



## GUIA DE APLICACION DE LODOS DE PISCICULTURA EN SUELOS

Elaborado por ECOING LTDA., por encargo del  
Servicio Agrícola y Ganadero.

2009

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MARCO POLÍTICO Y LEGAL</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PROCESOS PRODUCTIVOS</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZACION GENERAL DE LOS LODOS</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>CANTIDADES DE LODOS GENERADOS</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE FACTORES CRÍTICOS DE LOS LODOS Y POSIBLES IMPLICANCIAS EN EL SUELO</b>	<b>12</b>
	<i>6.1 Parámetros físicos</i>	<i>12</i>
	<i>6.2 Salinidad</i>	<i>13</i>
	<i>6.3 Metales pesados</i>	<i>14</i>
	<i>6.4 Materia orgánica</i>	<i>15</i>
	<i>6.5 Presencia de Macronutrientes (NPK)</i>	<i>15</i>
	<i>6.6 Parámetros microbiológicos</i>	<i>16</i>
	<i>6.7 Sustancias químicas</i>	<i>17</i>
	<i>6.8 Resumen de la composición y parámetros críticos</i>	<i>17</i>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE MANEJO PARA LA APLICACIÓN DE LODOS EN SUELO</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES GLOBALES</b>	<b>21</b>

### Anexos:

- Anexo A Caracterización de lodos
- Anexo B Resistencia a fármacos y antibióticos
- Anexo C Difilobotrio o tenia de los peces
- Referencias bibliográficas

## 1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA GUÍA

La presente guía está dirigida a funcionarios del SAG y su objetivo es facilitar la evaluación de proyectos de piscicultura ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en los cuales se propone la aplicación de lodos en suelos de aptitud silvoagropecuaria, con el fin de impedir efectos adversos significativos de suelos, cultivos, ganadería, fauna y flora silvestre, aguas superficiales y subterráneas.

Está enfocada en los lodos generados en los procesos de limpieza, recirculación y filtrado de las aguas de la piscicultura de agua dulce, incluyendo los generados después de concentración, floculación o estabilización.

Los Lodos se definen como:

*"Cualquier residuo semisólido que ha sido generado en plantas de tratamiento de efluentes que se descarguen a la atmósfera, de aguas servidas, de residuos industriales líquidos o de agua potable. Se incluyen en esta definición los residuos en forma de fangos, barros o sedimentos provenientes de procesos, equipos o unidades de industrias o de cualquier actividad".<sup>1</sup>*

O como:

*"Sólidos, semisólido o líquido generado durante el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o industriales".<sup>2</sup>*

Cabe aclarar que los titulares de proyectos a veces usan términos o definiciones diferentes para los lodos, tales como "biosólidos", "residuos orgánicos", "residuos biológicos" o hasta "residuos industriales sólidos".

Finalmente, para mayor claridad, cabe señalar que se excluyen de la presente Guía los lodos provenientes de fosas sépticas o plantas de tratamiento de aguas servidas y también las mortandades de peces.

---

<sup>1</sup> Fuente: D.S. N° 148/2003 de MINSAL, "Reglamento sobre Manejo Sanitario de Residuos Peligrosos"

<sup>2</sup> Fuente: NCh 2880 Of.2004, INN, "Compost – Clasificación y Requisitos"

## 2 MARCO POLÍTICO Y LEGAL

La política nacional “Chile Potencia Agroalimentaria” se perfila, entre otros, como un referente principal para la optimización de los procesos asociados a la producción y desarrollo de la industria acuícola y su relación con la salud de las personas, la protección agrícola, la vida silvestre y el medio ambiente en general.

Se destaca en esta política, que una de las mayores preocupaciones es la de contar con los mejores estándares fito- y zoonosanitario del mundo, con una alta conectividad rural. Aquello implica exigencias de mecanismos de producción limpia y sistemas de aseguramiento de la calidad a través de la incorporación de estándares de calidad, sanidad e inocuidad de los alimentos, en un marco de respeto por el medio ambiente con responsabilidad social empresarial e innovación tecnológica.

