas de 5 g DBO/m³d, para condiciones aerobias.

En lagunas anaerobias, con penetración de luz solar, las bacterias rojas del azufre son capaces de efectuar fotosíntesis usando H₂S en vez de H₂O como donante de hidrógeno de acuerdo a:



Si la población de bacterias del azufre es muy numerosa, el agua puede tomar color rojo. En las lagunas fotosintéticas, las algas verdes producen, generalmente, un color verde intenso y el conteo de algas puede ser tan alto como 10⁸ células/ml. En lagunas donde la carga orgánica y el tiempo de retención permite el predominio de crustáceos y/o rotíferos, consumidores del plancton, las algas pueden desaparecer y la oxigenación fotosintética algal deja de ser importante.⁵

La actividad fotosintética demanda un consumo grande de CO₂ por las algas, lo cual hace que se obtengan periodos de pH altos en las lagunas facultativas o aerobias. El desarrollo de un pH demasiado alto hace que la actividad bacteriana disminuya, que se reduzca la producción de CO₂ y que se limite el proceso simbiótico.⁵

ECOSISTEMAS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN:

En términos generales, puede decirse que los microorganismos, especialmente las bacterias, son ubicuos o que pueden encontrarse en cualquier parte incluyendo algunos ambientes donde casi ningún organismo puede sobrevivir. Las bacterias se localizan en el aire, en el agua, en el suelo, y es factible encontrarlas también en hábitat donde las condiciones de T°, pH, presión, O₂, etc. son extremas.

A nivel del tratamiento de aguas residuales, existen cuatro clases de microorganismos de gran interés: bacterias, hongos, algas y protozoarios (existe un quinto grupo, aunque algunos autores los clasifican en un grupo aparte, ya que no alcanzan un nivel celular: los virus).⁵

Bacterias Aerobias:

Los géneros aislados con mayor frecuencia son: *Beggiatoa alba*, *Sphaerotilus natans*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Zooglea sp.*⁵

Bacterias formadoras de ácidos:

Todas aquellas bacterias heterótrofas capaces de convertir materiales orgánicos complejos en compuestos más simples como alcoholes y ácidos. La actividad de este grupo es muy importante en la zona anaerobia ya que ellas producen los sustratos que posteriormente deberán reducirse a CO₂ y CH₄.

Estas bacterias anaerobias requieren T° entre 15 y 65 °C, por lo que su exposición a bajas T° hace que disminuya su actividad.

Cianobacterias:

Grupo conocido como algas azul-verdosas. Su principal fuente de carbono es CO₂ y producen O₂ como su producto del proceso fotosintético. Una de las principales características de este grupo, es su capacidad para utilizar N₂ atmosférico.⁵

Bacterias púrpuras del azufre:

Estas crecen en cualquier ambiente acuático en el cual la luz tenga las longitudes de onda adecuadas para penetrar la masa de agua, exista un suministro adecuado de CO₂, nitrógeno y formas reducidas de azufre o hidrógeno. Generalmente se localizan en la capa anaerobia inmediatamente por debajo de las algas, cianobacterias u otras bacterias de las lagunas. Normalmente, se localizan a una profundidad determinada, en una zona delgada, donde las condiciones nutricionales y la luz son óptimas. La conversión de compuestos azufrados a azufre elemental y/o sulfato, es un factor significativo en el control de olores de las lagunas facultativas y anaerobias.⁵

Bacterias Patógenas:

Las comúnmente asociadas con lagunas (aunque está íntimamente relacionado con las condiciones sanitarias de la población) son : *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia*, *Leptospira*, *Francisella*, *Vibrio*,

En general, el agua no es el ambiente natural para estas bacterias, por lo que su papel principal es actuar como vehículo de transmisión. Las bacterias patógenas usualmente son incapaces de multiplicarse o de sobrevivir por largos períodos de tiempo en un medio acuático. La disminución en número es el resultado de fenómenos como sedimentación, carencia de nutrientes, radiación solar, pH, T°, competencia y depredación.

