

# **AIDIS ARGENTINA**

## **Seminario**

### **“Criterios de selección de tecnologías de depuración de líquidos cloacales”**

**Mendoza, 10 y 11 de mayo del 2000**

#### **Tema 2**

#### **Aspectos Tecnológicos**

**Disertante: Ing. Luis E. Higa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Centro de Tecnología del Uso del Agua y del Ambiente. Casilla de Correo N°7 - (1802) Aeropuerto Internacional de Ezeiza - Provincia de Buenos Aires - Argentina. Correo Electrónico: lehiga@ciudad.com.ar

**AGRADECIMIENTOS:**

- **A AIDIS Argentina por invitarme a participar en este Seminario.**
- **Al Instituto Nacional del Agua y del Ambiente por permitirme participar.**

# 1. Introducción.

Los líquidos cloacales (domésticos y municipales o combinados) poseen características fisicoquímicas y biológicas que determinan que éstos no puedan ser descargados o dispuestos en el ambiente sin tratamiento adecuado.

Algunas características adversas que presentan estos líquidos residuales, son:

- Presencia de organismos potencialmente peligrosos para la salud.
- Materia orgánica fácilmente biodegradable.
- Sólidos sedimentables, suspendidos y flotables.
- Macronutrientes (nitrógeno y fósforo).

En la Tabla 1 se presentan algunas características fisicoquímicas importantes de los líquidos cloacales.

**Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos característicos de los líquidos cloacales.**

Parámetro	Líquido cloacal		
	Diluido	Medio	Concentrado
DBO <sub>5</sub> total [mg/l]	150	200	300
DBO <sub>5</sub> soluble [mg/l]	50	70	150
DBO <sub>5</sub> suspendida [mg/l]	100	130	150
Sólidos suspendidos totales [mg/l]	150	200	250
Sólidos suspendidos volátiles [mg/l]	100	150	200
Sólidos suspendidos fijos [mg/l]	50	50	50
Nitrógeno total Kjeldhal [mg/l]	30	40	50
Nitrógeno de amonio [mg/l]	10	15	15
Nitrógeno orgánico [mg/l]	10	15	15
Fósforo total [mg/l]	5	10	15
Fósforo disuelto [mg/l]	3	7	10
Fósforo suspendido [mg/l]	2	3	5
Alcalinidad total [mg/l]	150	250	300

En la Tabla 2, se listan algunos organismos patógenos que suelen estar presentes en estos líquidos residuales, las enfermedades que producen y los principales síntomas.

**Tabla 2. Principales organismos patógenos presentes habitualmente en las excretas humanas, enfermedades y síntomas que producen (Adaptado de las referencias 1, 2, 3 y 4).**

<b>Organismos</b>	<b>Enfermedades que producen</b>	<b>Principales síntomas</b>
<b>Bacterias</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibrio cholerae</li> <li>• Escherichia coli (serotipos patógenos)</li> <li>• Salmonella typhi</li> <li>• Shigella spp.</li> </ul>	Cólera	Diarrea, vómitos, evacuaciones tipo “agua de arroz”, sed, dolor, coma.
	Gastroenteritis	Diarrea acuosa, náuseas, postración, deshidratación.
	Fiebre tifoidea	Dolor de cabeza, náusea, pérdida de apetito, constipación o diarrea, anginas, bronquitis, dolor abdominal, hemorragia nasal, escalofríos, fiebre.
	Disentería bacilar	Diarrea, fiebre y evacuaciones conteniendo mucus y sangre.
<b>Protozoos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Giardia lamblia</li> <li>• Entamoeba histolytica</li> </ul>	Giardiasis	Diarrea intermitente.
	Amebiasis	Diarrea alternando con constipación, disentería crónica con mucus y sangre.
<b>Nematodos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ascaris lumbricoides</li> <li>• Trichiuris trichiura</li> <li>• Ancylostoma duodenale</li> <li>• Necator americanus</li> <li>• Strongyloides stercoralis</li> <li>• Oxyuris vermicularis</li> </ul>	Ascariasis	Vómitos, lombrices vivas en las heces.
	Tricocefalosis	Dolor abdominal, diarrea, anemia, pérdida de peso.
	Uncinariasis	Dermatitis, náuseas, molestias gástricas, anemia, diarrea, a veces estreñimiento, bronquitis.
	Uncinariasis	Dermatitis, náuseas, molestias gástricas, anemia, diarrea, a veces estreñimiento, bronquitis.
	Estrongiloidiasis	A veces asintomática. Eritemas, dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos.
	Oxiuriasis	Prurito, síntomas nerviosos (alteraciones del sueño).
<b>Virus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Virus de la hepatitis</li> </ul>	Hepatitis A	Ictericia, fiebre.

Por lo tanto, podemos decir que el objetivo del sistema de tratamiento (Planta depuradora) será controlar el nivel y concentración de estos contaminantes en el líquido residual tratado. Donde los valores de los límites de vuelco dependerán de la localidad y la autoridad de control, del cuerpo receptor (por ej. río/arroyo, pluvial, mar, lago/laguna/estuario, etc.) y del posible reuso con fines agrícolas.

Para alcanzar estos límites de vuelco pueden emplearse diferentes alternativas tecnológicas, dependiendo la elección de la tecnología más adecuada de los siguientes factores:

- Límites de vuelco a cumplir (localidad, cuerpo receptor, reuso agrícola, recarga de acuífero, etc.).
- Superficie de terreno disponible, características geotécnicas.
- Condiciones climáticas (por ej. temperaturas mínima y máxima media, tasa de evaporación, precipitaciones).
- Localidades con fluctuaciones importantes en la población servida (turismo).
- Método de disposición de los barros generados.
- Características socioeconómicas del lugar (nivel de educación operadores-supervisores, posibles dificultades para: el mantenimiento de equipos, provisión de reactivos, control en el funcionamiento de la planta).
- Costos totales (capital + operación y mantenimiento).
- Forma de inversión (disponibilidad de fondos en función del tiempo).
- Institucionales (tipo de gerenciamiento).

En este trabajo se presentan algunas pautas que se espera ayudarán a los evaluadores de las ofertas a analizar las diferentes propuestas desde el punto de vista de la conveniencia de las tecnologías de tratamiento ofertadas, y a los diseñadores a proponer aquellas tecnologías más adecuadas para la situación planteada.

## **2. Sistema de tratamiento de líquidos residuales.**

### **El cumplimiento de los límites de vuelco.**

Probablemente, ésta debería ser la primer condición que debería ser considerada al iniciar la evaluación de alternativas de tratamiento. Ya que, muchas veces, los parámetros y límites de vuelco que deberá cumplir el sistema de tratamiento condicionará fuertemente el tipo de tecnología de tratamiento a emplear.