**En consecuencia, la presente Guía debe considerar, como lineamiento principal, que la aplicación de lodos en el suelo debe preservar y mejorar las características físicas y químicas o agrícolas del suelo, evitando su deterioro y daños a la salud, vida, integridad o desarrollo de los vegetales o animales.**

Este lineamiento principal también se refleja en el marco legal aplicable a la presente Guía y en el ámbito del SAG, el que se resume a continuación:

<p><b>D.L. N° 3.557/80, MINAGRI</b></p>	<p>Establece Disposiciones sobre Protección Agrícola</p>	<p>Art. 11: Los establecimientos industriales, fabriles, mineros y cualquier otra entidad que manipule <b><u>productos susceptibles de contaminar la agricultura</u></b>, deberán adoptar oportunamente las medidas técnicas y prácticas que sean procedentes a fin de evitar o impedir la contaminación.</p> <p>Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, dichas empresas estarán obligadas a tomar las medidas tendientes a evitar o impedir la contaminación que fije el Presidente de la República por intermedio del <b><u>Ministerio de Agricultura</u></b> o del Ministerio de Salud Pública, según sea el caso, el cual deberá fijar un plazo prudencial para la ejecución de las obras.</p> <p>En casos calificados, el Presidente de la República podrá ordenar la paralización total o parcial de las actividades y empresas artesanales, industriales, fabriles y mineras que lancen al aire humos, polvos o gases, que vacíen productos y <b><u>residuos</u></b> en las aguas, cuando se comprobare que con ello se perjudica la salud de los habitantes, <b><u>se alteran las condiciones agrícolas de los suelos o se causa daño a la salud, vida, integridad o desarrollo de los vegetales o animales.</u></b></p>
---	--	---

<p><b>DS N° 25/2005, MINAGRI</b> que deroga al DS N° 139 de 1995</p>	<p>Reglamento de Productos Farmacéuticos de Uso Exclusivamente Veterinario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalla los fármacos para uso en peces autorizados en Chile.</li> <li>• Para que un fármaco de uso en medicina veterinaria pueda ser importado, elaborado o comercializado, debe tener un registro en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).</li> </ul>
--	--	--

La principal normativa asociada de competencia de otras instituciones corresponde a la siguiente:

<p><b>DS 319/2001, MINECON</b></p>	<p>Reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas</p>	<p><b>Artículo 2°.-</b> Para los efectos del presente Reglamento se dará a los siguientes términos los significados que se indican:</p> <p>...</p> <p>17) <b><u>Material de alto riesgo sanitario: especies hidrobiológicas vivas</u></b> que presentan signos clínicos de una enfermedad de alto riesgo sujeta a un programa sanitario específico, incluidos sus subproductos, mortalidades, <b><u>desechos</u></b> y la sangre procedente de los individuos enfermos o infectados.</p> <p><b>Artículo 12°.</b> Se elaborarán <b><u>programas sanitarios</u></b> generales que comprendan, al menos, las siguientes actividades:</p> <p>...</p> <p><b><u>e) manejo de desechos;</u></b></p> <p>...</p> <p><b>Artículo 15°.</b> Los <b><u>programas de control o erradicación de enfermedades de alto riesgo</u></b> tendrán como objetivos la disminución de la incidencia y prevalencia de una determinada enfermedad, su aislamiento geográfico o la eliminación de la misma y de su agente causal del país. Estos programas deberán contener, al menos, lo siguiente:</p> <p>...</p> <p><b><u>h) tratamiento y disposición de mortalidades y desechos;</u></b></p> <p>...</p> <p><b>Artículo 34°.</b> Las instalaciones que utilicen como materia prima especies hidrobiológicas, sus productos, <b><u>subproductos o desechos</u></b>, cualquiera sea el lugar desde donde provienen, deberán contar con un <b>sistema de registro</b> actualizado que indique la fecha, origen y medio de transporte de la materia prima recepcionada.</p>
------------------------------------	---	--

<b>Ley N° 18.892, MINECON</b>	Ley General de Pesca y Acuicultura	La Ley indica en su Artículo 1 <b><u>“la Preservación de los recursos hidrobiológicos</u></b> , y toda actividad pesquera extractiva, de acuicultura, de investigación y deportiva, que se realice en aguas terrestres, aguas interiores, mar territorial o zona económica exclusiva de la República ...
<b>D.S. 90/2000 MINSEGPRES</b>	Norma de Emisión Descarga Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales	Este Decreto entra al ámbito del SAG, dado que la descarga del agua residual de una piscicultura puede contaminar el medio ambiente, las aguas de riego e impactar a la vida silvestre. Especialmente se debe controlar los parámetros de descarga, los que a su vez son indicadores para la composición de los lodos.
<b>D.S. 320/2001, MINECON</b>	RAMA (Reglamento Ambiental para la Acuicultura)	Este reglamento se preocupa de velar por el desempeño ambiental de la acuicultura.
<b>D.S. N° 745/92, MINSAL</b>	Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo	Como antecedente se debe considerar:  <b><i>Artículo 18°:</i></b> <i>La acumulación, tratamiento y disposición final de residuos industriales dentro del predio industrial, local o lugar de trabajo, deberá contar con la <u>autorización sanitaria</u>. Para los efectos del presente reglamento se entenderá por <u>residuo industrial</u> todo aquel residuo sólido o líquido, o combinaciones de éstos, provenientes de los procesos industriales y que por sus <u>características físicas, químicas o microbiológicas no puedan asimilarse a los residuos domésticos.</u></i>
<b>NCh 2880 Of.2004, INN</b>	Norma Chilena Oficial: Compost – Clasificación y requisitos	Esta norma de calidad entrega, entre otros, concentraciones máximas y requisitos del compost, los que sirven como base para el tratamiento y la aplicación de lodos en suelos.
<b>DS 148, MINSAL</b>	Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos	El reglamento determina cuando un residuo es considerado peligroso e indica <b>Concentraciones Máximas Permisibles (CMP)</b> , por ejemplo de metales pesados, lo que debe ser considerado en el contexto de la presente Guía. Además, define características de toxicidad (acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos), que debe considerarse por ejemplo para los antibióticos y/o sus derivados en los lodos.