La mayoría de las referencias de la literatura reportan para lagunas facultativas una alta reducción de bacterias coliformes (99.9%).⁵

Parásitos:

Numerosos estudios sobre reducción de parásitos en lagunas de estabilización sugieren que el principal mecanismo de remoción es la sedimentación. Se conoce que huevos de protozoarios y helmintos sedimentan efectivamente en períodos de 3 a 6 días, pero que huevos de *Ancylostoma Duodenale* y *Schistosoma* pueden desarrollar larvas móviles y aparecer en el efluente. Se ha reportado que la larva miracidia del *Schistosoma* no puede sobrevivir en condiciones de motilidad por más de 10 horas (Shuval 1988). De los datos existentes se ha recomendado un período de retención mínimo de 8 a 10 días para asegurar una remoción de huevos de helmintos (WHO 1988).¹⁹

Algas:

Existen en formas unicelulares, pluricelulares, móviles o inmóviles. No fijan N₂ atmosférico pero lo requiere para sus procesos metabólicos, especialmente en forma inorgánica.

Taxonómicamente se dividen de acuerdo con los pigmentos que ellas poseen: Algas Verdes, Algas Doradas y Algas Rojas. En las lagunas de estabilización, las más frecuentes son las verdes y las doradas.⁵

La presencia de las algas en niveles adecuados, asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas. Cuando se pierde el equilibrio ecológico se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema.¹

En las lagunas primarias facultativas predominan las algas flageladas, (*Euglena*, *Pyrobotrys*, *Chlamydomonas*), en lagunas secundarias se incrementa el número de géneros y la densidad de algas, predominan las algas verdes (*Chlorella*, *Scenedesmus*). En lagunas terciarias se presenta un mayor número de géneros de algas, entre las cuales predominan las algas verdes (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Microactiniums*). En muchos casos, se ha observado la predominancia

de algas verdes-azules (Rao, 1980, Uhlman 1971). La predominancia de géneros varía según la temperatura estacional. ¹

Hongos:

Desde el punto de vista ecológico, cumplen un papel importante en la mineralización de los materiales leñosos, espacialmente aquellos con alto contenido de lignina. ⁵

Protozoarios y Metazoarios:

Aunque las bacterias y las algas son los principales organismos involucrados en la estabilización de la materia orgánica, algunas formas de vida superior también son importantes.

Los protozoarios están constituidos por formas unicelulares. Algunos son depredadores y sus presas mas comunes son: bacterias, algas, hongos, y protozoos mas pequeños. Este grupo cumple un papel importante a nivel de los ecosistemas acuáticos tanto en el control como en la regulación poblacional.

Microcrustáceos, planctónicos del grupo de los *Cladocera* y bentónicos del grupo de los *Chironomidae* parecen ser la fauna mas significativa en la comunidad de las lagunas de estabilización, especialmente por su contribución a la degradación de la materia orgánica. Los cladóceros se alimentan de algas y promueven la floculación y sedimentación del material particulado, lo cual permite una mejor penetración de la luz y un crecimiento a mayores profundidades. La materia orgánica sedimentada, posteriormente es degradada y estabilizada por los quironómidos bénticos. ⁵

Rol del zooplackton:

El zooplackton de las lagunas de estabilización está conformado por cuatro Grupos Mayores; ciliados, rotíferos, copédodos, y cladoceros. Ocasionalmente se presentan amebas de vida libre, ostracodos, ácaros, turbelarios, larvas y pupas de dípteros. La mayoría de individuos de estos grupos sólo están en las lagunas de estabilización durante algún estadio evolutivo, raramente tienen importancia cualitativa. ¹

Los rotíferos predominan durante los meses de verano, dentro de este grupo, el género *Brachionus* se presenta con mayor frecuencia, siendo el más resistente aún en condiciones extremas. Cuando el número de rotíferos se incrementa a niveles superiores a los normales se observa un efecto negativo en la calidad del agua, ocasionando un aumento de los niveles de amonio, ortofosfato soluble, nitratos, y nitritos. Asimismo, la presencia de un gran número de estos organismos, que consumen algas, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua a niveles de riesgo. Los géneros predominantes de cladoceros son *Moína* y *Daphnia* y en los ciliados son *Pleuronema* y *Vorticella*. ¹