Así, por ejemplo, si se piensa en la posibilidad del reuso de los líquidos tratados para el riego agrícola sin restricciones, seguramente, la primer tecnología que debería ser considerada son las lagunas de estabilización en serie. Ya que esta tecnología es la única que permitiría alcanzar los criterios de la Organización Mundial de la Salud sin necesidad de una operación de desinfección adicional. Por otro lado, si se requiere alcanzar la nitrificación completa en cualquier época del año, probablemente, las dos únicas tecnologías que permitirían esto de manera confiable son el sistema de barros activados de aireación extendida (con sus variantes) y los procesos de película biológica de baja carga (como por ej. los lechos percoladores operados con baja carga).

## **Tecnologías para el tratamiento biológico de líquidos cloacales.**

Para remover la materia orgánica biodegradable presente en los líquidos cloacales pueden emplearse diversas tecnologías de tratamiento biológico. Como ser:

- Lagunas de estabilización.
- Lagunas aireadas.
- Barros activados convencional.
- Barros activados de aireación extendida.
- Lechos percoladores.

En la Tabla siguiente se presenta una matriz, que no pretende ser exhaustiva, la cual vincula las condiciones de vuelco con las tecnologías y sus ventajas y desventajas.

**Tabla 3. Matriz que vincula el objetivo del tratamiento de los líquidos cloacales con algunas tecnologías y sus ventajas y desventajas.**

Objetivo	Tecnología que puede ser empleada	Ventajas	Desventajas
<b>Remoción de materia orgánica carbonácea sin nitrificación</b>	Lagunas de estabilización en serie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesita operadores calificados.</li> <li>• Muy bajo costo de operación y mantenimiento.</li> <li>• No requiere sedimentación primaria.</li> <li>• Prácticamente no hay generación de barros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere grandes superficies.</li> <li>• Problemas potenciales de olores.</li> <li>• Poca flexibilidad en la operación.</li> <li>• Puede haber problemas por exceso de algas en la descarga.</li> <li>• Necesita control de plagas.</li> <li>• Las bajas temperaturas disminuyen notablemente su efectividad.</li> </ul>
	Lagunas aireadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativamente sencillas de operar.</li> <li>• No requiere sedimentación primaria.</li> <li>• Poca generación de barros en exceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy elevado consumo de energía eléctrica para aireación.</li> <li>• Si se necesita desinfectar, requiere dosis relativamente elevadas de cloro.</li> <li>• Concentración relativamente alta de sólidos suspendidos en el efluente tratado.</li> <li>• Las bajas temperaturas ambientales afectan el rendimiento de estos procesos biológicos.</li> </ul>

**Tabla 3 (continuación) . Matriz que vincula el objetivo del tratamiento de los líquidos cloacales con algunas tecnologías y sus ventajas y desventajas.**

<b>Objetivo</b>	<b>Tecnología que puede ser empleada</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Remoción de materia orgánica carbonácea sin nitrificación</b>	Barros activados convencional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas compactos, ocupan poca superficie.</li> <li>• Muy baja concentración de sólidos suspendidos en el efluente tratado.</li> <li>• La temperatura ambiental afecta poco el rendimiento de estos procesos biológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere tratamiento preliminar y sedimentación primaria.</li> <li>• Elevado consumo de energía eléctrica para aireación.</li> <li>• Alto costo de operación y mantenimiento.</li> <li>• Necesita operadores calificados.</li> <li>• Muy alta generación de barros (primarios y secundarios).</li> <li>• Muy elevado costo para el tratamiento de los barros.</li> </ul>
	Lechos percoladores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita relativamente poca superficie.</li> <li>• Bajo consumo de energía eléctrica.</li> <li>• Comparado con el barro activado convencional, menor generación de barros secundarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere operadores medianamente calificados.</li> <li>• Necesita tratamiento preliminar y sedimentación primaria.</li> <li>• Baja sedimentabilidad de los barros secundarios. Relativamente elevada concentración de sólidos suspendidos en el efluente tratado.</li> <li>• Su efectividad está muy influida por la temperatura ambiental.</li> <li>• Si se necesita desinfectar, la dosis de cloro a aplicar debe ser mayor que en los barros activados.</li> </ul>

**Tabla 3 (continuación). Matriz que vincula el objetivo del tratamiento de los líquidos cloacales con algunas tecnologías y sus ventajas y desventajas.**

<b>Objetivo</b>	<b>Tecnología que puede ser empleada</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Reuso agrícola</b>	Lagunas de estabilización en serie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la única tecnología recomendada por la OMS para riego sin restricciones. Pueden lograrse elevadas remociones de patógenos sin necesidad de desinfección.</li> <li>• Son válidas las ventajas presentadas para la misma tecnología, cuando el objetivo es la remoción de materia orgánica carbonácea sin nitrificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son válidas las desventajas presentadas para la misma tecnología, cuando el objetivo es la remoción de materia orgánica carbonácea sin nitrificación.</li> </ul>
	Sistemas de tratamiento de alta carga (barros activados, lechos percoladores) con desinfección y filtración terciaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de tratamiento relativamente compactos (menor requerimiento de superficie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología compleja.</li> </ul>
<b>Nitrificación</b>	Barros activados de aireación extendida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología más utilizada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado consumo de energía eléctrica para aireación.</li> </ul>
	Lechos percoladores de baja carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor requerimiento de energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las bajas temperaturas ambientales afectan notablemente su rendimiento como nitrificador.</li> </ul>

**Tabla 3 (continuación). Matriz que vincula el objetivo del tratamiento de los líquidos cloacales con algunas tecnologías y sus ventajas y desventajas.**

<b>Remoción de macronutrientes</b>	Barros activados de aireación extendida modificado operacionalmente (anóxico y aeróbico) + precipitación química de fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentro de la complejidad de un sistema de tratamiento con estas características, tecnología probada y confiable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado consumo de productos químicos.</li> <li>• Mayor generación de barros en exceso.</li> </ul>
	Barros activados de aireación extendida modificado operacionalmente (anaeróbico, anóxico y aeróbico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor consumo de productos químicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema complejo e inestable desde el punto de vista de la remoción incentivada de fósforo.</li> <li>• Manejo de barros en exceso complejo. Debe diseñarse el sistema de tratamiento de barros de manera tal de minimizar la liberación del fósforo eliminado biológicamente.</li> <li>• Mayor gasto de energía eléctrica para la recirculación interna de licor mezcla.</li> </ul>

### **3. Algunos comentarios relacionados con otros factores que pueden influir sobre la elección de una determinada tecnología para el tratamiento de líquidos cloacales.**

#### **Reuso agrícola.**

La composición de los líquidos residuales cloacales tratados, principalmente su alto contenido en nutrientes minerales y orgánicos, hacen de éste un fluido sumamente adecuado para ser utilizado como agua de riego.

En la práctica, esta alternativa de reuso agrícola significa una importante economía en el uso de nutrientes artificiales y agua, determinando un importante ahorro de divisas.