<b>RAMA (D.S. 320/2001, MINECON)</b>	<b>Reglamento Ambiental para la Acuicultura</b>	RAMA (D.S. 320/2001, MINECON) se preocupan de velar por el desempeño ambiental de esta actividad. Un objetivo principal del RAMA es evitar el deterioro general del medio ambiente.  Organismos Estatales involucrados: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Comisión Nacional del Medio Ambiente (SEIA): Se asegura que los proyectos de inversión, en su construcción, operación y abandono tendrán un desempeño ambientalmente aceptable. Es quien otorga la resolución de calificación ambiental (RCA) de los proyectos</li><li>2. Subsecretaría de Pesca</li></ol>
--------------------------------------	---	---

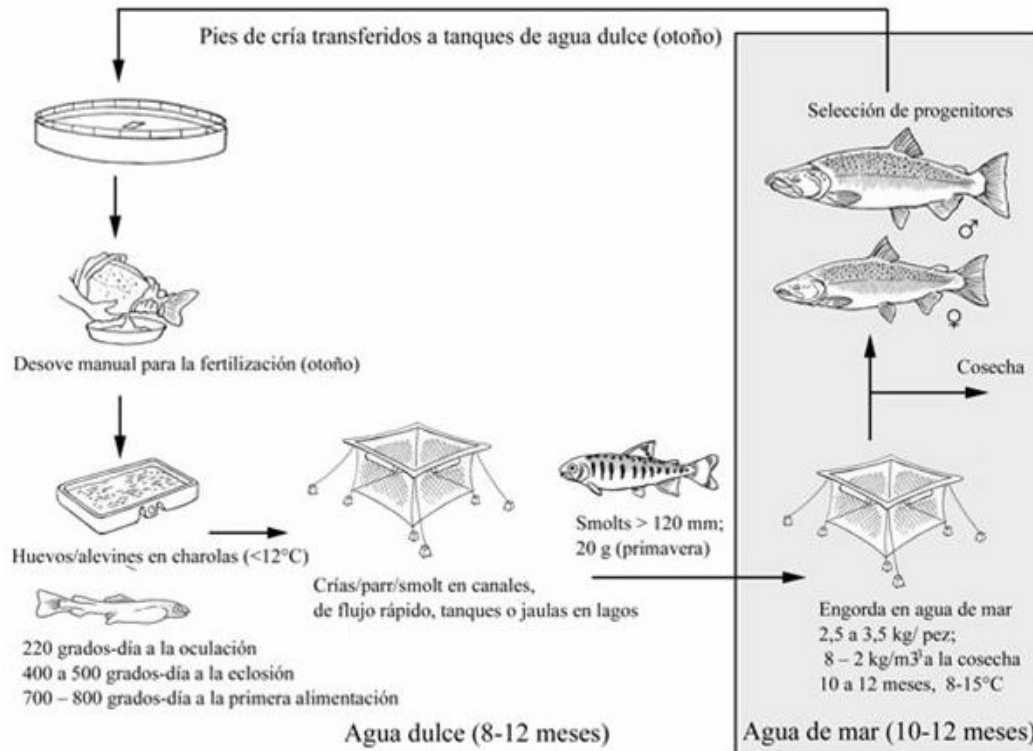
### 3 PROCESOS PRODUCTIVOS

La guía está enfocada en los residuos generados en la piscicultura de agua dulce, correspondiente al CIU 051010: Cultivo de especies acuáticas en cuerpo de agua dulce.

La Guía no considera:

- Piscicultura en el mar<sup>3</sup>
- Procesamiento o faenamiento de pescado<sup>4</sup>
- Cultivos de crustáceos, equinodermos, moluscos, algas y otros

El ciclo de producción de los cultivos salmónidos corresponde al siguiente esquema:



Fuente: Programa de Información de especies acuáticas, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792), FAO

<sup>3</sup> Los residuos de piscicultura en el mar sedimentan y no corresponden al ámbito del SAG sino a Directemar.