NOTA: En algunas lagunas, los mosquitos pueden ser un problema no solo por el mal aspecto que producen, si no por que en algunos casos ellos pueden ser vectores de enfermedades como encefalitis, malaria o fiebre amarilla por lo cual deberán ser controlados. Generalmente, se ha encontrado que el medio mas eficiente de control es la vegetación emergente, así como el uso de *Gambusia* o pez Mosquito, en algunas lagunas de zonas muy cálidas. ⁵

CLASIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE LAS LAGUNAS:

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

evitan tener que sacar de operación a las lagunas alargadas para llevar a cabo la remoción periódica de lodos. ¹

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman secundarias; y así sucesivamente las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, quintenarias, etc. A las lagunas de grado más allá del segundo también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento. Siempre se deben construir por lo menos dos lagunas primarias (en paralelo) con el objeto de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de los lodos de la otra. ¹

ELECCIÓN LAGUNAS FACULTATIVAS VS. ANAERÓBICA:

Cuando la carga orgánica es muy grande, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas (y de la aeración superficial) y la laguna se torna totalmente anaerobia. Conviene que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones definitivamente facultativas o definitivamente anaeróbicas ya que el oxígeno es un tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica; y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso. Por consiguiente, se recomienda diseñar las lagunas facultativas (a 20 °C) para cargas orgánicas menores de 300 Kg DBO/ha/día y las lagunas anaerobias para cargas orgánicas mayores de 1000 Kg de DBO/ha/día. Cuando la carga orgánica aplicada se encuentra entre los dos límites antes mencionados se pueden presentar problemas con malos olores y la presencia de bacterias formadoras de sulfuros. El límite de carga para las lagunas facultativas aumenta con la temperatura. ¹

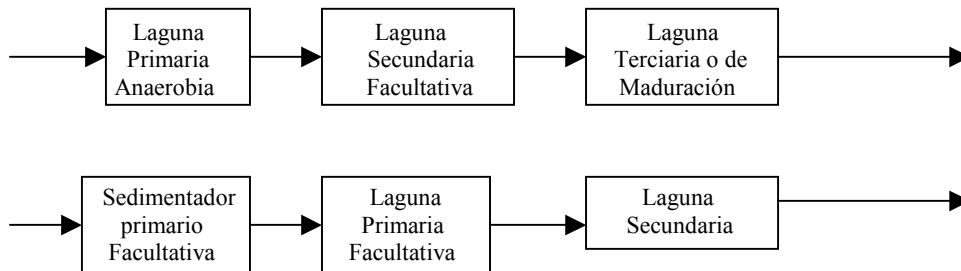
SISTEMAS DE LAGUNAS DE VARIOS TIPOS Y MODULACIÓN DE UNIDADES: ¹⁹

La selección de los sistemas de lagunas depende de una serie de factores entre los cuales los más importantes se encuentra el criterio de existencia o grado de tratamiento orgánico y bacteriológico, la disponibilidad de terreno, su costo y la topografía del terreno.

- Para altos requisitos de calidad bacteriológica en el efluente, la serie facultativa y de maduración es la más recomendable cuando hay disponibilidad de terreno.
- La serie anaerobia - facultativa es la que más requiere cuidado y es atractiva cuando no hay necesidad de reducción de bacterias y se tiene un desecho concentrado. La primera laguna de tipo anaerobio se dimensiona para carga orgánica y en relación con las bacterias la reducción es despreciable. Uno de los aspectos más conflictivos del diseño de la laguna anaerobia es la profundidad de la misma en relación con la acumulación de lodos y el tiempo necesario para secado de una cantidad de lodos acumulado en menos área. La reducción de bacterias comienza en la facultativa. Igualmente que en el caso anterior, el número de unidades de la serie depende de la calidad del efluente y de las condiciones topográficas.
- La serie aerada - facultativa y de maduración es atractiva cuando existe una limitada disponibilidad de terreno y alta calidad bacteriológica del efluente. En este caso la reducción bacteriana ocurre en todas las unidades del tren. El diseño de la primera laguna se realiza para períodos de retención nominal de dos días o menos.