Actualmente, el riego con excretas se encuentra muy extendido en todo el mundo, desarrollado o en vías de desarrollo. Sin embargo, esta práctica tan generalizada, puede traer importantes consecuencias para la salud de la población si no se realiza de manera controlada y siguiendo los lineamientos fijados por los organismos sanitarios. En tal sentido, podemos decir que las excretas humanas son una de las principales fuentes de organismos responsables de enfermedades que pueden ser transmitidas al hombre a través del agua.

Por lo tanto, cuando el objetivo principal del tratamiento de los líquidos cloacales es el empleo de los líquidos tratados para el reuso agrícola, la planta de tratamiento deberá ser diseñada para lograr un control efectivo de aquellos organismos potencialmente peligrosos para la salud y que pudieran estar presentes en el líquido residual.

De todas formas, como se muestra en la Tabla 4, el mero tratamiento biológico no siempre asegura la destrucción de los organismos patógenos. Es más, generalmente la desinfección química del líquido residual tratado sólo es efectiva para la destrucción de bacterias y virus, ya que está comprobado que los protozoos y nematodos son bastante resistentes a la cloración, véase la Sección 4.

**Tabla 4. Remoción de organismos patógenos en diferentes procesos de tratamiento [adaptado de Yañez Cossío (5)].**

Proceso	Coliformes fecales NMP/100 ml		% eficiencia en la remoción
	Afluyente	Efluente	
<b>Tratamiento primario</b>	$10^5 - 10^7$	$10^5 - 10^6$	50 - 90
<b>Lecho percolador</b>	$10^5 - 10^7$	$10^4 - 10^6$	90 - 95
<b>Barro activado</b>	$10^5 - 10^7$	$10^3 - 10^6$	90 - 99
<b>Lagunas de estabilización en serie</b>	$10^5 - 10^7$	$< 10^3$	> 99

El único proceso de tratamiento que, adecuadamente diseñado, garantizaría la destrucción de todo tipo de organismos patógenos hasta los límites recomendados por la OMS (6) para reuso agrícola sin necesidad de tratamiento terciario y desinfección química, Tabla 5, es el de lagunas de estabilización en serie. En estos sistemas, la destrucción de las bacterias se produce por el efecto combinado de la radiación solar y los procesos químicos y biológicos que ocurren en

ellos. En cambio, la eliminación de protozoos y nematodos se lleva a cabo principalmente a través del proceso de sedimentación.

**Tabla 5. Directrices microbiológicas provisionales - Directrices de Engelberg [OMS (6)].**

Proceso	Nematodos intestinales [media aritmética del Nº de huevos viables/litro]	Coliformes fecales [media geométrica por 100 ml]
Riego restringido	≤ 1	no aplicable
Riego sin restricciones	≤ 1	≤ 1000

Por otro lado, en Estados Unidos de Norteamérica la U.S.EPA (7) ha fijado condiciones para el reuso de las aguas. En la Tabla 6 se presentan las condiciones que establece la U.S.EPA para el reuso agrícola y la recarga de acuíferos.

**Tabla 6. Guías para el reuso de agua de la U.S.EPA (Adaptado de la referencia 7).**

Uso	Tratamiento requerido	Calidad del agua para el reuso
<b>Uso urbano, cultivos que se consumen crudos, cuerpos de agua de uso recreacional (contacto directo)</b>	Debe incluir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento secundario.</li> <li>• Filtración terciaria.</li> <li>• Desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6 a 9</li> <li>• DBO<sub>5</sub> ≤ 10 mg/l</li> <li>• Turbiedad ≤ 2 UNT<sup>1</sup></li> <li>• Colifecales/100 ml = no detectable<sup>2</sup></li> <li>• Cloro residual = 1 mg/l</li> </ul>
<b>Áreas de irrigación con acceso restringido, riego de cultivos que se comercializan procesados (incluyendo vides), cultivos no comestibles (pasturas, fibras, semillas).</b>	Debe incluir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento secundario.</li> <li>• Desinfección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6 a 9</li> <li>• DBO<sub>5</sub> ≤ 30 mg/l</li> <li>• SS ≤ 30 mg/l</li> <li>• Colifecales/100 ml = 200 CF/100 ml<sup>3</sup></li> <li>• Cloro residual = 1 mg/l<sup>2</sup></li> </ul>
<b>Recarga de acuíferos empleados como fuente de agua potable, por inyección o mejorando la recarga superficial.</b>	Debe incluir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento secundario.</li> <li>• Filtración terciaria.</li> <li>• Desinfección.</li> <li>• Tratamiento avanzado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH = 6 a 8,5</li> <li>• Turbiedad ≤ 2 UNT<sup>1</sup></li> <li>• Colifecales/100 ml = no detectable<sup>2</sup></li> <li>• Cloro residual = 1 mg/l<sup>3</sup></li> <li>• Que cumpla con los estándares de agua potable</li> </ul>

<sup>1</sup> Debe ser alcanzado antes de la desinfección. Promedio basado en un período de 24 horas. La turbiedad nunca deberá ser mayor que 5 UNT.

<sup>2</sup> Basado en la mediana de 7 días. En ninguna muestra deberán superarse los 14 CF/100 ml.

<sup>3</sup> Después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos.

La Tabla 6 muestra las estrictas condiciones de tratamiento y los muy exigentes límites de calidad del agua fijados por la U.S.EPA. Al respecto, podemos realizar los siguientes comentarios:

- La U.S.EPA exige como condición, en el caso del reuso agrícola y la recarga de acuíferos, la presencia de cloro residual en una concentración bastante elevada (1 mg/l). Obsérvese que el cloro residual exigido en un agua potable suele ser del orden de los 0,2 mg/l.
- Esto trae como consecuencia que desde el punto de vista regulatorio, la U.S.EPA no admite el empleo de otro método de desinfección (como desinfectante “secundario”) que la cloración.
- En el caso de riegos sin restricciones, uso recreativo con contacto directo y recarga de acuíferos se exige la filtración terciaria antes de la desinfección. Esto, probablemente, para retener por filtración los organismos parásitos, ya que como se menciona en la Sección 4 los métodos de desinfección tradicionales suelen ser bastante poco efectivos para inactivar a los parásitos.

Otra información adicional útil cuando se considera el reuso agrícola de líquidos cloacales tratados y que debería evaluarse es la dosis infectiva esperable de los microorganismos patógenos presentes en el líquido residual y el período de supervivencia esperable en el agua de riego, en los cultivos y en el suelo, Tablas 7 y 8.