<sup>4</sup> Los residuos asociados al procesamiento o faenamiento de pescado (cabezas, vísceras, mortandad, etc.) generalmente son enviados a plantas de harina y/o aceite de pescado, a veces a través de ensilaje.



Las fases de producción acuícola (pisciculturas) corresponden a:



Fuente: <http://www.portalbesana.es/estaticas/informacion/paginas/salmon2.html>

#### 4 CARACTERIZACION GENERAL DE LOS LODOS

A continuación se presenta un esquema de las etapas de crianza del salmón junto a los residuos generados asociados al lodo.

ETAPA Y DESCRIPCIÓN		LUGAR Y DURACIÓN	RESIDUOS EN LODO
<b>CAPTURA A DESOVE</b>			
	Captura, selección y transporte de peces reproductores a piscicultura, desove y sacrificio	<u>Mar</u> (hasta pre maduración) Duración: días <u>Agua Dulce</u> Duración: varias semanas	Fecas Alimento Inductores de desove Anestésicos Antimicrobianos Desinfectantes Mortandad
<b>HATCHERY (CULTIVO DE HUEVOS A LARVAS)</b>			
	Fecundación de ovas verdes con semen de los machos e incubación hasta estado de Ova con Ojos	Baldes de Agua Dulce Duración: 2 a 3 meses	Desinfectantes Antimicrobianos Mortandad
	Desarrollo de las larvas de saco vitelino de 1 a 2 gramos	Estanques de Agua Dulce Duración: 1 mes	Fecas Antimicrobianos Desinfectantes Mortandad
<b>NURSERY (CRIANZA DE ALEVINES)</b>			
	Crianza de alevín de 1 a 2 gramos hasta 10 gramos	Estanques de Agua Dulce Duración: 1 mes	Fecas Alimento Antimicrobianos Desinfectantes Mortandad
	Crianza de alevín hasta 50 a 100 gramos	Estanques mayores o balsas de agua dulce o en jaulas en lagos Duración: 1 año	Fecas Alimento Antimicrobianos Desinfectantes Mortandad
<b>ESMOLTIFICACIÓN (TRANSICION AGUA DULCE A AGUA DE MAR)</b>			
	Esmoltificación y transporte a balsas / jaulas en el mar	Estanques mayores agregando al agua dulce agua de mar. Duración: 5 a 7 días	Fecas Alimento Anestésicos Antimicrobianos Desinfectantes Mortandad
<b>ENGORDA</b>			
	Engorda	Mar y/o Estuarios Duración: 10 a 12 meses	Fecas Alimento Antimicrobianos Mortandad

Elaboración propia en base a fotos e información tomadas de:  
<http://www.portalbesana.es/estaticas/informacion/paginas/salmon2.html>  
<http://www.pedramol.com/index.htm>

Como se observa en el esquema anterior, los cultivos permanecen en agua dulce por un período de 8 a 12 meses.

Los lodos generados durante ese lapso, corresponden principalmente a material fecal de los peces y restos de alimento no consumido. Además, pueden contener microorganismos, parásitos y residuos químicos tales como inductores de desove, anestésicos, antimicrobianos y desinfectantes, y sus derivados.

Los lodos son extraídos en los procesos de limpieza, recirculación y filtrado de las aguas de la piscicultura, es decir, se generan asociados a las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por lo general, los lodos son acumulados y decantados en piscinas, lagunas o estanques.

Algunas planta cuentan con proceso de concentración de lodos, en los que se agregan soda cáustica, sulfato férrico y/o polímeros, lo que provoca que los sólidos floculen y decanten, para luego mediante prensa, centrifuga o filtro de banda separar el agua de los sólidos así floculados. Lo anterior provoca que los lodos cambien sus características químicas (p.ej. pH, metales) y físicas (p.ej. humedad).

Finalmente, cabe recordar que en principio se excluyen de la presente Guía las mortandades de peces. No obstante, es inevitable que se presenten restos de peces o mortandades en pequeñas cantidades dentro de los lodos.

## 5 CANTIDADES DE LODOS GENERADOS

Los únicos datos encontrados en la literatura relacionados con las cantidades de lodos corresponden a los siguientes:

- Cada tonelada de salmón genera 1,4 toneladas de lodos (Salazar et al., 2005)
- En la región de Aysén se producen unos 82 millones de esmolts que generan aproximadamente entre 12.000 a 15.000 m<sup>3</sup> de lodos de 1 a 2% de materia seca (INIA TAMEL AIKE, 2008, basado en datos de Salmón-Chile).

De lo indicado por INIA se puede deducir: Considerando que cada esmolt (etapa final de crianza en agua dulce) pesa aproximadamente 100 gramos, se obtiene un factor de entre 1,4 a 1,8 toneladas de lodo (1 ton = aprox. 1m<sup>3</sup> en base húmeda) por cada tonelada de pez.