EJEMPLO DE SISTEMAS DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN ⁵

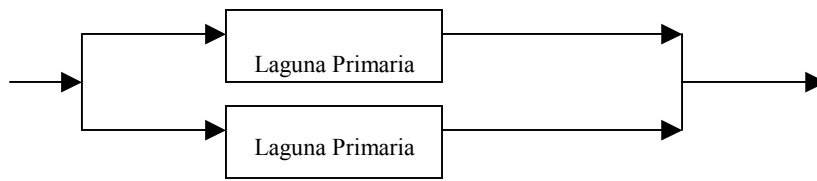
1) Lagunas en serie



2) Lagunas de maduración en serie



3) Lagunas en paralelo



CONTROL Y RENDIMIENTO:

El rendimiento de las lagunas de estabilización se acostumbra evaluarlo con base en la DBO₅ total, en los sólidos suspendidos totales y en los coliformes fecales del efluente. En la toma de muestra para ensayos de control (como se pH, OD y coliformes fecales) se acostumbra a usar muestras instantáneas, a la misma hora del día, que puede ser a las 8:00. Para ensayo sobre las lagunas se utilizan muestras tomadas al salir el sol y en la mitad de la tarde y para efluentes se prefieren muestras compuestas. Las muestras de la lagunas se pueden componer con base en cuatro muestras instantáneas iguales tomadas de las cuatro esquinas de la laguna, preferiblemente a 0.3 metros por debajo de la superficie del agua a 2.5 metros desde el filo de agua. Las muestras de los efluentes se pueden componer con base en muestras instantáneas, proporcionales al caudal, tomadas a las 8:00, 12:00 y 16:00 horas del día.

Otros parámetros útiles, para control, son los de: DQO, nitrógeno amoniacal, sulfatos, sulfuros, clorofila a y profundidad de lodos.

Los informes de control deberán incluir las características promedio de las AR crudas y de los efluentes; así como las cargas orgánicas promedio, los tiempos de retención y las remociones porcentuales de DBO, DQO, sólidos suspendidos y coliformes fecales.⁵

VENTAJAS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN:

La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente este objetivo de "no patógenos", corresponde a las lagunas de estabilización. Las investigaciones realizadas

por el CEPIS demostraron la gran eficiencia de remoción de parásitos (huevos de helmintos y quistes de protozoos), virus y bacterias patógenas, incluido *Vibrio cholerae*¹. De hecho, las lagunas de estabilización son especialmente efectivas para alcanzar las calidades microbiológicas del agua reutilizada para el riego de cultivos establecido por la OMS.¹²

Ningún sistema convencional puede competir con la eficiencia de remoción de patógenos que se logra en las lagunas a menos que se adicione el proceso de desinfección del efluente, que encarece y hace más compleja la operación y el mantenimiento.¹

Una advertencia relevante es el reconocer que los requerimientos para la operación y mantenimiento de lagunas de estabilización no son nulos, pero resultan mínimos comparados con los de los sistemas convencionales, en los que existen equipos mecánicos de dosificación, bombeo y aireación, con sus respectivas mediciones y controles. Además, al operar con el sistema de lagunas, tampoco existe la dependencia de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos electromecánicos, ya que los procesos biológicos involucrados en una laguna son naturales y no los requieren, adecuándose de esta forma a las posibilidades económicas, de espacio, valor de la tierra y de recursos humanos de los países de la Región.³

El sistema es relativamente simple y no requiere de operadores especializados, en comparación con otros sistemas, pero la calidad del efluente producido es de suficientemente alta calidad para permitir su uso para varios fines, siendo uno de ellos el de reúso en agricultura, lo que los hace ideales para utilizarse en países en vías de desarrollo. Aún cuando se dice que son procesos simples de operar, esto no implica que los procesos microbiológicos y bioquímicos involucrados sean sencillos, sino todo lo contrario, por lo que es importante comprenderlos para que el proceso pueda ser facilitado y propiciado.¹⁷