**Tabla 7. Número de bacterias presentes en un agua para reuso agrícola para que se produzca enfermedad en 25 a 75% de humanos expuestos (8).**

<b>Bacteria</b>	<b>NMP de bacterias/100 ml</b>
Shigella Spp.	$10^2$ a $10^3$
Salmonella typhi	$10^3$ a $10^7$
Salmonella Spp.	$10^5$ a $10^9$
Vibrio cholerae	$10^3$ a $10^8$

**Tabla 8. Períodos de supervivencia de algunos organismos patógenos a temperatura de entre 20 y 30°C (Adaptados de las referencias 1 y 9).**

Organismo patógeno	Período de supervivencia [días]		
	Agua dulce y líquido cloacal	Cultivos	Suelo
<b>Virus</b> • Enterovirus	< 120 habitualmente < 50	< 60 habitualmente < 15	< 100 habitualmente < 20
<b>Bacterias</b> • Coliformes fecales	< 60 habitualmente < 30	< 30 habitualmente < 15	< 70 habitualmente < 20
• Salmonella Spp.	< 60 habitualmente < 30	< 30 habitualmente < 15	< 70 habitualmente < 20
• Shigella Spp.	< 30 habitualmente < 10	< 10 habitualmente < 5	
• Vibrio cholerae	< 30 habitualmente < 10	< 5 habitualmente < 2	< 20 habitualmente < 10
<b>Protozoarios</b> • Entamoeba histolítica	< 30 habitualmente < 15	< 10 habitualmente < 2	< 20 habitualmente < 10
<b>Helmintos</b> • Huevos de Ascaris lumbricoides	Muchos meses	< 60 habitualmente < 30	Muchos meses
• Larvas de anquilostomas		< 30 habitualmente < 10	< 90 habitualmente < 30
• Huevos de Taenia saginata		< 60 habitualmente < 30	Muchos meses
• Huevos de Trichuris trichiura		< 60 habitualmente < 30	Muchos meses

### **Efecto de las condiciones climáticas.**

Las características climáticas de la zona geográfica donde piensa instalarse la planta depuradora puede condicionar fuertemente el tipo de tecnología a emplear. Los factores climáticos que inciden más sobre los sistemas de tratamiento son:

- La temperatura ambiente (mínima media invernal y máxima media estival). Por ejemplo, sobre los procesos biológicos o sobre la demanda de oxígeno.
- El nivel de precipitaciones y la tasa de evaporación. Por ejemplo, sobre las dimensiones de playas de secado.
- La velocidad y sentido de los vientos predominantes. Por ejemplo, sobre la orientación de las lagunas de estabilización.
- La intensidad de la radiación solar. Por ejemplo, sobre la efectividad de la remoción de patógenos en las lagunas de estabilización.

### **El caso de las localidades turísticas.**

Las localidades turísticas tienen como característica la notable fluctuación de la población servida en determinados momentos del año. Este repentino aumento de la población – en nuestro país, principalmente en los meses de enero y febrero, y en dos o tres semanas del mes de julio - somete a una dura prueba a las instalaciones de depuración.

Si bien no existe una regla general que permita para estos casos elegir una determinada tecnología sobre otra, podemos decir lo siguiente:

- Lógicamente, la planta depuradora deberá ser capaz de funcionar adecuadamente con la población estable y con el pico turístico. Esto significa que la tecnología que seleccionemos deberá ser capaz de asimilar el incremento de caudal (consecuentemente la carga recibida por el sistema) y la eventual variación en la concentración de contaminantes en el líquido residual a tratar.
- Seguramente, en estos períodos deberá reajustarse las condiciones de operación de la planta depuradora. Esto significa que, probablemente, al elegir entre diferentes tecnologías deberemos considerar que durante los incrementos en la población servida algunos de los límites de vuelco establecidos no podrán ser cumplidos. Por ej.: nitrificación incompleta durante el período de aumento de la población.

### **Control de macronutrientes (véase la referencia 10).**

En los desechos, tanto el nitrógeno como el fósforo se encuentran formando parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos. El nitrógeno, principalmente, como nitrógeno Kjeldahl (orgánico + amonio). Por otro lado, el fósforo está presente en los líquidos residuales principalmente como fósforo orgánico e inorgánico (ortofosfatos).

La descarga de estos compuestos a los cursos de agua, sin un tratamiento adecuado, puede generar diversos problemas de impacto ambiental, tales como:

- Un aumento en la concentración de nutrientes en el curso receptor, que puede llegar a provocar su eutroficación (necesidad de remover nitrógeno y/o fósforo).
- Toxicidad del  $N-NH_4^+$  sobre la vida acuática (necesidad de nitrificación).
- Aumento de la demanda de oxígeno en el cuerpo receptor debido a la descarga de compuestos reducidos del nitrógeno (necesidad de nitrificación).

La estrategia que puede seguirse para seleccionar la tecnología más adecuada para el control de nutrientes es establecer si se requiere:

- Nitrificar.
- Desnitrificar.
- Remover fósforo.

Si es necesario nitrificar, es decir oxidar biológicamente los compuestos de amonio a nitratos, deberá elegirse un proceso biológico aeróbico que opere con elevadas edades del barro, a temperaturas del líquido en el reactor adecuadas (más de 10°C y menos de 40°C) y con alcalinidad suficiente (durante la nitrificación se generan H<sup>+</sup>, por lo cual el pH del líquido en el reactor tenderá a descender).

Los procesos biológicos, entre otros, que pueden emplearse para lograr este objetivo durante todo el año, son:

- Barros activados de aireación extendida y sus variantes (por ej. zanja de oxidación).
- Procesos de película biológica operando con baja carga, por ej. lechos percoladores de baja carga.

De las dos tecnologías mencionadas, la más empleada es la variante de barros activados de aireación extendida.

Si en la zona donde se instalará la planta depuradora se prevén bajas temperaturas en el invierno, durante el diseño deberán tomarse todas las precauciones para evitar que la temperatura del líquido dentro del reactor descienda por debajo de los 10°C.

Por ejemplo: si se elige como alternativa de tratamiento la variante de barros activados de aireación extendida, deberá elegirse un sistema de aireación que minimice la pérdida de calor del licor mezcla. En cambio, si el sistema elegido es un lecho percolador de baja carga deberá evaluarse la necesidad de cubrir los lechos percoladores y eventualmente los sedimentadores secundarios, minimizando los caudales de líquido recirculado.

Si las reglamentaciones que regulan la descarga de líquidos residuales determinan la necesidad de controlar la concentración de compuestos nitrogenados en el efluente tratado, necesariamente, deberá recurrirse a un proceso biológico que primero nitrifique y luego desnitrifique (es decir, transforme los nitratos en nitrógeno gaseoso).

En tal caso, probablemente, las únicas alternativas tecnológicas que podrán emplearse serán aquellas basadas en los sistemas de barros activados de aireación extendida modificadas operacionalmente. Es decir, un sistema de barros activados donde se alternan condiciones aeróbicas y anóxicas (ausencia de oxígeno disuelto y presencia de nitratos). En este tipo de sistemas, durante la condición aeróbica se producirá la nitrificación y en la condición anóxica la desnitrificación.

Para que se produzca desnitrificación biológica deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Condición anóxica. Si hubiera oxígeno disuelto los microorganismos desnitrificantes en lugar de emplear el oxígeno presente en los nitratos utilizarían el oxígeno disuelto.
- Debe haber suficiente materia orgánica biodegradable, 4 kg DBO<sub>5</sub> por kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a reducir, ya que los microorganismos desnitrificantes son heterótrofos.