En consecuencia, los datos entregados por ambas fuentes coinciden aproximadamente.

Este factor de 1,4 a 1,8 es importante de considerar para la estimación de la cantidad de lodos generados por planta de piscicultura.

En términos ambientales se debe considerar, que del total del alimento suministrado para la producción de salmones cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% a 80% queda en el ambiente (columna de agua y sedimentos o lodos).

## 6 ANÁLISIS DE FACTORES CRÍTICOS DE LOS LODOS Y POSIBLES IMPLICANCIAS EN EL SUELO

A continuación se presenta un resumen descriptivo de los resultados de análisis de lodos provenientes de plantas acuícolas chilenas en agua dulce (RIO BLANCO, GARO, MANANTIALES, LOS FIORDOS-MANO NEGRA), además de dos análisis hechos en España (AZTI) y un proyecto de la UE (AQUATREAT).

Además, se incluyen aspectos ambientales y posibles implicancias en el suelo por parámetro.

Los lodos son analizados en diferentes estados de proceso, correspondientes a lodos crudos, lodos decantados, lodos filtrados, y lodos deshidratados.

Los detalles se presenta en el Anexo A, donde se presenta una tabla comparativa de los principales resultados de los análisis con la norma de compost NCH 2880 y Proyecto Reglamento Lodos PTAS.

### 6.1 Parámetros físicos

#### **pH:**

Los resultados son variables en un rango de valores muy ácidos (4,98) a muy alcalinos (12,03). El amplio rango se debe principalmente a la incorporación o no de procesos de deshidratación, mediante soda cáustica, sulfato férrico y/o polímeros. Es decir, los lodos sin proceso de deshidratación se encuentran en un rango de 4,89 (ácido) a 7,64 y los lodos con dicho proceso cercano a un pH de 12 (muy alcalino) y sobrepasa así la norma de referencia NCH 2880.

El pH es un factor esencial ya que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. Es un parámetro importante para definir la movilidad de un catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidrox-complejos.

La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su solubilidad.

### **Contenido de Humedad (%)**

Los valores dan cuenta de la amplia variabilidad del contenido de agua de estos residuos, los que van desde un 52,5% hasta un 99% (prácticamente un líquido). Los lodos crudos, decantados y/o sin filtrar en su mayoría tienen humedades por sobre el 90%, en cambio los lodos deshidratados presentan porcentajes entre un 52,5% y 75 % de humedad.

En general las aplicaciones de residuos con alto contenido de humedad deben ser controladas y los lodos homogéneamente dispuestos en terreno, y una vez aplicados se recomienda que sean mezcladas mecánicamente con el suelo.

## **6.2 Salinidad**

### **Conductividad eléctrica (CE- $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

La conductividad eléctrica en medios líquidos está relacionada con la presencia de sales en solución. Los resultados analizados varían ampliamente desde 3.150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta 24.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En comparación, el agua del mar tiene alrededor de 5 S/m, es decir 50.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **Presencia de cloruros (mg/l)**

Los cloruros inorgánicos son sales del ácido clorhídrico HCL y están correlacionados con la medición de conductividad eléctrica.

Para este parámetro sólo existen resultados para el lodo de la planta Los Fiordos, que presenta un valor de 1.054 mg/kg, y de las plantas de España (AZTI), que entregan valores de 0,27 y 0,11 mg/kg.

Existen entonces lodos de acuicultura (supuestamente provenientes de procesos en agua dulce) con una alta carga salina, lo que significa un riesgo de salinización de los suelos receptores, recomendándose tomar acciones para remover las sales aportadas al suelo. Según INIA (2001), en muchas partes, el lavado promovido por las lluvias invernales es suficiente para la remoción de este aporte de sales y, sólo en aquellas partes donde este mecanismo es insuficiente, se debería mantener un monitoreo salino, a objeto de efectuar lavados artificiales de las sales acumuladas.

### 6.3 Metales pesados

#### Metales pesados (mg/l)

En estos lodos están presentes metales pesados tales como arsénico (0,14 a 4,27 mg/l); cadmio (0,22 a 3,22 mg/l); cobre (4 a 31,3 mg/l), mercurio (todos <1mg/l); molibdeno en varios casos bajo los límites de detección <1,5 mg/l; níquel (entre 0,02 a 23,7 mg/l); plomo (uno 3,93 mg/l, el resto bajo el límite de detección); selenio (0,39 a 3,18 mg/l); zinc (en rangos de 6,05 a 1.121 mg/l).