Este desarrollo sostenible conserva la tierra, el agua y los recursos naturales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable.¹⁷

El siguiente cuadro intenta mostrar el porcentaje de remoción de diferentes microorganismos para las lagunas de estabilización, comparándolo con otros sistemas biológicos de tratamiento:

	TRATAMIENTO	VIRUS ENTERICOS	BACTERIAS	QUISTES DE PROTOZOOS	HUEVOS DE HELMINTOS
1.	Primario-Secundario	0-30	50-90	10-50	30-90
2.	Filtro percolador +	90-95	90-95	50-90	50-95
3.	Lodo activado +	90-99	90-99	50	50-99
4.	Zanjas de oxidación +	90-99	90-99	50	50-99
5.	Lagunas de estabilización. Tres unidades en serie; con >= 25 días de retención	>=99.99	>=99.99	100	100
6.	Tanques sépticos	50	50-90	0	50-90

*Adaptación de Feachem et al. (1981)

+ Con sedimentación, digestión de lodo, y secado de lodo

Tomada de: "Pathogens" por Charles P. Gerbe, Tucson, Arizona. 1983.

Los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. ¹

El uso de lagunas de estabilización obligó a romper con algunas tradiciones del tratamiento, entre ellas la guía "30/30" muy usada en los países desarrollados, que establece que 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 estos requisitos pero en cambio pueden llegar a tener calidades microbiológicas muy buenas. Si lo que queremos es proteger la salud pública, las lagunas son una herramienta excelente. ¹

Impacto ambiental del Tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización ⁷:

- Redujo la contaminación de los ambientes acuáticos que antes recibían las descargas de desagües sin tratar.
- Ha permitido la formación de áreas verdes y cordones ecológicos, que contribuyen a oxigenar la ciudad y brindar áreas de esparcimiento a su población.
- Ha contribuido a mejorar los suelos de las zonas desérticas de la costa.

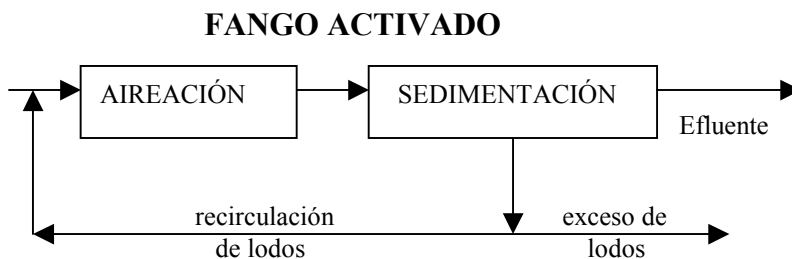
CONDICIONES ACEPTABLES Y NO ACEPTABLES DE APLICACIÓN DE LAGUNAS. De ESTABILIZACIÓN.: ¹⁹

- 1) Son condiciones aceptables para utilización de lagunas
 - a) Altos requisitos de calidad bacteriana y ausencia de helmintos en el efluente
 - b) La disponibilidad de terreno a bajo costo
 - c) La presencia de temperaturas cálidas y ausencia de variaciones bruscas
 - d) Bajo costo inicial en comparación con otras alternativas
 - e) Bajo costo de operación y mantenimiento
- 2) Son condiciones no aceptables para uso de lagunas
 - a) Altos requisitos de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para controlar la eutrofización del cuerpo receptor
 - b) Alto costo del terreno
 - c) La presencia de problemas sociales en la adquisición del terreno: Ej. muchos propietarios
 - d) La presencia de temperaturas bajas y variaciones bruscas
 - e) La presencia de desechos coloreados

LODOS O FANGOS ACTIVADOS:

A modo de poder comparar minimamente las lagunas de estabilización con un tratamiento bastante difundido como los lodos activados, daremos una pequeña reseña de dicho tratamiento.