A diferencia de la nitrificación, el efecto de las bajas temperaturas es menos importante, y en cuanto a la alcalinidad, durante la desnitrificación en lugar de consumo hay generación.

Si el objetivo del control de nutrientes es limitar la concentración de fósforo en el líquido

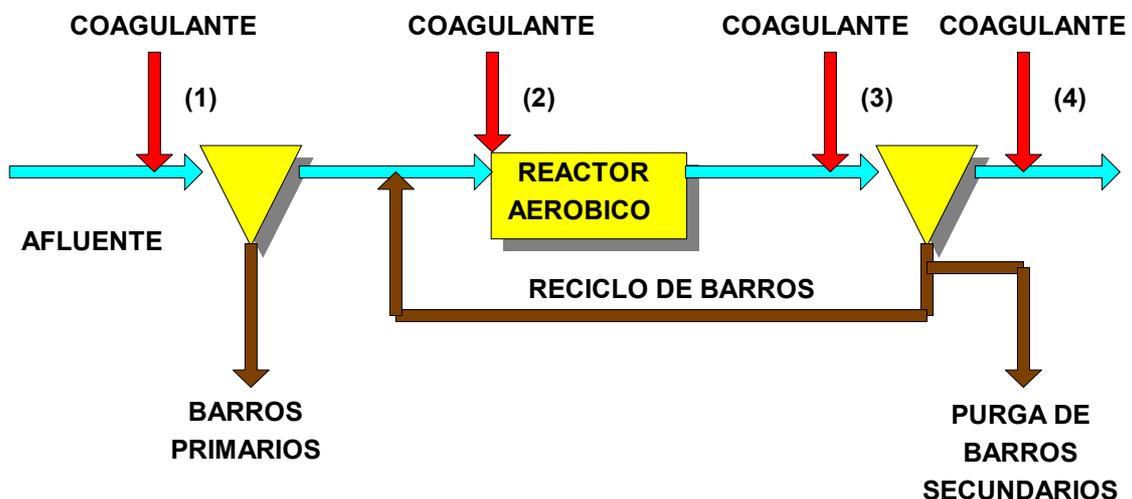
residual tratado, podrá optarse por una eliminación del fósforo por:

- Métodos químicos.
- Métodos biológicos.
- Métodos combinados (por ej. Proceso PHOSTRIP™).

En los métodos químicos, el fósforo inorgánico presente en el líquido residual es insolubilizado y precipitado mediante el agregado de ciertos productos químicos, como ser:

- Sulfato de aluminio.
- Sales ferrosas o férricas.
- Alúmina.
- Cal.

El agregado de estos productos químicos puede realizarse en diversos lugares del sistema de tratamiento. En la Figura siguiente se presenta un esquema con los posibles lugares para la dosificación de estas sustancias químicas. De todas maneras, probablemente, el lugar de dosificación más utilizado para este fin es antes del ingreso del licor mezcla al sedimentador secundario, en una zona que permita el rápido mezclado entre el producto químico y el licor mezcla. En el caso que se hubiera decidido emplear como agente precipitante sales ferrosas, éstas necesariamente deberán ser dosificadas en la cámara de aireación para permitir que el hierro ferroso se oxide a férrico.



Para lograr la remoción de fósforo en exceso empleando procesos biológicos (remoción incentivada de fósforo) se suelen utilizar sistemas basados en los procesos de barros activados de aireación extendida modificados operacionalmente. En este caso, combinando condiciones aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas (ausencia de oxígeno disuelto y nitratos).

Cuando se emplea esta variante para la remoción de fósforo, el proceso biológico necesariamente deberá ser capaz de remover nitrógeno, es decir, nitrificar y desnitrificar.

#### **4. Desinfección.**

Como se menciona en las Secciones 1 y 3, los líquidos cloacales presentan como contaminantes una gran variedad de organismos patógenos potencialmente peligrosos para la salud del hombre.

Estos organismos no pueden ser eliminados en su totalidad a través de las etapas de tratamiento preliminar, primario y secundario.

**Tabla 9. Cantidad típica de microorganismos que pueden estar presentes en las distintas etapas del proceso de depuración de líquidos cloacales (11).**

Microorganismo	Número por 100 ml de efluente				Número por gramo de barro	
	Cloacal “crudo”	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario <sup>1</sup>	“Crudo”	Digerido <sup>2</sup>
Coliformes fecales NMP <sup>3</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	< 2	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>
Salmonella NMP	8000	800	8	< 2	1800	18
Shigella NMP	1000	100	1	< 2	220	3
Virus entérico UFP <sup>4</sup>	50000	15000	1500	0,002	1400	210
Huevos de helmintos	800	80	0,08	< 0,08	30	10
Quistes de Giardia lamblia	10000	5000	2500	3	140	43

<sup>1</sup> Incluye coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

<sup>2</sup> Digestión anaeróbica mesofílica.

<sup>3</sup> Número más probable.

<sup>4</sup> Unidades formadoras de placa.

Los valores de la Tabla 11, sólo son presentados a título de ejemplo y con el objetivo de dar idea de órdenes de magnitud. La concentración probable de organismos en una planta depuradora depende de muchos factores, como ser: estado sanitario general de la población servida, dotación de agua, y condiciones de operación de las distintas etapas en el proceso de tratamiento.

Tal vez, lo más importante que muestra esta Tabla es que:

- La existencia de una etapa de tratamiento secundario no permite asegurar una adecuada remoción de organismos potencialmente peligrosos para la salud del hombre.
- La estabilización convencional de barros es insuficiente para lograr barros seguros desde el punto de vista sanitario.

Como consecuencia de lo que se ha expuesto, usualmente, antes de la descarga al cuerpo receptor de los líquidos residuales tratados, estos deben ser desinfectados; y si el procedimiento de disposición de barros no es en rellenos sanitarios pueden ser necesarias etapas adicionales de tratamiento de barros para lograr las condiciones requeridas para su manejo y disposición seguras, véase la Sección 5.

Los métodos de desinfección de líquidos residuales más empleados son:

- Cloración.
- Hipocloración.
- Ozonización.
- Irradiación con U.V.

Cada uno de estos procedimientos presentan determinadas características, ventajas y desventajas, las que serán analizadas brevemente en la próximas secciones. De todas formas, podemos decir que un procedimiento de desinfección debería ser evaluado teniendo en cuenta como mínimo las siguientes cuestiones:

- Efectividad como desinfectante para lograr la inactivación o eliminación de los organismos patogénicos que potencialmente pudieran estar presentes en el líquido residual, a saber: bacterias, virus y parásitos (protozoos y helmintos).
- Cumplimiento de normas regulatorias, por ej. concentración de cloro residual.
- Seguridad y facilidad para el manejo, almacenamiento y transporte de los productos químicos necesarios para realizar el procedimiento de desinfección.
- Generación durante el proceso de desinfección de subproductos o sustancias residuales que puedan afectar la vida acuática o perjudicar las posibilidades de reuso.
- Experiencia en el uso práctico de la tecnología.
- Complejidad de la tecnología, desde los puntos de vista de la necesidad de personal calificado para la operación del sistema y/o personal técnico especializado para las acciones de mantenimiento del equipamiento.
- Costos de capital y operación y mantenimiento.