Las concentraciones de metales son bajas si se les comparan con las de los lodos sanitarios. No obstante, en algunas pisciculturas, los parámetros **Cadmio** y **Zinc** sobrepasan la NCH 2880 para compost de Clase A (uso sin restricción).

La elevada concentración de **Cadmio** se debe al alimento de los peces, por cuanto la fuente de fosfato mineral normalmente contiene títulos altos de Cd, dependiendo de su procedencia. La bioacumulación del Cd por plantas y su incorporación en la cadena trófica es de preocupación fundamentalmente por su implicación el cáncer al pulmón y próstata, su alteración del funcionamiento enzimático, en plantas y animales, por afinidad a los grupos SH-, sus efectos renales, pulmonar y digestivo en animales y fundamentalmente por su prolongada vida media en el ambiente.

EL **Zinc**, a pesar de ser un oligoelemento importante en la dieta humana, su exceso puede alterar los títulos de HDL asociado al Colesterol y provocar trastornos digestivos.

En suelos pueden fácilmente quedar disponible para las aguas subterráneas y así aumentar su concentración y disponibilidad en la cadena alimentaria. Para las plantas presenta efectos en la eficiencia fotosintética y crecimiento radicular y estrés iónico.

La disponibilidad de los metales en suelos depende además de sus características, tales como: pH, el contenido de materia orgánica, las arcillas predominantes y su tipo, la capacidad de intercambio catiónico, la presencia de óxidos de hierro, óxidos de manganeso, carbonatos de calcio.

La movilidad de los metales está sujeta a las condiciones de óxido reducción del suelo y el pH, como se puede observar en la siguiente tabla.

<b>Movilidad relativa de los metales pesados según el Eh y pH del suelo</b>				
<b>Movilidad</b>	<b>Oxidante</b>	<b>Acido</b>	<b>Neutro y Alcalino</b>	<b>Reductor</b>
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Fuente: Plant y Raiswell (1983).

#### 6.4 Materia orgánica

##### **Materia Orgánica**

Los resultados indican que los lodos presentan una elevada cantidad de materia orgánica, entre 55 a 89%

Lo anterior indica condiciones favorables para la aplicación en suelos en términos de fertilización y actividad microbiana.

#### 6.5 Presencia de Macronutrientes (NPK)

##### **Nitrógeno total (%)**

La presencia de nitrógeno total en los lodos es variable, los datos fluctúan en rangos de 0,65% a 49,5 % de N. El proyecto de la UE AQUATREAT señala un valor de 450 mg/l para N amoniacal.

##### **Fósforo (mg/l)**

Los valores de P total son elevados y fluctúan entre 862,5 a 32.493,4 mg/l. Respecto del fósforo disponible, los valores se encuentran entre 550 y 1100 mg/l.

### **Potasio (mg/l)**

Los datos entregan valores de 65 hasta 486 mg/l.

Dados los resultados de las macronutrientes se observa claramente que el principal nutriente que aporta este tipo de lodo es el fósforo.

## **6.6 Parámetros microbiológicos**

### **Coliformes Fecales (NMP/100 ml)**

Los datos de análisis indican valores bajos, pero si presencia en algunos casos (máx. 1.610 NMP/100ml). En comparación la NCh 2880 indica un límite de 1000 NMP por gramo de compost.

En principio, no deberían existir coliformes en los lodos, no obstante, pueden provenir de fosas sépticas o plantas de tratamiento de aguas servidas.

### **Salmonella**

En la mayoría de los casos, no se detectó la presencia de salmonella, o el valor estaba por debajo del valor de detección. No obstante, en un caso se detectaron 22 NMP/4g, no explicándose su origen. En comparación la NCh 2880 indica un límite de 3 NMP en 4 g de compost.

En principio, no debería haber presencia de salmonella en los lodos.

### **Parásitos**

Sólo en una planta se efectuó un análisis de recuento de helmintos, detectándose en este caso su ausencia.

Es importante efectuar el análisis de dicho parámetro, dado que *Difilobotrium latum* es endémico en la IX y X Región de Chile (ver análisis del tema en Anexo C).<sup>5</sup>

<sup>5</sup> El recuento de ovas de helminto como indicador de riesgo para la salud humana y animal es usado normalmente para la determinación de las zoonosis comunes como (*Echinococcus granulosus*), (*Taenia solium*) y (*Taenia saginata*) que no sería necesariamente aplicable a lodos, pero en ellos se da la presencia de huevos y larvas de la tenia de los peces (*Diphyllobothrium. latum*).



## 6.7 Sustancias químicas

En la piscicultura se usan sustancias químicas, tales como hormonas, antibióticos, factores de crecimiento, inductores de ovulación, enzimas, desinfectantes, etc.

### **Antimicrobianos y Resistencia:**

Sólo en una planta se efectuó un análisis de dos antibióticos específicos (oxitetraciclina y florfenicol), no detectándose su presencia.

No existen otros análisis.

La literatura especializada indica que se usan una gran gama y cantidades preocupantes de antibióticos en la piscicultura en Chile y que son mucho mayores que en otros países. Además, se indica que hay necesidad de uso de antibióticos en la etapa de alevinaje y esmoltificación (ambos en agua dulce), por ejemplo en caso de enfermedades como BKD y yersiniosis. Lamentablemente no hay cantidades exactas sobre su aplicación en agua dulce, como se indica de hecho en dicha bibliografía.

Considerando lo anterior, además del desconocimiento de las vidas media de los fármacos y de la transmisión de las resistencias bacterianas, en combinación con el riesgo de proliferación de la difilobotriasis, se considera que existen riesgos para los recursos naturales, la vida silvestre y los seres humanos.

En el Anexo B se presenta un detallado análisis del tema.

## 6.8 Resumen de la composición y parámetros críticos

Tomado en cuenta la tabla comparativa de los análisis de lodos con la norma de compost NCH 2880 y Proyecto Reglamento Lodos PTAS (ver Anexo A) y lo expresado precedentemente, los resultados se resume de la siguiente forma:

- En general existe **alta variabilidad** en los resultados de todos los parámetros evaluados.
- Algunos parámetros sobrepasan los valores de referencia de la **norma** de compost NCH 2880 y ninguno los del Proyecto Reglamento Lodos PTAS.
- El **pH** en algunos casos es muy alcalino, especialmente cuando hay procesos de deshidratación de lodos involucrados, y sobrepasa así la NCH 2880.
- En términos generales, las concentraciones de **metales pesados** son bajas. No obstante, en algunos casos, los parámetros Cadmio y Zinc sobrepasan la NCH 2880 para compost de Clase A (uso sin restricción).
- En algunos casos se detectó alta concentración de **sal** (cloruro, conductividad), lo que debe considerarse en el balance de masas al aplicar el lodo al suelo. Cabe

aclarar que los valores límites de la NCH 2880 no son comparables con los detectados en los lodos, dado su elevado contenido de humedad y dado que la norma exige una dilución específica de 1:5 para el ensayo en compost.

- A pesar de que los lodos de piscicultura no deberían contener **coliformes fecales** ni **salmonella**, se observa la presencia de ambos parámetros en una planta (sobrepasan la NCH 2880).
- Algunos lodos presentan muy elevado contenido de **humedad**, especialmente los crudos no deshidratados, aspecto a considerar para la aplicación de lodos en el suelo. Cabe mencionar que la exigencia de humedad de la NCH 2880 para compost no es aplicable al caso de lodos.
- Los lodos presentan un alto contenido de **materia orgánica, nitrógeno** y especialmente **fósforo**, por lo que aportarían a la fertilidad del suelo.
- Sólo existe un recuento de ovas del **helminto**, lo que debería efectuarse en todos los casos, debido al endemismo de *Difilobotrium latum* (tenia de los peces) en la zona sur de Chile (ver detalles en Anexo C).
- Sólo existe una caracterización de **antimicrobianos** en los lodos, lo que constituye una preocupación mayor<sup>6</sup> (ver detalles en Anexo B).

---

<sup>6</sup> Existe evidencia, desde hace ya varias décadas de la acción de selección de variedades resistentes y multiresistentes a metales pesados, desinfectantes y antibióticos o su combinación, consecuencia del uso de antibióticos en la salud humana y animal y en la producción animal con fines profilácticos, curativos y de optimización de la razón alimento/kilo de animal producido. Los estudios de resistencia bacteriana son claros y determinantes en establecer el aumento en cepas de bacterias patógenas y naturales de la resistencia y la multiresistencia en la comunidad de microorganismos asociada al proceso productivo (cepas de Yersinia, Columnaris, BKD y otras con múltiple resistencia a fármacos y desinfectantes) y a las comunidades microbianas del entorno natural. Esto es especialmente significativo en sistemas cerrados como un lago o laguna en los que se considera un compartimento común a la producción y el ecosistema como un todo, incluyendo a la comunidad de habitantes ribereños. La aplicación del lodo sería una ampliación del área y niveles de impacto ambiental del proceso productivo a áreas distantes al proceso como tal.

## 7 RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE MANEJO PARA LA APLICACIÓN DE LODOS EN SUELO

Las recomendaciones y medidas de manejo para la aplicación de los lodos al suelo son las siguientes:

1. Solicitar un análisis físico-químico de los lodos expresado en materia seca (MS) respecto a los siguientes parámetros: pH, Humedad (o Sólido total), Conductividad específica, Fósforo total, Nitrógeno total, Potasio, Relación C/N, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc, Coliformes fecales, Salmonella, Recuento de Ovas del Helminto.

A pesar de que los metales pesados, coliformes fecales y salmonella no deberían estar presentes en los lodos, se recomienda su análisis a lo menos en el análisis inicial. Cabe mencionar que en Europa se exige generalmente el análisis de estos parámetros (por lo menos en España y Alemania), dado que no se distingue entre diferentes tipos de lodos.

2. Demostrar que los lodos no son peligrosos por lixiviación, de acuerdo al DS 148/2003, MINSAL, en caso de detectar concentraciones totales de cadmio, mercurio, plomo y selenio que superen los valores de 20, 4, 100 y 20 mg/kg respectivamente.
3. Comparar referencialmente los parámetros indicados con el proyecto de reglamento de lodos y la NCh 2880 sobre compost (dado que no existe norma para la aplicación de residuos orgánicos o lodos al suelo).
4. También se debe tomar en cuenta la composición del residuos industrial líquido (RIL), a lo menos como indicador, dado que los lodos se generan asociados al proceso de limpieza o filtrado de aguas. Es decir, altas concentraciones de ciertos parámetros en el RIL, deberían ser más elevadas en el lodo. En consecuencia, se recomienda solicitar al titular del proyecto entregar los resultados de análisis en laboratorio en una tabla comparativa, indicando la caracterización del lodo y del RIL junto a las normativas de referencia indicadas.
5. Neutralizar el pH, recomendando valores entre 5,5 y 9.
6. Reducir la humedad, para permitir la manipulación con herramienta manual o mecanizada (estimativamente menor a 75%), o alternativamente considerar un método de aplicación en zanjas.
7. Efectuar un balance de masas de cloruro previo a su aplicación al suelo.
8. Efectuar un balance de masas de nitrógeno y fósforo previo a su aplicación al suelo.

Respecto de los parámetros críticos, antimicrobianos y parásitos, se recomienda:

1. Solicitar al titular del proyecto el registro con cantidades y fechas de aplicación de los fármacos y químicos usados en su proceso (incluido los antimicrobianos) mediante bitácora de control con firma del profesional responsable y controlable por inspección. Esto, dado al posible efecto residual por la presencia de antimicrobianos y sus derivados (ver Anexo B).
2. Analizar los antimicrobianos registrados por el titular: A parte de su presencia, se debería determinar además las resistencias a antimicrobianos, como condición de cautela de la salud humana, animal, y del suelo.
3. Abatir el posible efecto residual por la presencia de antimicrobianos y sus derivados, en caso necesario, desconociendo a la fecha un método efectivo. Más detalles ver Anexo B.
4. Higienizar el lodo, permitiendo una inactivación parasitaria (p.ej. *Difilobotrium*) e indicadores microbiológicos. Se recomienda 5 días con temperaturas superiores a los 55°C, lo que es posible de lograr mediante compostaje o biodigestión termofílica. Otra alternativa es la pasteurización. La eficiencia de la lombricultura en este contexto todavía no está comprobada. En Alemania y otros países europeos se exige dicha higienización para todo tipo de lodos, especialmente en caso de origen animal. La exigencia anterior se refuerza cada día más, dado la reciente aparición de la enfermedad de las vacas locas, o encefalopatía espongiiforme bovina. A este respecto debe considerarse el diagrama de efecto de la temperatura y el tiempo en la cinética de desaparición de contaminantes biológicos de Fenchem et al. Para más detalles y citas, ver Anexo C.

## 8 RECOMENDACIONES GLOBALES

Dado la incertidumbre acerca de la implicancia de los parásitos y antimicrobianos, se sugiere las siguientes acciones de gestión futura para el SAG:

1. La transversalidad administrativa de los temas de salud del ambiente, las personas y los ecosistemas se hace necesaria a través de mesas interinstitucionales como de DIRECTEMAR, SERNAPESCA, CONAMA, SALUD y SAG, u otros instrumentos políticos administrativos.
2. La necesidad de investigación en esta área es de alto interés estratégico para la industria del salmón, la economía del país y las condiciones de desarrollo de la investigación científica lo que abre posibilidades de:
  - a. Mejoras o cambio tecnológico en las faenas.
  - b. Estudios de eco toxicidad y trazabilidad de fármacos.
  - c. Desarrollo de vacunas específicas para sustituir uso de antibióticos.
  - d. Investigación, desarrollo e innovación de pruebas de laboratorio para detección segura, rápida y económica de químicos persistentes usando las tecnologías de avanzada de microanálisis, HPLC, y otras específicas
  - e. Actualización disciplinar y técnica e instalación de capacidades en los equipos profesionales de las entidades reguladoras de Estado, los laboratorios autorizados y especialistas.
  - f. Integración y acuerdos Privados-Universidades-Estado.