Este es un procedimiento de características aeróbicas en donde el afluente expuesto en contacto en una unidad o tanque llamado reactor con el lodo activado (de alta concentración de protozoarios y bacterias) que reducen en forma muy rápida la DBO. Este fango o lodo es realimentado desde un sedimentador secundario que sigue al reactor de aireación (el suministro de O_2 es estrictamente controlado y se logra por medio de dispositivos mecánicos).²



En comparación con las lagunas de estabilización, este proceso cuenta con ciertas ventajas y desventajas como ser:

- Menor tiempo de retención con lo que lleva a una menor retención de patógenos.
- Mayor capacidad de remoción de DBO en menor tiempo.
- El requerimiento de mayor cantidad de controles (equipo de aireación, control del reactor, control de la flora protozoal, etc.
- La remoción de protozoos de las AR en este tratamiento es sustancialmente menor cuando se realiza un análisis parasitológico del efluente para detectar huevecillos de helmintos y quistes de protozoarios como *Entamoeba histolytica* y *Lambliia intestinalis*, *Entamoeba coli* y *Endolimax nana*. (estos dos últimos protozoarios son únicamente comensales del intestino humano, pero son importantes indicadores de contaminación fecal)²⁰.

SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO: LOS LODOS. DESTINO USOS, VENTAJAS Y PRECAUCIONES.

El lodo es un producto derivado del tratamiento de aguas residuales y del cual uno no puede deshacerse tan fácilmente. Los rellenos sanitarios, las desembocaduras a corta distancia de la costa y lagunas han servido de depósitos para deshacerse del lodo. El lodo puede ser tratado y utilizado para una variedad de propósitos. La digestión del lodo de alcantarillado puede producir gas metano, el cual es útil para la producción de calor y energía. El lodo también puede ser horneado para fabricar ladrillos para construcción.³ El lodo también ha sido utilizado en los cultivos agrícolas y en terrenos forestales, añadiendo sustancias nutritivas a los suelos deficientes³. Cuando el lodo ha sido tratado y reúne los estándares para ser aplicado al terreno, es cuando se le conoce como “biosólidos”. Ya que las aguas residuales tratadas y el lodo son derivado de los alimentos que comemos, contienen nutrientes importantes tales como nitrógeno, fósforo y potasio así como nutrientes menores tales como cobre, manganeso y zinc. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas. Los biosólidos también mejoran la estructura del suelo incorporando materia orgánica, aumentado la capacidad de los suelos para absorber y mantener la humedad, y reducir la erosión del suelo.²¹ La presencia de contaminantes dañinos, incluyendo patógenos y metales pesados, es algo de que preocuparse al deshacerse del lodo y deben tomarse los pasos apropiados para minimizar su presencia.³

Las excretas y lodos de plantas de tratamiento no requieren de ningún tratamiento cuando se aplican al terreno mediante inyección subterránea o cuando se depositan en zanjas antes del período de siembra. Otros métodos de aplicación requieren un almacenamiento previo. Para cumplir con la directriz de calidad helmíntica (< 1 huevo viable de nematodo intestinal por 100 g) las excretas sin tratar deben almacenarse durante un período mínimo de un año a la temperatura ambiente. Este tiempo mínimo de almacenamiento puede reducirse mediante tratamiento a temperaturas superiores¹⁰. Con lo que respecta a los patógenos que se encuentran en los lodos uno de los métodos de eliminación que se usa mucho en los pueblos, consiste en aplicar cal viva en bajas dosis que desprende amoníaco, el cual es desinfectante.⁸

El siguiente cuadro intenta mostrar el tiempo máximo promedio de supervivencia para diferentes microorganismos (incluyendo patógenos) en lodos; lo que es útil para tener en cuenta a la hora de evaluar su calidad microbiológica y que a su vez se lo puede relacionar con la capacidad eliminadora de patógenos por parte de las lagunas de estabilización, ya que no olvidemos que uno de los mecanismos de eliminación es la simple estadía por un tiempo prolongado de dichos microorganismos en un ambiente adverso y competitivo.