### **Cloración e hipocloración.**

La cloración y la hipocloración, es decir el empleo de agentes clorógenos, son los

procedimientos más empleados para la desinfección de aguas residuales (también para la potabilización de agua para consumo humano).

Los factores principales que influyen sobre la efectividad del proceso de desinfección cuando se emplean agentes clorógenos son:

- Dosis.
- Tiempo de contacto.
- Mezcla rápida en la zona de dosificación y flujo pistón en la zona de contacto.
- Temperatura del líquido.
- pH.
- Presencia de compuestos de amonio.

<b>Cloración</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	Es una tecnología bien conocida y ampliamente utilizada.	El cloro residual presente en el líquido tratado es tóxico y puede afectar la vida acuática en el lugar de descarga si el poder de dilución del cuerpo receptor no es suficiente. Puede ser necesaria la dechloración antes de la descarga.
	Actualmente, es la alternativa de desinfección más adecuada desde el punto de vista de los costos totales <sup>1</sup> .	El cloro es un compuesto químico altamente tóxico y corrosivo. Su manejo y almacenamiento requiere cuidados especiales.
	La concentración del cloro residual presente en el efluente luego del proceso de desinfección es fácilmente medible, inclusive empleando instrumentos “on line”, de manera tal que puede usarse este parámetro como método de seguimiento del proceso de desinfección.	Ha sido probado que algunos parásitos presentes habitualmente en los líquidos cloacales son sumamente resistentes a la acción del cloro.
	Al ser el cloro un compuesto químico altamente oxidante, éste puede reaccionar con la materia orgánica remanente disminuyendo la DBO <sub>5</sub> final. Además, controla potenciales olores.	
<b>Hipocloración</b>	Idem todas las ventajas presentadas para la cloración.	Idem todas las desventajas presentadas para la cloración, excepto la referida a la toxicidad y corrosividad del cloro.
	Al estar en solución, puede ser dosificado con facilidad.	Para un mismo líquido residual a desinfectar, las dosis de hipoclorito necesarias suelen ser mayores que cuando se emplea cloro gaseoso, esto como consecuencia de que el agregado de hipoclorito tiende a incrementar el pH.
		Debido a que este reactivo químico suele comercializarse en solución acuosa y en concentraciones relativamente bajas, las necesidades de superficie de almacenamiento y costos de transporte son sustancialmente mayores que cuando se emplea cloro gaseoso.
		Las soluciones de hipoclorito de sodio se degradan con el tiempo, por ej. en condiciones normales de almacenamiento, una solución de hipoclorito de sodio al 12,5% disminuye su concentración al 10% en el término de 30 días. La exposición directa a la luz solar y el aumento de la temperatura acelera este proceso de descomposición.

## Ozonización.

El ozono es un gas tóxico inestable y con un elevado poder de oxidación. Es un poderoso bactericida y viricida por lo cual se lo emplea como agente desinfectante de aguas residuales tratadas y como desinfectante primario en las plantas potabilizadoras de agua.

Al ser un gas muy inestable, éste debe ser generado en el lugar de aplicación. Para ello, se somete el oxígeno libre de humedad (licuado o proveniente del aire previamente secado) a una corriente de alto voltaje descargado a través de un dieléctrico que contiene el oxígeno. De esta manera el oxígeno molecular puede ser dissociado en sus átomos, y éste por interacción con otras moléculas de oxígeno forma la molécula de ozono. Luego, el ozono formado se descompone rápidamente en agua y radicales libres de peroxihidrógeno ( $\text{HO}_2\bullet$ ) e hidroxilo ( $\text{HO}\bullet$ ), los que son altamente oxidantes y tienen un rol importante en el proceso de desinfección.

Ventajas	Desventajas
Es más efectivo que el cloro para inactivar virus y bacterias.	Es una tecnología de desinfección más compleja que la irradiación U.V. y la cloración.
No es necesario la destrucción del ozono residual, ya que este se descompone rápidamente.	Es tóxico y extremadamente irritante, puede ser fatal, el "off gas" debe ser destruido.
Como el ozono debe ser generado en el lugar no existen problemas de transporte.	
El ozono incrementa la concentración del oxígeno disuelto el efluente tratado.	

## Irradiación con radiación ultravioleta (U.V.).

A diferencia de la cloración y la ozonización, irradiación U.V. no inactiva a los microorganismos, que pudieran estar presentes en el líquido residual, por acción química. La irradiación U.V. inactiva a los microorganismos debido a que estos absorben parte de la radiación emitida, la que provoca una reacción fotoquímica que altera el código genético de las células expuestas, impidiendo que estas puedan reproducirse.

Se ha demostrado que la irradiación U.V. es sumamente efectiva como bactericida y viricida pero poco efectiva para el control de parásitos.

Los principales componentes de un sistema de desinfección U.V. son:

- Lámparas de arco de mercurio. Responsables de la generación de la radiación U.V. con una longitud de onda de 253,7 nm (lámparas de baja presión) y de entre 180 y 1370 nm (lámpara de media presión).
- El reactor de irradiación, diseñado para una permanencia de unos 30 segundos.
- Los balastos (reactancias), responsables de la limitación de corriente en las lámparas.

Las lámparas U.V. empleadas en los sistemas de desinfección, esencialmente tienen el mismo principio de funcionamiento que los tubos fluorescentes comunes. La diferencia entre ambas radica en que en los tubos fluorescentes, la pared interna del tubo está recubierta con fósforo, el cual convierte a una parte importante de la radiación U.V. emitida en luz visible. En

cambio, las lámpara U.V. empleadas para desinfección no están recubiertas, de manera tal que prácticamente toda la radiación U.V. generada es emitida.

Como se dijo anteriormente, las lámparas de baja presión generan radiación prácticamente monocromática, la radiación emitida es relativamente poco penetrante (menor efectividad en la desinfección), pero operan a bajas temperaturas - unos 40°C (relativamente bajo consumo de energía). En cambio, las lámparas de media presión emiten radiación U.V. con gran poder de penetración (acción germicida unas 15 a 20 veces mayor que las lámparas de baja presión), pero como contrapartida operan a altas temperaturas con un elevado consumo de energía.

Por ello, por una cuestión ligada a los costos, las lámparas de baja presión son utilizadas en las instalaciones de desinfección relativamente pequeñas y las lámparas de media presión sólo son recomendadas en instalaciones más grandes.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No deja residuales el líquido tratado.	Requiere mantenimiento preventivo para evitar el ensuciamiento del sistema de lámparas.
Los tiempos de contacto necesarios son pequeños (20 a 30 segundos).	La turbidez y la presencia de sólidos suspendidos disminuye la efectividad de la desinfección.
El sistema de desinfección con U.V. requiere menor espacio que los otros sistemas de desinfección.	

## **5. Tratamiento y disposición de barros.**

### **Características fisicoquímicas y biológicas.**

Como consecuencia del tratamiento de los líquidos cloacales, podemos decir que habitualmente se generan cuatro tipos de residuos sólidos/semisólidos y barros con características fisicoquímicas bien diferenciadas. A saber:

- Sólidos retenidos en los sistemas de rejillas.
- “Arenas” eliminadas en los desarenadores.
- “Espumas” y flotantes separados en los sedimentadores.
- Barros primarios y secundarios.

Generalmente, los tres primeros tipos de residuos no requieren otro tratamiento que una estabilización química con cal, siendo el método de disposición aconsejado la disposición final con las basuras domiciliarias.

En cambio, los barros primarios y secundarios debido a que poseen las siguientes características fisicoquímicas y biológicas:

- Alto contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable.
- Elevado contenido de agua.
- Presencia de organismos potencialmente peligrosos para la salud.

necesitan un tratamiento más complejo, antes de que estos puedan ser dispuestos con seguridad.  
En la Tabla 12 se presentan cada una de estas características y se resumen sus efectos.

**Tabla 12. Características fisicoquímicas y biológicas de los barros y sus efectos indeseables.**

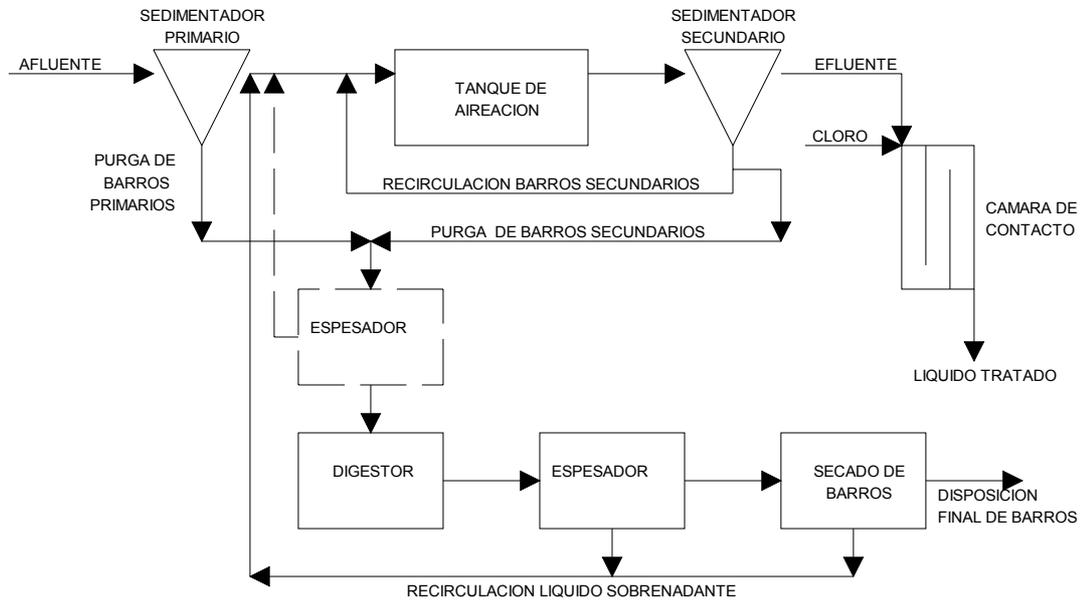
<b>Característica</b>	<b>Efecto</b>
Alto contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable.	Putrefacción. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imposibilidad de disponer en rellenos sanitarios.</li> <li>• Malos olores.</li> <li>• Atracción de vectores.</li> <li>• Difícil secado natural.</li> </ul>
Elevado contenido de agua.	Gran volumen. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imposibilidad de disponer en rellenos sanitarios.</li> <li>• Alto costo de transporte.</li> <li>• Atracción de vectores.</li> </ul>
Presencia de organismos potencialmente peligrosos para la salud.	Sanitario. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Particularmente importante si se evalúa un método de disposición a través del reuso agrícola.</li> </ul>

Aquí, sólo analizaremos brevemente las operaciones para el tratamiento y la disposición de barros primarios y secundarios.

**Objetivos del tratamiento de barros primario y secundario.**

- Minimizar o evitar el impacto de características adversas.
- Putrescibilidad (olores, atracción de vectores).
- Elevado contenido de agua (costos de transporte y disposición, dificultades para su manejo).
- Conservación de nutrientes.
- Preservar la salud y el ambiente.

## Diagrama de bloques de un sistema típico de tratamiento de barros.



Los principales procesos que se emplean para la estabilización de barros provenientes de plantas depuradoras son:

- Estabilización química.
- Digestión aerobia.
- Digestión anaerobia.

En cambio, para disminuir su contenido en agua pueden utilizarse las operaciones de:

- Espesamiento.
- Playas de secado.
- Filtración por vacío.
- Centrifugación.
- Filtros de bandas.

### Estabilización química.

La estabilización química de barros se realiza mezclando cantidades adecuadas de cal y barro primario, secundario o mixto (por ej. en una proporción de una parte de cal por cada tres partes de barro), de manera tal que el pH del barro tratado ascienda a pH 12 por el término de al menos 2 horas. Este aumento en el pH inhibirá el crecimiento y desarrollo de microorganismos, impidiendo que los barros tratados entren en descomposición anaeróbica.

Obsérvese lo siguiente:

- En la estabilización química de barros no se produce una disminución real de la materia orgánica presente inicialmente en los lodos a tratar.
- Por el contrario, el agregado de un compuesto químico inorgánico como la cal incrementará la masa total de barros a disponer, incrementándose los costos de disposición.

### Procesos de estabilización biológica aerobia o anaerobia.

La estabilización biológica de barros se produce por la acción de microorganismos sobre parte de la materia orgánica biodegradable presente en los barros a digerir. Decimos que se produce una “gasificación” de parte de los sólidos orgánicos. Si el proceso biológico es aeróbico el principal compuesto gaseoso formado es el dióxido de carbono, en cambio, si la degradación es anaeróbica los compuestos gaseosos formados son: metano, dióxido de carbono e hidrógeno.

A diferencia de la estabilización química de barros, cuando se emplea la estabilización biológica se produce una disminución significativa en la masa de barros a disponer (hasta un máximo del 60% de masa inicial).

Objetivos:

- Reducir la masa de sólidos totales a disponer, y de esta manera minimizar los costos de transporte y disposición.
- Disminuir el contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable y así minimizar la posibilidad de generación de olores por putrefacción de la materia orgánica que pudiera estar presente.
- En ciertos casos, restringir el contenido de organismos patógenos.

### Principales características de los procesos de digestión aerobia y anaerobia de barros

Método de estabilización biológica	Características
<b>Digestión aerobia</b>	Para Plantas de tratamiento pequeñas o medianas.
	Más sencillas de operar.
	Elevado consumo de energía para aireación y mezclado.
	El líquido sobrenadante puede tener una importante concentración de nitratos.
<b>Digestión anaerobia</b>	Para grandes plantas de tratamiento.
	Muy bajo requerimiento de energía.
	Suelen necesitar calefacción.
	Barro digerido disperso, difícil de sedimentar.
	Producen metano.
El líquido sobrenadante tiene altas concentraciones de DBO, N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y sólidos en suspensión.	

## **Espesamiento de barros**

- El espesamiento es una operación unitaria que suele emplearse en las plantas de tratamiento para disminuir el contenido de agua de los barros primarios y secundarios generados durante el tratamiento de los líquidos residuales, actuando además como unidad de almacenamiento temporario.

El espesamiento puede realizarse mediante:

- La acción de la gravedad (espesamiento gravitacional).
- Flotación con aire disuelto a presión.

Probablemente, el método de espesamiento más empleado es el gravitacional.

## **Deshidratación de barros**

Objetivo:

- Disminuir el contenido de humedad del barro hasta niveles que permitan su fácil manejo y disposición.

Principales tecnologías disponibles:

- Natural
  - Playas de secado
  - Lagunas de barros
- Mecánicos
  - Filtro vacío
  - Centrífuga
  - Filtro de bandas
  - Filtro prensa

Los métodos de deshidratación naturales necesitan superficies mucho mayores que los métodos de deshidratación mecánicos. Además, sólo pueden emplearse estos métodos de deshidratación cuando los barros a deshidratar están suficientemente estabilizados y las condiciones climáticas del lugar de implantación son adecuadas. En cambio, si se emplean métodos de deshidratación mecánicos los barros pueden no estar estabilizados. Sin embargo, antes de la deshidratación mecánica las suspensiones deben ser acondicionadas empleando coagulantes metálicos y/o polielectrolitos.

En general, los métodos de deshidratación naturales (en particular las playas de secado) requieren un uso intensivo de mano de obra.

## **Alternativas de disposición.**

- Rellenos sanitarios.
- En suelo.

## **Barros vs. biosólidos.**

La U.S.EPA hace una clara diferenciación entre barros cloacales (“*sewage sludge*”) y biosólidos (“*biosolids*”). Específicamente, considera a los biosólidos como aquellos barros cloacales tratados de manera tal que cumplan con las regulaciones y estándares federales.

## **6. La evaluación de las tecnologías nuevas o innovadoras.**

La Argentina, como cualquier país en vías de desarrollo, con escasos recursos económicos y de infraestructura, sólo debería considerar la posibilidad de aplicar tecnologías nuevas o innovadoras - adaptándolas cuando resulta necesario - cuando:

- Existe en otros países suficiente evidencia de su efectividad y utilidad **a escala real**.
- Están aseguradas la asistencia técnica y la existencia de repuestos, accesorios y reemplazos en el país, por ejemplo a través de representantes.
- Su relación costo/beneficio supera ampliamente las de aquellas otras tecnologías más conocidas en el país.
- Existe en el lugar de implantación, disponibilidad de personal con preparación adecuada para la operación y el mantenimiento preventivo de la tecnología innovadora.
- Existen en el ámbito local todos los reactivos, repuestos y elementos que permitan la operación continuada de la tecnología a implementar.

Además, debería preverse en el pliego licitatorio una cláusula que obligue a la empresa proveedora de la tecnología innovadora a la puesta en marcha, la operación en régimen y el entrenamiento del personal durante un período de tiempo suficiente para garantizar el funcionamiento del sistema sin contratiempos.

## **Referencias.**

1. U.S.EPA. Environmental regulations and technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92-013 (Versión revisada octubre de 1999).
2. U.S.EPA. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. EPA/815/R-99-014 (Abril de 1999).
3. Higa L.E. Pautas para el diseño de lagunas de estabilización. Presentado en el Curso-Taller “Manejo del impacto ambiental mediante el reuso de efluentes para riego”, organizado por el INCyTH – CELAA (Agosto de 1994).
4. Atías A. Parasitología clínica. Publicaciones Técnicas Mediterráneo, Santiago – Chile.

Tercera Edición (1992).

5. Yañez Cossío F. Manual de métodos experimentales: “Evaluación de lagunas de estabilización”. CEPIS – OPS/OMS – Serie Técnica 24, Lima (Diciembre de 1982).
6. Organización Mundial de la Salud. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. OMS Serie de Informes Técnicos 778, Ginebra (1989).
7. U.S.EPA. Guidelines for water reuse. EPA/625/R-92-004. U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio (1992).
8. Bryan F.L. Diseases transmitted in food contaminated with wastewater. EPA 660/2/74-041. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. (1974).
9. Crook J. Water reclamation and reuse criteria. Black & Veatch, Boston, Massachusetts.
10. Higa L.E. Sistemas de tratamiento para la remoción de nutrientes. Presentado en el 2° Curso “Tratamiento Biológico de Residuos”, organizado por el Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo (IPT) y el Centro Argentino-Brasileiro de Biotecnología (CABBIO) (San Pablo, 27 de setiembre al 8 de octubre de 1993).

## **Referencias complementarias.**

11. Muñoz Ratto E. Un proyecto de reglamentación para la valorización agrícola de biosólidos. Presentado en el Seminario “Disposición de biosólidos” organizado por AIDIS Argentina y la International Water Association (Setiembre de 1999).
12. Muñoz Ratto E. Comunicación personal (Abril del 2000).
13. National Research Council. Committee on the use of treated municipal wastewater effluents and sludge in the production of crops for human consumption. Use of reclaimed water and sludge in food crop production. National Academy Press. Washington D.C. (1996).
14. Mara D. y Cairncross S. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Organización Mundial de la Salud, Ginebra (1990).
15. Metcalf y Eddy, Inc. Wastewater engineering. Treatment, disposal and reuse. Third Edition. McGraw-Hill. Inc. (1991).
16. Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers. Design of municipal wastewater treatment plants. Volumes I, II and III (1992).
17. U.S.EPA. Wastewater Technology Fact Sheet. Chlorine disinfection. EPA 832/F-99-062. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C. (Septiembre de 1999).
18. U.S.EPA. Wastewater Technology Fact Sheet. Ozone disinfection. EPA 832/F-99-063. U.S.

Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C. (Septiembre de 1999).

19. U.S.EPA. Wastewater Technology Fact Sheet. Ultraviolet disinfection. EPA 832/F-99-064. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C. (Septiembre de 1999).
20. U.S.EPA. Environmental Technology Verification Program. Verification strategy. EPA 600/k-96-003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington D.C. (Versión revisada Septiembre de 1997).