Período de supervivencia de patógenos en lodos fecales(húmedos a temperatura ambiente)¹²		
<i>Organismos</i>	<i>Zonas templadas: 10 a 15 °C (días)</i>	<i>Zonas tropicales: 20 a 30 °C (días)</i>
<i>Virus</i>	<100	<20
<i>Bacterias</i>		
Salmonella	<100	<30
Vibrio	<30	<5
Coliformes fecales	<150	<50
<i>Protozoarios</i>		
Quistes amibicos	<30	<15
<i>Helmintos</i>		
Huevos de Ascaris	2-3 años	10-12 meses
Huevos de Anquilostoma	12 meses	6 meses
Huevos de Equistosoma		1 mes

1. Los períodos de supervivencia son mucho más cortos si los lodos son expuestos al sol para secar.

CONCLUSIONES:

La calidad de vida y la salud de las personas, incluida su supervivencia, dependen del acceso al agua, la cual es también un recurso natural finito, lo que lleva a que su escasez sea una amenaza real para la población humana.

Todos sabemos que el agua es un elemento y una de las necesidades más importantes para los seres humanos, sin embargo continuamos contaminándola y desperdiciándola sin ningún control.

Teniendo en cuenta que entre mayor es la concentración de organismos patógenos en el agua o en los alimentos, mayor es la probabilidad de que la población se enferme, es decir que, seguramente si la carga de patógenos es baja hay bastante más posibilidades de no desarrollar la enfermedad (con algunas excepciones) se concluye que el ser humano no requiere ambientes estériles, sino limpios.

Todo esto nos lleva a plantearnos la necesidad inmediata de un sistema de tratamiento de AR; y a la elección de las lagunas de estabilización como método a proponer en bastas zonas de América Latina, no solo por alto grado de eliminación de patógenos (lo que lo hace sumamente apto para el riego y la descarga “segura” en cursos naturales), sino también por su bajo costo, haciéndolo muy adecuado para las condiciones económicas de la región.

Siempre y cuando exista un diseño apropiado de lagunas de estabilización, junto con adecuados niveles de operación y mantenimiento, los efluentes tratados por las mismas, tendrán calidades físico-químicas y bacteriológicas que los convertirán según las normas en aptos para su rehusó sin ocasionar riesgos para la salud.

Es importante destacar que, para que todo lo planteado funcione positivamente, al bien de la salud y el bienestar público, los sistemas de distribución y tratamiento de agua deberían estar sujetos a una efectiva regulación por parte del estado, de manera que se promueva y se proteja el interés público.

Sería sumamente interesante para cerrar el tema traer la frase que en el año 1855 Franklin Pierce (un indígena americano) redactó al presidente de los EEUU:

“Los ríos son nuestros hermanos, ellos calman nuestra sed. Los ríos llevan nuestras canoas y alimentan nuestros hijos ... Si contamináis vuestra cama, moriréis alguna noche sofocados por vuestros propios desperdicios” No lo olvidemos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1) Aspectos generales y principios básicos de los sistemas de lagunas de estabilización. ING. GUILLERMO LEON SUEMATSU Asesor de CEPIS. Programa de tratamiento de Aguas Residuales. Seminario Internacional. Lagunas de estabilización.(<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind57/sil/sil.html#disp>).
- 2) Apuntes de la cátedra de “Ingeniería Sanitaria” de la carrera de Ingeniería Civil de la Fac. de Cs. Exactas e Ingeniería de la UNR. Año 1999. Bioq Sanguinetti, Ing. Ingalinella Ana María.
- 3) CEPIS: REPINDEX. REPINDEX 42: Lagunas de Estabilización. junio, 1992.ISSN: 0252-7987 (<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/rep042/rep042.html>)
- 4) Apuntes de “Bromatología” del departamento de Química Analítica, Cátedra de química Analítica de Alimentos. “Agua en los alimentos-Agua de bebida”. Bioq. Revelant Gilda.
- 5) “Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización”. Jairo Alberto Romero Rojas. Editorial: alfa omega. México 1999.
- 6) <http://www.aguamarket.com> . Diccionario del agua.
- 7) <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind53/arp/arp01.html>
- 8) <http://www.invdes.com.mx/anteriores/Mayo2002/htm/residual.html>. Logran eliminación plena de patógenos en aguas residuales.
- 9) RIEGO AGRÍCOLA CON AGUA RESIDUAL Y SUS IMPLICACIONES EN LA SALUD. CASO PRÁCTICO. Blanca Elena. Jiménez Cisneros. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México,27 al 31 de Octubre del 2002.
- 10) PROTECCIÓN SANITARIA EN EL USO DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO. Ing. Guillermo León Suematsu. Separata contenida en la Publicación del CEPIS (OPS/CEPIS/PUB96.200) “Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales”(Capítulo 3) (http://www.ruaf.org/conference/info_market/econf_papers/6suematsu.doc).
- 11) Monitoreo de parásitos en efluentes domiciliarios. Liliana Semenas, Norma Brugni, Gustavo Viozzi y Ana Kreiter. Journal of Public Health. Faculdade de Saúde Pública VOLUME 33 NÚMERO 4 AGOSTO 1999 p. 379-84.
- 12) Reuso de Aguas Servidas -Implicaciones para la Salud. Martin Strauss. Seminario-Taller. Saneamiento Básico y Sostenibilidad. Cali, Colombia. 4 - 12 de junio, 1998.
- 13) World Health Organization (WHO) (1989). Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a WHO Scientific Group, WHO Technical Report Series 778. (In English, Spanish and French).
- 14) Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. Kelly A. Reynolds, MSPH, Ph.D.(De la Llave. AGUA LATINOAMÉRICA). septiembre/octubre 2002.
- 15) Idelovitch, E., y K. Ringskog, “Directions in Development: Wastewater Treatment in Latin America, Old & New Options,” World Bank, Washington, D.C., August 1997.
- 16) ¿Qué es una E.D.A.R.?. <http://www.geocities.com/RainForest/Canopy/1285/>
- 17) LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN: TECNOLOGÍA APROPIADA O TECNOLOGÍA DE PUNTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES? LA EXPERIENCIA MEXICANA. Gabriela Moeller Ch. Violeta Escalante E. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental).

- 18) Aguas Residuales. [www.monografias...com/trabajos11/agres/tra](http://www.monografias.com/trabajos11/agres/tra).
- 19) ASPECTOS DESTACADOS EN LA TECNOLOGÍA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. Por: Fabián Yáñez, Ph.D. 30 Noviembre al 2 de Diciembre 2000 Porto Alegre - BRASIL SEMINARIO INTERNACIONAL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS. ORGANIZADO POR LA DIVISION DE AGUAS SERVIDAS (DIASE) ASOCIACION INTERNACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. (AIDIS).
- 20) Enteroparásitos: detección y vigilancia en aguas residuales de Costa Rica durante 1999. Mariano Peinador , Juan Murillo. Rev. costarric. salud pública v.9 n.17 San José dic. 2000.(http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292000000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- 21) Aguas Residuales Tratadas. Lodo/Biosolidos Y Aplicación en el Suelo En el Condado de San Luis. Servicios del Departamento de Salud Publica de Salud Ambiental del Condado de San Luis Obispo, 2156 Sierra Way, San Luis Obispo, CA 93406 (805) 781-5544 (www.slopublichealth.org/enviromentalhealth)
- 22) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL TROPICO MEDIANTE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN Y SU REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA. Alberto Trujillo. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- 23) Evaluación de riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura. Resumen Ejecutivo - Volúmen I ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS Quím. María Luisa Castro de Esparza Oficial Técnico / Ing. Alberto Flórez Muñoz Director Revisión: Ing. Ricardo Rojas Vargas Oficial, Tratamiento de Aguas Residuales y Disposición de Excretas Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Lima, Perú Diciembre de 1990.(<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rem/rem.html>).
- 24) “FUNDAMENTOS DE INGENIERIA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS BIOSOLIDOS GENERADOS POR LA DEPURACION DE AGUAS SERVIDAS DE LA REGION METROPOLITANA”. ELVIRA DEL CARMEN CORTEZ CADIZ. SANTIAGO DE CHILE. ENERO, 2003. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA.