

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMIA

**Utilización de lodos provenientes de la crianza intensiva de salmonídeos en una rotación de maíz forrajero – avena / ballica, en la provincia de Osorno**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Agronomía

**Marco Antonio de Armas González**

VALDIVIA-CHILE

2005

**PROFESOR PATROCINANTE**

**Dante Pinochet T.**

Ing. Agr., M.S., Ph. D

-----

**PROFESORES INFORMANTES**

**Francisco Salazar S.**

Ing. Agr., Ph. D

-----

**Norberto Teuber K.**

Ing. Agr., Ph. D

-----

## INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1	Residuos orgánicos	3
2.2	Residuos orgánicos en forma de lodos	4
2.2.1	Generación y tratamiento de lodos	4
2.2.2	Utilización de lodos en agricultura	6
2.3	Residuos orgánicos provenientes de la crianza de salmonideos en forma de lodos (LCS)	6
2.3.1	Caracterización del LCS	8
2.3.2	Efectos en el suelo	10
2.3.3	Experiencias previas en cultivos y praderas	11
2.4	Aspectos ambientales de la utilización de lodos en agricultura	13
2.4.1	Legislación nacional e internacional	13
2.4.2	Efectos negativos y restricciones a la utilización	15
2.5	Integración de sistemas productivos	16
3	MATERIAL Y METODO	18
3.1	Ubicación del ensayo	18
3.2	Diseño experimental	18
3.3	Tratamientos	19
3.4	Manejo agronómico de los cultivos	22
3.4.1	Establecimiento y manejo del cultivo invernadero	22

3.5	Evaluaciones	22
3.5.1	Análisis de suelo y lodos	22
3.5.2	Componentes del rendimiento para maíz	24
3.5.2.1	Cosecha y colecta de muestras del cultivo de maíz	25
3.5.2.2	Análisis del material cosechado de maíz	25
3.5.3	Cosecha y colecta de muestras del cultivo avena / ballica	26
3.5.4	Análisis de datos	27
3.5.4.1	Análisis estadístico	27
3.5.4.2	Formulación de eficiencia de fertilización	28
3.5.4.3	Cálculo de niveles de nutrientes en el suelo (kg/ha)	28
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
4.1	Caracterización química del lodo utilizado	29
4.2	Efecto del lodo en el cultivo de maíz	33
4.2.1	Rendimiento de materia seca por hectárea	33
4.2.2	Población	35
4.2.3	Altura	36
4.2.4	Número de mazorcas por planta y por hectárea	37
4.2.5	Relación mazorca / planta	38
4.3	Aspectos nutricionales del cultivo de maíz	40
4.3.1	Concentración de nutrientes en el cultivo de maíz	40
4.3.2	Absorción de nutrientes por el cultivo de maíz	41
4.4	Efecto residual en el cultivo avena / ballica	44
4.4.1	Rendimiento	44
4.4.2	Composición botánica	48
4.5	Aspectos nutricionales del cultivo avena / ballica	50
4.5.1	Concentración de nutrientes en el cultivo avena / ballica	50
4.5.2	Absorción de nutrientes por el cultivo avena / ballica	52
4.6	Absorción total de nutrientes	54
4.7	Efectos en el suelo	56

5	CONCLUSIONES	62
6	RESUMEN	63
	SUMMARY	
7	BIBLIOGRAFÍA	67
8	ANEXOS	74

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro		Página
1	Composición química de LCS según distintos autores	9
2	Composición química de LCS según distintos autores	10
3	Presencia de metales pesados en LCS según distintos autores	10
4	Dosis máximas de aplicación de lodos	15
5	Diferentes dosis de lodo y nutrientes aplicados por tratamiento	21
6	Nutrientes entregados en forma inorgánica	21
7	Nutrientes entregados en forma orgánica, además de N y P	21
8	Análisis químico de los lodos	23
9	Análisis químico de los lodos	23
10	Caracterización química del lodo utilizado al establecimiento de maíz	30
11	Caracterización química del lodo utilizado al establecimiento de maíz	31
12	Rendimientos y contenido de materia seca promedio en maíz para los diferentes tratamientos	34
13	Población final promedio de plantas para los diferentes tratamientos	36
14	Altura promedio de plantas para los diferentes tratamientos	37
15	Número de mazorcas por planta y por hectárea	38

16	Relación promedio mazorca: planta para los distintos tratamientos	39
17	Concentración promedio de nutrientes en el cultivo de maíz para los diferentes tratamientos	41
18	Absorción de nutrientes por el cultivo de maíz	42
19	Rendimientos en fresco y seco para los tres cortes del cultivo avena / ballica	45
20	Rendimientos para el cultivo avena / ballica	47
21	Composición botánica al primer corte de avena / ballica en los diferentes tratamientos	49
22	Composición botánica al segundo corte de avena / ballica en los diferentes tratamientos	49
23	Concentración de nutrientes en el primer corte del cultivo avena / ballica	51
24	Concentración de nutrientes en el segundo corte del cultivo avena / ballica	51
25	Absorción de nutrientes en el cultivo avena / ballica	53
26	Absorción de nutrientes por los cultivos	55
27	Análisis inicial de suelo para el ensayo completo	56
28	Análisis de suelo posterior a la cosecha de maíz para cada tratamiento	68
29	Análisis de suelo final	60

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Una alternativa de producción productiva	17
2	Distribución de los tratamientos	19
3	Zona evaluada y cosechada de maíz	24



**INDICE DE ANEXOS**

Anexo		Página
1	Caracterización química del lodo utilizado	75
2	Cuadro comparativo de caracterización química del lodo	76
3	Rendimientos del cultivo de maíz en los distintos tratamientos y repeticiones	77
4	Población y altura de plantas de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	78
5	Número de mazorcas por planta y por hectárea para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	79
6	Relación mazorca / planta con relación al peso de cada uno para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	80
7	Concentración de nutrientes en el cultivo de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	81
8	Absorción de nutrientes en el cultivo de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	82
9	Rendimiento del cultivo avena /ballica en el primer corte	83
10	Rendimiento del cultivo avena / ballica en el segundo corte	84
11	Rendimiento del cultivo avena / ballica en el tercer corte	85
12	Rendimiento total del cultivo avena / ballica	86

13	Composición botánica del cultivo avena / ballica en el primer corte, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	87
14	Composición botánica del cultivo avena / ballica en el segundo corte, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	88
15	Concentración de nutrientes en el primer corte del cultivo avena / ballica, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	89
16	Concentración de nutrientes en el segundo corte del cultivo avena / ballica, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	90
17	Absorción de nutrientes por el cultivo avena / ballica al primer corte, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	91
18	Absorción de nutrientes por el cultivo avena / ballica al segundo corte, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	92
19	Absorción total de nutrientes por los cultivos para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones	93
20	Análisis inicial de suelo del sitio de ensayo	94
21	Análisis de suelo previa siembra del cultivo avena / ballica para los distintos tratamientos y repeticiones	95
22	Análisis de suelo poscosecha del cultivo de avena / ballica para los distintos tratamientos y repeticiones	96
23	Registro climático de evapotranspiración y precipitación mensual medidos en el CRI Remehue, Osorno, durante el periodo de ensayo	97
24	Registro climático de temperatura media en cobertizo y en superficie medidos en CRI Remehue, durante el	

	periodo de ensayo	98
25	Extracción de lodos y funcionamiento del ROV	99
26	Niveles promedio de fósforo, calcio y potasio en los distintos muestreos de suelo para los cinco tratamientos	100
27	Niveles promedio de magnesio, sodio y saturación de aluminio en los distintos muestreos de suelo para los cinco tratamientos	101

## 1 INTRODUCCION

El explosivo aumento que ha tenido la industria salmonera en la última década en la zona sur del país (24 mil toneladas exportadas en 1990 a 354 mil el año 2004, AQUANOTICIAS INTERNACIONAL, 2005), ha traído una serie de beneficios tanto económicos como sociales. No obstante, este cambio también ha generado importantes volúmenes de residuos de variada naturaleza. Uno de los residuos que ha causado constante preocupación, tanto para las oficinas ambientales como para los mismos productores, son las llamadas "sombras" o "manchas" que se ubican bajo las jaulas de crianza intensiva de salmonídeos, las cuales se originan principalmente por alimentos no consumidos y fecas de los peces. Como estos residuos son ricos en nutrientes y materia orgánica, su degradación produce condiciones químicas desfavorables tanto en los sedimentos como en el agua, provocando una baja en la productividad del centro. Esta situación es aun peor en zonas donde existe escaso movimiento de las aguas como es el caso de los lagos.

Los sedimentos bajo las balsas jaulas generan un lodo, cuya utilidad potencial para la agricultura radica en el tenor de nitrógeno y fósforo, además de un contenido importante de materia orgánica.

El aumento de la carga nutricional que generan estos sistemas de cultivo, ha aumentado la preocupación por la alteración trófica que presentan ciertos lagos. Para resolver este problema se han llevado a cabo una serie de investigaciones y proyectos para disminuir los niveles, y que a su vez entreguen alternativas que den un aprovechamiento a los nutrientes introducidos por las salmonicultoras al medio.

Es así como dos actividades tan importantes en la zona sur, como son la acuícola y agropecuaria podrían integrarse y beneficiarse mutuamente mediante la extracción del lodo que queda bajo las balsas jaulas disminuyendo de esta manera el impacto ambiental y utilizándolo como un biofertilizante.

El objetivo general de este trabajo es:

- Evaluar el efecto producido por la aplicación de lodos provenientes de la crianza de salmonídeos, al ser aplicado como material fertilizante en cultivos forrajeros.

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de los residuos orgánicos provenientes de la crianza de intensiva de salmonídeos en la productividad de maíz forrajero y avena - ballica.
- Estudiar su efecto fertilizante residual en el suelo y su utilización por parte de un cultivo forrajero invernal de avena - ballica.
- Determinar la eficiencia de utilización de nitrógeno, fósforo y potasio por parte de ambos cultivos.
- Determinar cambios en la disponibilidad de nutrientes, en suelos tratados con lodos.

## 2 REVISION BIBLOGRAFICA

### 2.1 Residuos orgánicos

El concepto de utilizar residuos orgánicos de diversos tipos como fertilizante no es nuevo. Es más, antes de la creación de los fertilizantes inorgánicos, los estiércoles, purines y residuos orgánicos, eran una forma comúnmente usada para incrementar los rendimientos de praderas y cultivos.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos ha aumentado exponencialmente en la última década, enfatizando la transformación de residuos potencialmente peligrosos en un recurso agronómico valioso, debido a su capacidad de mejorar la calidad y cantidad de la materia orgánica (valor como enmienda) y el contenido de nutrientes (valor fertilizante) de los suelos (LAOS *et al.*, 2001).

Todo residuo orgánico puede sufrir un proceso de fermentación o putrefacción y, por ende, es susceptible de ser transformado en compost o abono natural. Estos residuos tienen la característica de desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica (EMISON, 2003). La materia orgánica representa en líneas generales el menor porcentaje, tanto en peso como en volumen del suelo. A pesar de ello, su importancia es muy grande y no sólo mejora las propiedades físicas y químicas del suelo sino el desarrollo de los cultivos. Los aportes de materia orgánica están sometidos a una continua degradación por parte de organismos vivos, microbios y animales, que los utilizan como fuente de energía. Como resultado de dicha degradación, son devueltos a la tierra los elementos necesarios para la nutrición de las plantas (EMISON, 2003).

## **2. 2 Residuos orgánicos en forma de lodos**

Se entiende por lodo a la acumulación de sólidos orgánicos sedimentables separados en distintos procesos de tratamiento de aguas. (CHILE, Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1999).

Como resultado del tratamiento del agua residual, o derivados de procesos industriales se generan lodos que concentran contaminantes combinados con otros compuestos y que por sus características pueden afectar o no al medio ambiente (CEPIS, 2003).

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales poseen características muy diversas. Algunos lodos denominados biosólidos son susceptibles de ser reusados o revalorizados como mejoradores de suelos. Otros lodos pueden destinarse a la recuperación y reciclaje de los elementos presentes en ellos o a su reutilización posterior. Así también hay otro tipo de lodos que deben ser destinados a sitios especiales de confinamiento y en ocasiones, de acuerdo a sus características de peligrosidad deben ser manejados como desechos peligrosos (CEPIS, 2003).

**2.2.1 Generación y tratamiento de lodos.** La generación de lodos industriales en procesos de producción es común, sobre todo en las industrias del rubro textil, química y farmacéutica, papelera, alimenticio, y otros. La actividad industrial es generadora de diferentes tipos de contaminación que afectan a los recursos aire, agua y suelo. Los mecanismos iniciales de descontaminación son la prevención y reducción en la fuente, pero existe contaminación que debe necesariamente tener tratamientos, una vez finalizado el o los procesos productivos. Como consecuencia de los tratamientos descontaminantes de las aguas residuales se pueden producir lodos que concentran la contaminación tóxica. Estos tipos de lodos pueden ser clasificados en función de la toxicidad y la prioridad de manejo. En general, los orgánicos son aquellos con bajas

concentraciones de contaminantes tóxicos y son fácilmente biodegradables (CEPIS, 2003).

La selección de un sistema de tratamiento de lodos depende de una serie de factores tales como costo, efectividad y la situación específica en que se generan (BENAVIDES, 2003). Para reducir el hedor y el contenido de agua y consecuentemente los costos de transporte y almacenamiento, los lodos deben ser tratados y estabilizados. La mayoría de los procesos de estabilización incluyen digestión anaeróbica, adición de cal, compostaje y desecado (HUE, 1995).

El desecado tiene como propósito reducir el contenido de agua en el lodo. Los procesos de desecado requieren que se lleve a cabo un acondicionamiento previo de los lodos. El acondicionamiento implica generalmente la adición de sustancias químicas tales como cloruro férrico (utilizado en lodos biológicos), cal (utilizada en lodos primarios), o polielectrólitos orgánicos. Los polielectrólitos son coagulantes orgánicos y pueden tener características aniónicas, catiónicas o no iónicas. Los dos primeros pueden ser utilizados con coagulantes inorgánicos. Existen métodos estáticos y mecánicos para el desecado de lodos. Los procesos estáticos incluyen los lechos de secado y las lagunas. En ambos casos los lodos, si son orgánicos, deben ser predigeridos para evitar malos olores (BENAVIDES, 2003).

La estrategia general que guíe el manejo adecuado de lodos debe contener acciones de: prevención, reutilización o revalorización y disposición ambientalmente adecuada de los mismos. La prevención consiste en reducir potencialmente la generación de lodos al reducir la contaminación en la fase de la producción. El reuso o revalorización del agua y/o contaminantes como de los lodos generados se puede lograr potencialmente reciclando el agua, metales u



otros materiales residuales o generados en los procesos de producción (CEPIS, 2003).

**2.2.2 Utilización de lodos en la agricultura.** Con frecuencia, la aplicación de lodos residuales a tierras de cultivo es, posiblemente, el método de eliminación más barato. Se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con una amplia gama de residuos orgánicos que se usan en las tierras de cultivo, como el estiércol o los residuos de ganadería. La agricultura ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes y materia orgánica beneficiosos para el suelo y las plantas. Además, parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad de las cosechas (BONTOUX *et al.*, 2003).

### **2.3 Residuos orgánicos provenientes de la crianza de salmonídeos en forma de lodos (LCS)**

En sistemas de explotación ganadera terrestre, cualquier contaminación de los cursos de agua puede ser incidental, por el contrario, con los sistemas acuícolas intensivos todos los desechos son colectados por el flujo de agua que pasa a través de los centros de cultivo, de esta forma, inevitablemente existe un deterioro de las aguas dentro y fuera de las jaulas (DEWI *et al.*, 1994).

NAYLOR *et al.* (1999) señala que los desechos de la acuicultura consisten primariamente de productos metabólicos solubles, así como también de sólidos presentes en forma de fecas y alimento no consumido los cuales sedimentan. Además, menciona que hasta la fecha la preocupación por el almacenamiento y uso de estos residuos ha recibido muy poca atención. Dewi *et al.* (1994) por su parte señala que nutrientes minerales esenciales como nitrógeno y fósforo en sus formas orgánicas e inorgánicas son también abundantes en estos desechos.

En los países nórdicos, la cantidad de fósforo (P) y nitrógeno (N) en los alimentos han disminuido a un 1% y 7% respectivamente en la última década. Esto junto a una mayor eficiencia de conversión alimenticia (1.2), han reducido las descargas ambientales, las cuales se encontrarían con un contenido de 10 kg de fósforo y 60 kg de nitrógeno por tonelada de pescado producida. Los desechos orgánicos se estima que alcanzan los 2500 kg de peso húmedo por tonelada de peso vivo. (ACKEFORS *et al.*, 1994). Por su parte, Smith *et al.* (1980), citado por SMITH (1985) señalan que en Idaho (EE.UU.) por cada kilogramo de pescado comercializable se producen 0,67 kg de desechos y que de éstos, la mitad son sólidos y la otra mitad son líquidos. En Chile en tanto, se estima que la industria salmoniculora pierde aproximadamente unas 30.000 toneladas anuales de alimento que se depositan bajo los módulos de balsas jaula en fondos de mar y lagos. (CHILE, Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT, 2001).

La descomposición del material acumulado en los sedimentos consume el oxígeno y provoca la formación de sedimentos anóxicos, con la liberación de gases tóxicos como el metano y el sulfuro de hidrógeno, generando lo que se conoce como "sombra o mancha bajo las balsas jaula", afectando la eficiencia productiva de la industria y el ambiente (SALAMANCA, 2004<sup>1</sup>). Además BALDWIN (2002) menciona que, así como los desechos se acumulan, ciertas poblaciones de organismos heterotróficos y autotróficos, comienzan a crecer, y desafortunadamente al crecer, multiplicarse y consumir los desechos también consumen importantes cantidades de oxígeno. Sin embargo, ACKEFORS *et al.* (1994), señalan que la descarga ambiental en términos cuantitativos, derivada de la acuicultura es comparativamente menor, si se contrasta con las descargas de desechos cloacales, forestales, agrícolas e industriales. Finalmente, CRIPPS

---

Comunicación personal en Seminario internacional: "Utilización de lodos provenientes de la crianza de salmonídeos y su uso en agricultura".

*et al.* (2000) señala que la razón principal para el tratamiento de los sólidos es reducir el potencial impacto negativo en el ambiente acuático.

**2.3.1 Caracterización del LCS.** De acuerdo a investigaciones realizadas la alta tasa de sedimentación de partículas desde las jaulas tiene un impacto sobre la composición química del sedimento y el agua de estos sedimentos. Ese impacto se refiere al enriquecimiento del sedimento en carbono (C) y nitrógeno, y en el agua contenida en estos sedimentos de fosfato, amonio y compuestos sulfurosos (Hall, 1990 citado por RODRIGUEZ, 1993).

En Chile, el estudio de RODRÍGUEZ (1993), determinó que la descarga de desechos correspondientes a la producción de una tonelada de peces es de 1360 kg, de los cuales 1156 kg constituyen el desecho sólido, 20,54 kg corresponden a la liberación de fósforo total y 42,60 kg corresponden a la liberación de nitrógeno total. De acuerdo a este mismo estudio el fósforo es liberado en un 78% como desecho sólido y en un 22% como desecho soluble. Para el caso del nitrógeno determinó que un 80% es liberado como desecho soluble y sólo un 20% como desecho sólido.

El LCS tiende a ser altamente variable en su composición química, lo que también ocurre con otros residuos orgánicos como el caso de los residuos de ganadería. La composición química y física de los sedimentos está influenciada por varios factores, que incluyen el tipo de estanque o ambiente utilizado, especie y tamaño de peces, alimento y sistemas de alimentación, movimiento de la masa de agua, manejo de los residuos y condiciones y tiempo de almacenamiento (NAYLOR *et al.*, 1999). Un ejemplo de variaciones por tiempo de almacenamiento, es lo que señala SMITH (1985), donde menciona que el LCS que utilizó en sus ensayos, tiene mayores contenidos de nitrógeno al ser colectados, ya que al pasar uno o dos años y ser dejados en pozos de tierra, disminuyó su tres veces su concentración.

NAYLOR *et al.* (1999) indica que la información sobre niveles de macro y micronutrientes y metales pesados que componen estos sedimentos o lodos es limitada. Además menciona que es difícil comparar valores de diferentes estudios debido a diferencias como condiciones de producción, colección y separación y almacenamiento de los sólidos. Autores previos han publicado un referente que se muestra en los Cuadros 1; 2 y 3.

**CUADRO 1 Composición química de LCS según distintos autores (valores en base seca).**

Referencia	N (g*100g <sup>-1</sup> )	P (g100g <sup>-1</sup> )	C - orgánico (g*100g <sup>-1</sup> )	K (g*100g <sup>-1</sup> )	Mg (g*100g <sup>-1</sup> )	Ca (g*100g <sup>-1</sup> )	Na (g*100g <sup>-1</sup> )
Naylor <i>et al.</i> (1999) <sup>1</sup>	2,83	2,54		0,1	0,53	6,9	
Axler <i>et al.</i> (1997) <sup>2</sup>	2,4-3,6	0,9-3,8	19-44,5				
Mazzarino <i>et al.</i> (1997) <sup>3</sup>	2,9	10,7	5,2	0,13	0,20	19,3	
Olson (1992) <sup>4</sup>	3,2-5,5	1,3-3,5		0,3-0,4			
Bergheim <i>et al.</i> (1993) <sup>5</sup>	4,8	2,22		0,05	0,31	6,10	0,20
Westerman <i>et al.</i> (1993) <sup>6</sup>	1,8-15,3	0,4-1,9	9,3-70,6	0,3-0,9	0,3-0,6	0,3-2,7	0,04-0,05
Pinochet <i>et al.</i> (2001) <sup>7</sup>	0,7	3,3	11,9	0,03			
Mudrak (1981) <sup>8</sup>	4,85	1,79		0,15			

<sup>1</sup> NAYLOR *et al.* (1999): LCS (trucha) de 24 horas de edad, provenientes de raceways.  
<sup>2</sup> AXLER *et al.* (1997): LCS (trucha) provenientes de raceways con 2 semanas de edad.  
<sup>3</sup> MAZZARINO *et al.* (1998): LCS de 4 años de edad colectado bajo balsas jaulas.  
<sup>4</sup> OLSON (1992): LCS, edad desconocida, provenientes de un pozo de sedimentación de concreto.  
<sup>5</sup> BERGHEIM *et al.* (1993): LCS (*Salmo salar*) de edad desconocida, del efluente proveniente de centros de cultivo.  
<sup>6</sup> WESTERMAN *et al.* (1993): LCS (trucha), de 1 a 9 meses de edad, provenientes de un pozo de sedimentación.  
<sup>7</sup> PINOCHET *et al.* (2001): LCS (salmón), edad desconocida, colectado bajo balsas jaulas.  
<sup>8</sup> MUDRAK (1981): LCS, de menos de 18 días de edad, provenientes de una cámara de sedimentación de concreto.

**CUADRO 2 Composición química de LCS según distintos autores (valores en base seca).**

Referencia	S (g*100g <sup>-1</sup> )	Cu (mg*kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg*kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg*kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg*kg <sup>-1</sup> )	B (mg*kg <sup>-1</sup> )	Mo (mg*kg <sup>-1</sup> )
Naylor <i>et al.</i> (1999)		33,4	1942	487,8	604,9		
Mazzarino <i>et al.</i> (1997)			5100				
Olson (1992)		47			450		
Bergheim <i>et al.</i> (1993)	0,52	40	769	150	458	10	0,41
Westerman <i>et al.</i> (1993)		0-60			160-500		
Mudrak (1981)		49			342		

Adaptado de MAZZARINO *et al.* (1998) y NAYLOR *et al.* (1999)

**CUADRO 3 Presencia de metales pesados en LCS según distintos autores (valores en base seca).**

	Naylor <i>et al.</i> , 1999 (mg* kg <sup>-1</sup> )	Olson, 1992 (mg* kg <sup>-1</sup> )	Bergheim <i>et al.</i> , 1993 (mg* kg <sup>-1</sup> )
As	2,2		
Cd	1,13	< 2	0,2
Co	1,82		0,59
Cr	3,86	13	2,6
Hg	0,05		< 0,03
Ni	4,94	7	1
Se	0,5		

Adaptado de NAYLOR *et al.* (1999).

**2.3.2 Efectos en el suelo.** Una vez aplicado el lodo al suelo, éste es afectado por numerosas reacciones, la mayoría son de orden biológico, pero algunas pueden ser solamente químicas (HUE, 1995).

Debe tenerse cuidado de que los contaminantes químicos o patógenos presentes en los lodos no produzcan efectos adversos. Por ejemplo, las

concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo, y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de suelo cultivadas. En este contexto BONTOUX *et al.* (2003) señala que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la principal propiedad del suelo que controla la retención y la toxicidad de los metales en un suelo tratado con lodos.

Por otro lado los lodos incrementan la materia orgánica del suelo y consecuentemente mejoran: la estructura, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico, actividad biológica, e incrementan el fósforo orgánico del suelo el cual representa una importante fuente de fósforo disponible a largo plazo (BONTOUX *et al.*, 2003).

**2.3.3 Experiencias previas en cultivos y praderas.** Dentro de la bibliografía consultada SMITH (1985), ya en la década del 80, probó el efecto del lodo salmonícola en plantas. Para ello utilizó residuos provenientes de la crianza de truchas y sus objetivos fueron determinar el contenido y disponibilidad de nitrógeno comparándolo con un fertilizante inorgánico en un cultivo de maíz forrajero. Dentro de sus conclusiones estableció que el lodo libera de forma más lenta el nitrógeno si se le compara con un fertilizante inorgánico, dejando una fertilidad residual mayor.

KUO *et al.* (2000), evaluó la viabilidad de utilizar LCS estabilizados con cal, como fuente nitrogenada en suelos ácidos. Evaluó la tasa de mineralización, y el crecimiento de diferentes cultivos en dos tipos de suelos. En la mayoría de los casos la disponibilidad de nitrógeno fue incrementada para la mayoría de los cultivos en relación a un suelo sin fertilizar.

Un caso más cercano, son las experiencias realizadas en suelos similares, (Andisoles) en la Patagonia Argentina por MAZZARINO *et al.* (1997),

donde señalan a los LCS, como una fuente de fertilidad disponible en forma local para el caso Patagonia Argentina, y que además reducen los riesgos de contaminación y costos de remoción de estos. Además, indica que entregan el nitrógeno de forma lenta y con mayor efecto residual que los fertilizantes inorgánicos, pudiendo reducir las pérdidas por lixiviación y desnitrificación. Dentro de las experiencias indicadas anteriormente, un experimento con ballica (*Lolium perenne*), fue llevado a cabo para determinar la disponibilidad para la planta de nitrógeno y fósforo en distintas dosis de LCS y fertilizantes inorgánicos. Dentro de los resultados encontraron que los fertilizantes inorgánicos mostraban los valores más bajos de: utilización de fósforo, P-Olsen residual en el suelo, y cantidad de fósforo absorbido en el follaje, si se le comparaba con los LCS. Esto último, concuerda con lo señalado por PINOCHET *et al.* (2001) donde señalan que el alto contenido de fósforo presente en los desechos les otorgaría utilidad como abono orgánico fosforado, no así como fertilizante nitrogenado debido a los bajos niveles encontrados.

MAZZARINO *et al.* (1997), además señalan que los LCS sirven muy poco como fertilizantes potásicos debido a las pérdidas de los compuestos solubles en agua, por lo cual recomiendan una fertilización potásica adicional para evitar agotar las reservas del suelo.

En otro estudio en la misma zona, modelos de mineralización de nitrógeno y fósforo, fueron llevados a cabo en dos suelos diferentes (Mollisol y Andisol) enmendados con LCS y lodos cloacales (MAZZARINO *et al.*, 1998). En ellos encontraron que el LCS se comporta como un fertilizante nitrogenado de lenta entrega nutricional, lo cual redundaría en mínimas pérdidas por lixiviación y desnitrificación, de hecho serían mejores fertilizantes que los biosólidos (lodos cloacales) y otros purines animales con rápidas tasas de mineralización inicial. Finalmente, indican que en suelos de origen silicatados cristalinos la aplicación de LCS ricos en fósforo, basándose en los requerimientos de nitrógeno por

parte del cultivo resultaría en excesivas cantidades de fósforo extractable, y son de esperarse efectos adversos, tanto agronómicos como ambientales. Sin embargo, en suelos de origen volcánico la alta fijación de fósforo podría permitir la aplicación de LCS basado en los requerimientos de nitrógeno del cultivo sin comprometer la disponibilidad de fósforo.

Otro caso es el de MYRH (1989), que realizó un ensayo de invernadero con cebada, aplicando diferentes dosis de LCS (equivalentes a 2,5; 5; 10; 20; 40 y 80 t /ha en base seca) y una fertilización inorgánica. En sus resultados obtuvo que con la dosis de 40 t/ha se lograron los mayores rendimientos. Sin embargo destaca que la dosis de 80t/ha, causó problemas de emergencia en las plantas, debido a la excesiva salinidad del lodo.

#### **2.4 Aspectos ambientales de la utilización de lodos en la agricultura**

HUE, (1995) indica que ciertos puntos sobre el manejo ambiental de lodos deben tomarse en cuenta. Por ejemplo, los riesgos que implican el uso de estos y las medidas precautorias que deben tomarse, que tan frecuentes y que tan serios son los efectos adversos sobre la salud humana y el ambiente, cuando los lodos son aplicados en tierras de cultivo en lugar de incinerarlos o depositarlos en rellenos. Por último, señala que todos los riesgos son relativos y que las personas deben tener conocimiento de estos, porque la aceptación de la utilización agrícola de los lodos, no solo depende de que tan limpios sean, sino que también de la percepción pública del riesgo que estos conllevan.

**2.4.1 Legislación nacional e internacional.** ESTRUCPLAN (2001), indica que en todos los casos, se contemplan normas respecto a limitaciones de metales pesados, patógenos y atracción de vectores, principalmente las correspondientes a la Environmental Protection Agency, EPA (Fed. Reg. 40, C.F.R. Part 503, 1993) y a la Unión Europea (Council Directive 86/278/EEC).



En Estados Unidos, la EPA es responsable de la regulación de los efluentes (agua de desecho descargada) y los desechos sólidos producidos por la acuicultura. Cuando los desechos sólidos son removidos y sedimentan se forma el lodo. Algunos países o estados clasifican o regulan los lodos como desecho municipal o industrial. Otros permiten su uso en la agricultura debido a su valor como fuente nutricional, para esto debe estar libre de agentes patógenos, metales pesados y otros contaminantes (BARTAS, 1997).

Los lodos pueden presentar propiedades agronómicas, siempre que, se tomen los resguardos sanitarios y ambientales necesarios en su manejo. El uso agrícola de los lodos está respaldado por más de diez años de experiencia en el mundo, y por estudios e investigaciones de los aspectos ambientales, como son, el contenido de metales pesados, microorganismos patógenos y nutrientes presentes en los mismos (CONAMA, 1999).

Según CONAMA (1999), los lodos para ser aplicados en suelos de uso agrícola, forestal, jardinería o en la recuperación de suelos degradados, estos deben cumplir copulativamente los siguientes criterios: Sanitarios, especialmente de reducción del contenido de patógenos y del potencial de atracción de vectores sanitarios, contenido total de metales pesados y evaluación ecotoxicológica. La aplicación de lodos, su forma, tasa y oportunidad, debe orientarse por criterios sanitarios, agronómicos (contenido de nutrientes requeridos por los cultivos, principalmente medidos como nitrógeno, fósforo y potasio disponibles) y por el contenido total de metales pesados, tanto en los lodos como en el suelo receptor. Se habla de dosis agronómica a la dosis de aplicación de lodos al suelo, considerando la provisión de las necesidades de nitrógeno de la vegetación y reduciendo la cantidad de nitrógeno que infiltra hacia aguas subterráneas. El Cuadro 4 contiene las dosis máximas de aplicación fijadas por la CONAMA para Chile, en el anteproyecto de reglamento

para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas.

**CUADRO 4 Dosis máximas de aplicación de lodos.**

Tipos de usos	Dosis máxima t/ha/año (base seca)
Suelos agrícolas y forestales, incluyendo suelos erosionados con potencial de uso agrícola inmediato.	15
Césped, jardines y áreas verdes.	2
Suelos degradados sin potencial de uso agrícola inmediato (recuperación de cárcavas para generar capa vegetal o para estabilizar estructuras riesgosas).	30

**2.4.2 Efectos negativos y restricciones a la utilización.** Tomando en cuenta que el LCS contiene un espectro de elementos traza, muchos de los cuales existen en muy bajas concentraciones, los metales pesados difícilmente se mueven bajo la capa arable y la absorción por parte del cultivo usualmente es menos del 1% de lo aplicado, es inevitable que las aplicaciones de LCS, especialmente a tasas elevadas o con mucha frecuencia, resulten elevadas concentraciones de ciertos potenciales elementos tóxicos (HUE, 1995) tanto en el suelo como las plantas. Sin embargo, un estudio de Chaney *et al.* (1990, citado por HUE, 1995) demuestra que la facultad de acumular metales pesados varía ampliamente según el cultivo y aun dentro de una misma especie.

Otro posible efecto adverso es que los LCS aplicados al suelo pueden causar eutroficación de lagos o esteros a través del escurrimiento superficial y contaminación de nitratos en el agua subterránea al lixiviarse (HUE, 1995).

La utilización agrícola de residuos como enmiendas orgánicas ha mostrado ser una buena alternativa para el reciclaje e incremento de la fertilidad de los suelos. En los años recientes, sin embargo los problemas ambientales asociados con los excesos de nutrientes aplicados a través de los purines y lodos han sido evaluados (Pierzynski, 1994, citado por MAZZARINO *et al.*, 1998).

Si se parte de la premisa que las aplicaciones de lodos se deben realizar de acuerdo a las necesidades de nitrógeno del cultivo debe considerarse que los rangos de remoción de N/P por el cultivo van de 8 a 22 (es decir 8 ó 22 kg de N por 1kg de P) para especies prateras y de grano mayor, mientras que la relación N/P de lodos y purines es de 1,5 - 2. De este modo, el fósforo del suelo aumenta sus niveles por sobre aquellos óptimos requeridos por el cultivo con efectos negativos en el crecimiento de la planta y la calidad del ambiente y aguas superficiales (SHARPLEY *et al.*, 1994, citado por MAZZARINO *et al.* 1998).

Por lo tanto, el estudio de los factores que controlan la liberación de nitrógeno y fósforo en suelos enmendados con residuos orgánicos tiene fuertes implicancias ambientales y agronómicas (MAZZARINO *et al.*, 1998).

## **2.5 Integración de sistemas productivos**

La producción integrada es un método usado por la acuicultura en el cual los nutrientes son reciclados. Puede tomar varias formas como, por ejemplo, sistemas agrícolas – acuícolas (BARTAS, 1997).

La integración de la agricultura y ganadería con los cultivos marinos ha sido exitosa debido a la naturaleza complementaria de las características de entradas y salidas de los sistemas. (Lightfoot *et al.*, 1993 citado por MIDLEN y REDDING, 1998). La clave para una integración exitosa es identificar los



### 3 MATERIAL Y MÉTODO

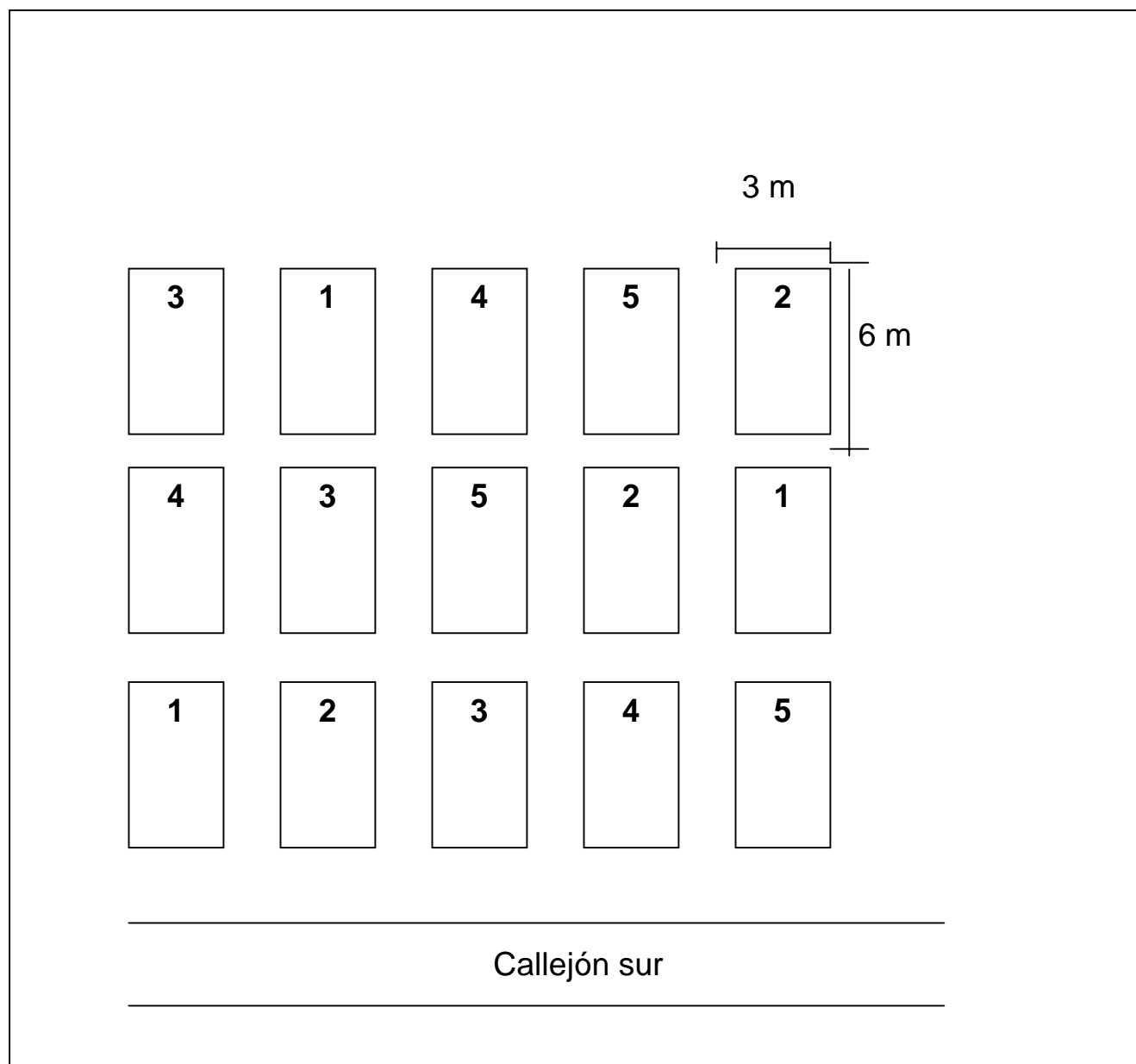
#### 3.1 Ubicación del ensayo

El ensayo fue establecido en el Centro Regional de Investigación Remehue (40° 35' S, 73° 08' O a 73 m.s.n.m.), perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-Remehue). El lugar corresponde a un suelo de la serie Osorno, plano a levemente ondulado, derivado de cenizas volcánicas recientes, de alta capacidad de retención de agua y buena permeabilidad (medial mesic Typic Dystrandept). El ensayo estuvo rodeado por una plantación comercial de maíz (*Zea mays L.*) perteneciente a la institución. El cultivo anterior, en el lugar del ensayo correspondió a una plantación de papa.

#### 3.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones para cada uno. El tamaño de las parcelas fue de 6 x 3 m, donde para maíz se sembraron 4 hileras, separadas a 75 cm entre hileras y 13 cm sobre la hilera, para una población objetivo de 102.564 plantas / ha.

A continuación se entrega el bosquejo del ensayo establecido en noviembre del año 2002 correspondiente a maíz. El mismo lugar y diseño fue utilizado para el posterior ensayo de la mezcla avena (*Avena sativa L.*) y ballica anual (*Lolium multiflorum L.*), las cuales fueron sembradas en una distancia de 15 cm entre hilera y sobre hilera, la dosificación fue a chorro continuo.



**FIGURA 2 Distribución de los tratamientos.**

### 3.3 Tratamientos.

Para maíz los tratamientos fueron:

T1: testigo sin fertilización.

T2: dosis baja de lodo lacustre (48 t/ha).

T3: dosis media de lodo lacustre (96 t/ha).

T4: dosis alta de lodo lacustre (144 t/ha).

T5: fertilización inorgánica (995 kg fertilizantes / ha)

Para los tratamientos con lodo se utilizaron lodos provenientes de la crianza intensiva de salmonideos. Este fue extraído desde el fondo del lago Llanquihue (8-10 m de profundidad), el cual fue colectado mediante buceo con un equipo colector automático ROV (Remote Operator Vehicle), que bombeaba el lodo hasta la superficie y era depositado en estanques (ver Anexo 25).

En noviembre del 2002 se estableció el ensayo de maíz, realizándose una preparación de suelo con arado de discos y rastraje offset. Con fecha 14 de noviembre, se realizaron las aplicaciones de lodo, según las dosis correspondientes para los distintos tratamientos.

La aplicación del lodo se realizó dividiendo la parcela en tres tercios con el objeto de lograr una dosificación lo más homogénea posible. Para el tratamiento 5 se aplicaron 45 unidades de N/ha, en forma de urea, siendo incorporado inmediatamente. La incorporación del lodo al suelo fue realizada inmediatamente a una profundidad de 10 a 12 cm, mediante un rotovator marca Benassi.

En el Cuadro 5 se muestran las dosis de lodo, nitrógeno y fósforo para los distintos tratamientos.

**CUADRO 5 Diferentes dosis de lodo y nutrientes aplicados por tratamiento.**

Tratamiento	Dosis lodo en base húmeda. (t / ha)	Dosis lodo en base seca. (t / ha)	Dosis nitrógeno total (kg N/ ha)	Dosis nitrógeno inorgánico (kg N/ ha)	Dosis fósforo (kg P/ ha)
Testigo	0	0	0	0	0
Dosis lodo baja	48	4,3±0,1	74±2,9	27±1,5	34±0,4
Dosis lodo media	96	8,6±0,1	147±5,8	55±3,0	74±0,9
Dosis lodo alta	144	12,9±0,1	221±8,6	82±4,6	115±1,3
Fert. inorgánica	0	0	129	129	67

(±): Desviación estándar

El tratamiento 5 con fertilización inorgánica, además de la aplicación de urea, consistió en: la aplicación de 575 kg/ha de la mezcla Soquimich 4974 (14% N – 14% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 14% K<sub>2</sub>O – 8% S – 8% CaO – 8% Na), 160 kg/ha de superfosfato triple, 40 kg/ha de muriato de potasio, 20 kg/ha de bórax y 180 kg/ha de bioyodal, totalizando 995 kg de fertilizantes por hectárea.

**CUADRO 6 Nutrientes entregados en forma inorgánica.**

Nutriente	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	CaO	Na	MgO	B
Total (kg)	129	154	109	48	89	44	29	3

**CUADRO 7 Nutrientes entregados en forma orgánica, además de N y P.**

Tratamiento	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Na (kg/ha)
Lodo bajo	3±0,9	116±0,8	15±0,4	14±3,7
Lodo medio	7±1,8	232±1,7	29±0,9	29±7,5
Lodo alto	10±2,7	347±2,6	44±1,3	43±11,2

(±): Desviación estándar



### **3.4 Manejo agronómico de los cultivos**

Con fecha 15 de noviembre del 2002, se realizó la siembra de maíz. La semilla utilizada fue corriente, correspondiente al híbrido Pioneer 3954 (90% de germinación). Esta fue desinfectada previamente con el insecticida Fipronil (Regent 250 FS) en una dosis de 125 cm<sup>3</sup> por 30 kg de semillas. Primero se pasó un rodón y posteriormente se confeccionaron los surcos de siembra, la que se realizó en forma manual a una densidad de 102.564 plantas por hectárea.

El 11 de diciembre, se aplicó un herbicida para el control de malezas de hoja ancha, este correspondió a 6-cloro-N2-etil-N4-isopropil-1, 3,5-triazina-2,4-diamina (Atrazina) y sal dimetilamina del ácido dicamba (Banvel) en dosis de 3 y 0.25 L/ha respectivamente.

**3.4.1 Establecimiento y manejo del cultivo invernal.** Después de la cosecha del maíz, con fecha 10 de abril se realizó la siembra mixta de avena y ballica cv. Sabalan. La avena correspondió al cultivar Llaofen, semilla certificada y desinfectada en octubre del 2002 con fungicida (carboxin + thiram, Vitavax). La dosis de siembra fue de 80 kg/ha para la avena y 30 kg/ha para la ballica. La siembra se realizó con una máquina regeneradora de praderas marca Connor Shea (de discos) en cero labranza con una rastra de cadena anexada en la parte posterior de la sembradora. Finalmente, al día siguiente de la siembra se aplicó una dosis de 3 L/ha de bipyridilo (Gramoxone), un herbicida de contacto para eliminar las malezas existentes.

### **3.5 Evaluaciones**

**3.5.1 Análisis de suelo y lodos.** Antes de realizar la siembra de maíz se tomaron muestras de suelo de 0 - 20 centímetros, además se realizó una caracterización química de los lodos aplicados (tres repeticiones). De forma

similar previo a la siembra de avena se tomaron muestras de suelo (0-20 cm) para su análisis posterior. Por último, después de realizarse tres cortes al cultivo de avena – ballica se realizó un análisis de suelo final, tomando las muestras a la misma profundidad que en los muestreos anteriores.

Para el lodo la materia seca se determinó en base a peso, secando la muestra a 105° C; para cenizas la muestra de lodo seca y molida se coloca en una mufla a 550 °C para su calcinación; la materia orgánica descontando del peso seco total las cenizas; el nitrógeno total a través del método Kjeldhal; pH al agua por medición potenciométrica; fósforo total por digestión húmeda y colorimetría con molibdato de amonio. Para los parámetros K, Ca, Na, Mg y Al se determinó en las cenizas, y posteriormente, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (SADZAWKA *et al.*, 2001). Los valores se presentan en los Cuadros 8 y 9.

#### **CUADRO 8 Análisis químico de los lodos (valores en peso seco).**

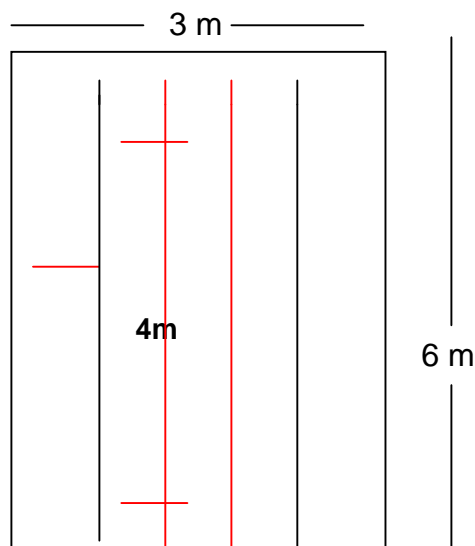
Parámetro	N total (g*100g <sup>-1</sup> )	% MS	pH	P (g*100g <sup>-1</sup> )	C (g*100g <sup>-1</sup> )	M.O (g*100g <sup>-1</sup> )
Promedio	0,15	9,0	7,32	0,87	12,68	21,85
Desviación estándar	0,006	0,1	0,02	0,010	0,03	0,04

#### **CUADRO 9 Análisis químico de los lodos (valores en peso seco).**

Parámetro	K (g*100g <sup>-1</sup> )	Ca (g*100g <sup>-1</sup> )	Na (g*100g <sup>-1</sup> )	Mg (g*100g <sup>-1</sup> )	Al (g*100g <sup>-1</sup> )
Promedio	0,08	2,68	0,33	0,34	3,16
Desviación estándar	0,02	0,02	0,09	0,01	0,07

Para los análisis de suelo el nitrógeno mineral se determinó por el método Bremner; pH al agua y en  $\text{CaCl}_2$  por medición potenciométrica; fósforo Olsen por colorimetría; los parámetros K, Ca, Na, Mg por extracción con acetato de amonio (pH 7), Al por extracción con KCl 1M, y posterior determinación por espectrofotometría de absorción atómica (SADZAWKA *et al.*, 2001).

**3.5.2 Componentes del rendimiento para maíz.** El 8 de abril del 2003 comienza la última etapa con mediciones (indirectas de rendimiento de plantas) previas a la cosecha, estas consideraron las dos hileras centrales restando un metro a ambos lados de cada parcela (Figura 3), es decir dos hileras de 4 metros lineales.



**FIGURA 3 Zona evaluada y cosechada de maíz.**

Adicionalmente se midió el número de plantas por hilera y número de mazorcas por hilera. Al día siguiente se midió altura total de plantas con huincha (3 metros), realizándose mediciones al azar en zig-zag a seis plantas (tres por hilera).

**3.5.2.1 Cosecha y colecta de muestras del cultivo de maíz.** Una vez realizadas las mediciones anteriores, el 9 de abril del 2003 se procedió a realizar la cosecha de cuatro metros de cada una de las dos hileras centrales. La cosecha fue manual, y las plantas se cortaron con un machete, dejando una altura de residuo de 10 cm, aproximadamente. La muestra por parcela se pesó en una balanza tipo reloj, en forma separada por cada hilera. Una vez pesadas se separaron 10 plantas al azar por cada parcela; eliminando las plantas sobrantes.

De las diez plantas seleccionadas, cinco fueron picadas en una chancadora. Luego la muestra triturada se homogeneizó, tomándose 300 gramos, los cuales se pesaron en una balanza de precisión (precisa 6000 d), para después llevar la muestra a secado en horno de ventilación forzada por 48 horas a 60 °C para determinar el contenido de materia seca.

Las otras cinco plantas se utilizaron para sacar la relación mazorca: planta. Primero se separaron manualmente las mazorcas de las plantas, pesándose por separado en una balanza de precisión (0,1g). Posteriormente se chancaron las mazorcas, se homogenizó la muestra y se pesaron 300 gramos, para obtener una muestra que fue llevada a un horno de ventilación forzada por 48 horas a 60 °C, determinando el contenido de materia seca. En forma separada se realizó el mismo procedimiento para las plantas sin mazorca.

El porcentaje de materia seca se obtuvo por la diferencia proporcional entre el peso fresco y el peso seco. Las muestras correspondientes a planta completa fueron pasadas por un molino (Thomas Wiley, tamiz de 1mm). El procedimiento consistió en pasar cada muestra separadamente.

**3.5.2.2 Análisis del material cosechado de maíz.** De la muestra seca y molida se realizó un análisis bromatológico posterior donde se determinó el

contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, materia seca (105 °C), y cenizas. Para esto la materia seca se determinó en base a peso, secando la muestra a 105° C; para cenizas la muestra de lodo seca y molida se coloca en una mufla a 550 °C para su calcinación; la materia orgánica descontando del peso seco total las cenizas; el nitrógeno total a través del método Kjeldhal; pH al agua por medición potenciométrica; fósforo total por digestión húmeda y colorimetría con molibdato de amonio. Para los parámetros K, Ca, Na, Mg y Al se determinó en las cenizas, y posteriormente, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica (SADZAWKA *et al.*, 2001). La concentración de cada nutriente multiplicada por el rendimiento obtenido (materia seca a 105 °C) permitió el cálculo de la absorción de nutrientes por el cultivo.

**3.5.3 Cosecha y colecta de muestras del cultivo de avena / ballica.** A éste cultivo se le realizaron tres cortes con una barra segadora Gravely (ancho de trabajo 1 m) y se dejó en cada ocasión, un residuo de 5 cm de altura. El primer corte (11 julio, 2003) se realizó a través de dos pasadas de la barra segadora en sentido contrario a la siembra. La superficie muestreada en este corte fue de 12 m<sup>2</sup>. Para el segundo corte el área muestreada fue de 6 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a una sola pasada de la barra segadora (9 septiembre, 2003). Finalmente para el último corte, realizado el 12 de noviembre del 2003 la superficie cosechada fue de 3 m<sup>2</sup>.

Las alturas de corte para definir el momento de cosecha fueron diferentes para cada corte. Para el primero fue de aproximadamente 20 cm, para el segundo de alrededor de 30 cm y, finalmente, para el último la altura fue de corte fue de aproximadamente 80 cm. Después de realizado cada corte, se procedió a recolectar el material cosechado, reuniéndolo dentro de la parcela con ayuda de un rastrillo. El material cosechado se depositó en bolsas

plásticas, debidamente identificadas por cada parcela y luego fueron pesadas en una balanza tipo reloj.

De las muestras correspondientes a los dos primeros cortes se tomaron submuestras de 200 g y se llevaron a un horno de ventilación forzada por 48 h, a 60 C°, para determinar el contenido de materia seca. Luego fueron pasadas por un molino (Thomas Wiley, tamiz de 1mm). El procedimiento y análisis realizados las muestras molidas, fueron los mismos que se realizaron a las muestras correspondientes a maíz.

Se determinó la composición botánica en las repeticiones de los distintos tratamientos en el primer y segundo corte, para ello se tomaban submuestras de cada repetición de aproximadamente 200 gramos clasificando avena, ballica y material inerte junto con malezas, si es que hubo. Posteriormente éstas fueron llevadas a un horno de ventilación forzada por 48 h, a 60 °C, para determinar el contenido de materia seca. Para el último corte, no se realizó composición botánica, ya que las cantidades de avena, malezas y materia inerte fueron menores al 1%, por lo que se asumió un 100% de ballica para todos los tratamientos.

### **3.5.4 Análisis de datos**

**3.5.4.1 Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza y se determinó si existían diferencias significativas entre los tratamientos según los distintos parámetros evaluados. Cuando existió diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos se procedió a diferenciarlos por medio de la prueba de diferencia de medias de Duncan (al 5% de significancia). Para este análisis se utilizó el software estadístico Statgraphics 2.0.

**3.5.4.2** Formulación de eficiencia de fertilización. La eficiencia de fertilización fue calculada considerando las absorciones de cada nutriente, así como las dosis aplicadas de cada nutriente en particular, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Absorción}_{\text{tratamiento}}(\text{kg/ha}) - \text{Absorción}_{\text{testigo}}(\text{kg/ha})}{\text{Dosis}_{\text{nutriente}_{\text{aplicada}}}(\text{kg/ha})} * 100$$

**3.5.4.3** Cálculo de niveles de nutrientes en el suelo (kg/ha). Se consideró el área, la densidad aparente (DA) con un valor de 0,7 kg/m<sup>3</sup>, la profundidad de muestreo (0,2 m), y para el caso del fósforo el FCO (factor de conversión Olsen), con un valor de 12 kg P/ ppm- Olsen. A continuación las fórmulas utilizadas.

$$\text{Nivel de P} = \frac{\text{ppm P- Olsen} * \text{Area} * \text{DA} * \text{Prof} * \text{FCO} * 0,4}{1000}$$

(Kg/ha)

$$\text{Nivel de bases} = \frac{\text{cmol}(+)/\text{kg} * \text{PE} * \text{DA} * \text{Prof} * \text{Area}}{100}$$

(Kg/ha)

## 4 PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

En este estudio se evaluaron diferentes parámetros, tanto de características del lodo, rendimiento de los cultivos, absorción de nutrientes y efectos en el suelo. En los puntos siguientes se discute como influyó cada uno de estos en los diferentes tratamientos, así como las diferencias que se encontraron entre ellos.

### 4.1 Caracterización química del lodo utilizado

El residuo proveniente del lago Llanquihue presenta ciertas características de interés para la nutrición de los cultivos. Por ejemplo el pH, en este caso cercano al neutro, es una cualidad deseada en cualquier material fertilizante, más aún en los suelos trumaos de la zona sur. El valor de éste es similar al encontrado por MAZZARINO *et al.* (1998) con un valor promedio de 7,1. Ambos valores son superiores a lo medido por PINOCHET *et al.* (2001), los que encontraron un valor de 5,3. La diferencia puede deberse a que el lodo ocupado en este ensayo fue tratado con un floculante en base a calcio, lo que logró estabilizar el pH en un valor cercano al neutro. Sobre el estudio de MAZZARINO *et al.* , (1998), no se menciona si el lodo recibió algún tratamiento floculante o de estabilización de pH.

En los Cuadros 10 y 11 se presentan el resto de los parámetros evaluados en el lodo.



**CUADRO 10 Caracterización química del lodo utilizado al establecimiento de maíz.**

Parámetro	MS (g*100g <sup>-1</sup> Material)	N total (g*100g <sup>-1</sup> MS)	N-NH <sub>3</sub> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P total (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Lodo lago	9,0±0,1	1,7±0,07	0,63±0,03	0,9±0,01
Parámetro	C (g*100g <sup>-1</sup> MS)	MO (g*100g <sup>-1</sup> MS)	pH	C/N
Lodo lago	12,7±0,03	21,9±0,04	7,3±0,02	7,5±0,3

(±): Desviación estándar

Para el parámetro materia seca, el valor concuerda con lo señalado por PINOCHET *et al.*, (2001) donde reportan un valor de 13,4 %. Sin embargo, estos valores son superiores al de los purines de lechería, los cuales presentan valores cercanos al 6%, según lo señalado por ELIZALDE (1994) y CASTRO *et al.* (2002).

Los lodos evaluados, en general presentan bajo contenido de nutrientes. Para el caso de nitrógeno total y carbono las cantidades son un poco inferiores a lo reportado por varios autores (RODRIGUEZ, 1993, AXLER *et al.*, 1997; NAYLOR *et al.*, 1999; MAZZARINO *et al.*, 2000), los que para nitrógeno indican valores de 2,5 a 5 g\*100g<sup>-1</sup> MS, y para carbono valores de 12 a 25 g\*100<sup>-1</sup> MS. Sin embargo, las relaciones carbono / nitrógeno expuestas por esos autores son similares a las de este estudio, con valores entre 6 y 7. En lo que respecta a nitrógeno en su forma de amonio el valor es bastante bajo, ya que si se pondera por la mayor dosis de lodo aplicado en su forma seca (12,96 t), la cantidad que está rápidamente disponible es de 82 kg, eso sin considerar las

pérdidas por volatilización, que aunque fue incorporado, igual pueden haberse producido.

El contenido de fósforo fue cercano a  $1 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  MS. Este valor es inferior a lo esperado para este tipo de residuo. Otros autores como RODRIGUEZ (1993), MAZZARINO *et al.* (1998), NAYLOR *et al.* (1999), y PINOCHET *et al.* (2001), han encontrado valores de 2,5; 10,5; 2,9 y 3,3  $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  MS, respectivamente. Las diferencias pueden deberse a distintos sistemas de alimentación y crianza, así como el lugar donde se colectaron las muestras utilizadas por los autores antes mencionados.

Otra posible explicación, es que los alimentos actualmente utilizados, han bajado su concentración de fósforo y, además, han aumentado su eficiencia de conversión alimenticia, al punto de que entregan al salmonídeo sólo lo que necesita. De esta manera las fecas tienen menores concentraciones de fósforo y el alimento que se pierde bajo las balsas jaulas es mínimo. Una explicación similar ha sido realizada por ACKEFORS y ENELL (1994).

#### **CUADRO 11 Caracterización química del lodo utilizado al establecimiento de maíz.**

Identificación	Ca ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	K ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	Na ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	Mg ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)	Al ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ MS)
Lodo lago	$2,7 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,09$	$0,34 \pm 0,01$	$3,16 \pm 0,08$

( $\pm$ ): Desviación estándar

En el caso de las bases, el valor más bajo corresponde a potasio ( $0,08 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$  MS), para el cual estudios previos (MAZZARINO *et al.*, 1998, NAYLOR *et al.*, 1999, PINOCHET *et al.*, 2001) han encontrado valores similares o aun más bajos. Sin embargo, WESTERMAN *et al.* (1993) y BUSTOS *et al.* (2003),

encontraron valores de  $0,40 \text{ g} * 100 \text{ g}^{-1}$ . Esta diferencia puede atribuirse al origen del lodo y el sistema de crianza. Las variaciones en el contenido de nutrientes, y el por qué de éstas, son descritas más adelante.

Para magnesio los valores encontrados en este estudio, son similares a lo encontrado por MAZZARINO *et al.* (1997) y BERGHEIM *et al.* (1993). Para el caso del sodio el valor medido, es muy superior a lo señalado por BERGHEIM *et al.* (1993) y WESTERMAN *et al.* (1993), los que encontraron valores de 0,02 y  $0,003 \text{ g} * 100 \text{ g}^{-1}$  MS.

El contenido de calcio, por ser ocupado como estabilizante, los valores medidos pueden distar mucho entre uno y otro lodo. Es así como MAZZARINO *et al.* (1998) y NAYLOR *et al.* (1999), encontraron valores de 6 y  $20 \text{ g} * 100 \text{ g}^{-1}$  MS, respectivamente, valores muy superiores al de este estudio ( $2,7 \text{ g} * 100 \text{ g}^{-1}$  MS) al que como se mencionó anteriormente, se le aplicó un floculante en base calcio, pero tal vez no en las cantidades ni concentraciones ocupadas en los estudios de los autores antes mencionados.

Finalmente cabe mencionar que la composición química y física de los lodos está influenciada por una serie de factores, que incluyen el tipo de estanque o ambiente utilizado; especie, edad y tamaño de los peces; alimento y sistemas de alimentación; movimiento de las masas de agua; manejo, método de remoción y tratamiento de los lodos, y condiciones y tiempo de almacenamiento de estos. Lo señalado anteriormente coincide con lo señalado por autores como OLSON (1992), AXLER *et al.* (1997) y NAYLOR *et al.* (1999). Todos los factores antes mencionados influyen en la gran variabilidad de contenido de nutrientes que presentan los lodos, situación que caracteriza a los residuos orgánicos en general. En el Anexo 2 se presentan en forma comparativa los contenidos nutricionales del lodo utilizado en este ensayo y los determinados por autores previos.

## **4.2 Efecto del lodo en el cultivo de maíz**

En primer lugar se analizará el rendimiento forrajero de la especie de crecimiento estival (maíz), y luego los componentes de éste, para los cinco tratamientos.

**4.2.1 Rendimiento de materia seca por hectárea.** Durante el período de cultivo no se observaron daños fisiológicos o efectos adversos en éste, atribuibles a la aplicación del lodo. En los tratamientos sin aplicación de lodo tampoco se observó ningún tipo de daño, a excepción de una ligera helada cercana a la fecha de cosecha (abril, 2003) que afectó a todos los tratamientos por igual. En los Anexos 23 y 24 se presentan los registros climáticos de precipitaciones y temperatura durante el periodo de ensayo.

Al evaluar un cultivo, el rendimiento de materia seca por unidad de superficie, es más importante que el porcentaje de materia seca o el rendimiento de materia verde por si solos, ya que la cantidad de agua al momento de realizar la cosecha determinará un mayor o menor rendimiento en peso seco. Esta afirmación es compartida por GUTIERREZ (1993). Los rendimientos de este ensayo fueron superiores a lo descrito por KLEIN *et al.* (1996) para la zona del llano central de la Décima Región, donde señalan producciones promedio de 15 t/ha.

A continuación en el Cuadro 12 se presentan los rendimientos promedio para los distintos tratamientos.

**CUADRO 12 Rendimientos y contenido de materia seca promedio en maíz para los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Rendimiento (t MV/ha)	Contenido de materia seca (%)	Rendimiento (t MS/ha)
Testigo	76,0 a	26,9	20,5 a
Dosis baja lodo	74,1 a	24,5	18,2 a
Dosis media lodo	79,2 a	25,3	20,0 a
Dosis alta lodo	81,9 a	25,1	20,5 a
Fertilización inorgánica	61,6 a	28,5	17,5 a

Medias con letras iguales dentro de las columnas no difieren significativamente entre sí a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

El hecho de no presentarse diferencias estadísticamente significativas, se atribuye en parte a la alta fertilidad inicial del sitio de ensayo ( $24 \text{ mg*kg}^{-1}$  P-Olsen;  $132 \text{ mg*kg}^{-1}$  K intercambiable), además de un adecuado control de otros factores, como control de malezas y enfermedades, por lo que el testigo no tuvo problemas para alcanzar un buen desarrollo al igual que el resto de los tratamientos. Una experiencia similar fue descrita por SMITH (1985), quien en un ensayo de maíz con diferentes dosis de lodo, fertilización inorgánica y un testigo, tampoco encontró diferencias significativas, atribuyéndolo también al alto nivel nutricional del suelo.

Además, un rendimiento similar ( $20,4 \text{ t/ha}$ ) a los obtenidos por los tratamientos testigo y dosis alta de lodo, fue el encontrado por CORTES y SILVA (1995), en un ensayo realizado en la Décima Región, con una fertilización mineral correspondiente a 185; 80; 138, kg/ha de N, P y K respectivamente. El alto rendimiento obtenido ratifica la alta fertilidad presente al momento de iniciar el ensayo, lo que redundó en que el testigo, sin aplicársele ningún nutriente, lograra una alta producción.

El rendimiento de materia seca no depende sólo del rendimiento de materia verde, sino que está estrechamente relacionado con el porcentaje de materia seca. Este porcentaje de materia seca representa en gran medida el grado de madurez alcanzado por el híbrido. Este fue mayor para el tratamiento de fertilización inorgánica, pero en general, todos los tratamientos están entre 25 y 29% de materia seca. Este contenido es similar a lo encontrado por KLEIN *et al.* (1996) para la zona del llano central de la Décima Región, donde señalan contenidos de materia seca de 25%. Debe considerarse que el contenido de materia seca es dependiente del híbrido que se siembre, como lo señalan CORTES y SILVA (1995), los que evaluaron 18 híbridos diferentes en la Décima Región, encontrando contenidos entre 20 y 38% de materia seca. Los valores de contenido de materia seca obtenidos son inferiores al contenido óptimo de materia seca para producir un buen ensilaje (alrededor de un 30%), como lo indican Soto y Riveros (1987), citado por ROMERO *et al.* (1991) y GUTIERREZ (1993).

**4.2.2 Población.** La densidad poblacional como componente del rendimiento según URTASUN (1995), muestra que produce variaciones en los rendimientos afectando los componentes de éste. Para este parámetro, se encontraron diferencias estadísticamente significativas sólo con el tratamiento de fertilización inorgánica, siendo éste tratamiento el que presentó una menor población. Ello se debió a un problema de emergencia en una de las parcelas (ver Anexo 6), lo que afectó la densidad promedio del tratamiento.

La mayor densidad poblacional correspondió al testigo y la menor al tratamiento con fertilización inorgánica (ver Cuadro 13). Para la zona del llano central de la Décima Región KLEIN *et al.* (1996) indicaron poblaciones promedio de 96.500 plantas por hectárea.

**CUADRO 13 Población final promedio de plantas para los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Población (plantas / ha)
Testigo	97.222 a
Dosis baja lodo	93.889 a
Dosis media lodo	93.889 a
Dosis alta lodo	91.667 a
Fertilización inorgánica	81.667 b

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

El tratamiento con dosis alta de lodo, a pesar de tener en forma absoluta una población menor que el testigo, obtiene el rendimiento mas alto junto a éste. Esto se debe a una mayor altura y número de mazorcas por planta. Además, el peso de la planta aumentó al disminuir la población en el caso del lodo alto. En el testigo, el menor peso fue compensado por el aumento de plantas por unidad de superficie. El efecto compensatorio anterior, también es señalado por FIGUEROA y TIMA (2000).

**4.2.3 Altura.** La altura de plantas muestra diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos con lodo y testigo, comparados con la fertilización inorgánica. Las alturas extremas alcanzaron a 2,27 m (en la dosis media de lodo) y 1.96 m (Fertilización inorgánica). Nuevamente este último tratamiento, se vió afectado por el bajo desarrollo de una de sus repeticiones (la misma que en el caso de población y rendimiento) lo que produjo una altura promedio más baja.

El Cuadro 14 presenta las mediciones de altura para los distintos tratamientos.

**CUADRO 14 Altura promedio de plantas para los distintos tratamientos**

Tratamiento	Altura (m)
Testigo	2,20 a
Dosis baja lodo	2,17 a
Dosis media lodo	2,27 a
Dosis alta lodo	2,24 a
Fertilización inorgánica	2,02 b

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Los valores de altura, son similares a lo encontrado por KLEIN *et al.* (1996) para la zona del llano central de la Décima Región (2,14 m).

**4.2.4 Número de mazorcas por planta y por hectárea.** En este parámetro, una mayor cantidad de mazorcas por planta, no necesariamente redundará en un mayor rendimiento, ya que este parámetro está directamente relacionado con la población total de plantas. Esto ocurre en el caso del tratamiento con dosis alta de lodo, que a pesar de tener más mazorcas por planta, no logra la mayor cantidad de mazorcas por hectárea (Cuadro 15).

El mayor número de mazorcas por hectárea lo obtuvo el testigo, seguido muy de cerca por las dosis media y alta de lodo. El promedio de mazorcas por planta estuvo entre 1,12 (lodo en dosis baja y fertilización inorgánica) y 1,19 m (dosis alta lodo). Para este parámetro no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos.

SOTO (1989), indica que existe una tendencia positiva en el número de mazorcas por hectárea al aumentar la densidad poblacional, situación que ocurre con el testigo en este caso. Esto se cumplirá siempre y cuando el aumento poblacional no sea excesivo.



**CUADRO 15 Número de mazorcas por planta y por hectárea (valores promedio).**

Tratamiento	Nº mazorcas/planta	Nº mazorcas/hectárea
Testigo	1,14 a	110.556 a
Dosis baja lodo	1,12 a	105.000 a
Dosis media lodo	1,16 a	108.889 a
Dosis alta lodo	1,19 a	108.889 a
Fertilización inorgánica	1,12 a	91.667 a

Medias con letras iguales dentro de las columnas no difieren significativamente entre sí a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Los valores presentados para número de mazorcas por hectárea son superiores a lo encontrado por SOTO (1989), el que menciona valores de alrededor de 90.000, en un ensayo realizado en la Décima Región y a una densidad de siembra similar a la lograda en este ensayo. Sin embargo, son inferiores a tres híbridos evaluados por GUTIERREZ (1993), en la Décima Región, que alcanzaron las 130.000 mazorcas/ hectárea, teniendo además entre 1,3 y 1,7 mazorcas por planta.

El rendimiento total de materia seca se ve favorecido con la presencia de más de una mazorca por planta, lo que se refleja en una mayor relación mazorca / planta.

**4.2.5 Relación mazorca / planta.** La relación mazorca planta es un índice que indica la cantidad en peso que aporta la mazorca a la planta completa. Para todos los tratamientos es más de 40%, siendo el testigo el que presenta un valor más bajo y el valor mayor corresponde al tratamiento de fertilización inorgánica, sin embargo no se presentaron diferencias significativas. El tratamiento con fertilización inorgánica es el único, en que la mazorca, aporta

más del 50% al rendimiento. En el Cuadro 16 se presentan los resultados de este parámetro.

**CUADRO 16 Relación promedio mazorca: planta para los distintos tratamientos.**

Tratamiento	Relación mazorca / planta
Testigo	0,43 a
Dosis baja lodo	0,49 a
Dosis media lodo	0,49 a
Dosis alta lodo	0,47 a
Fertilización inorgánica	0,52 a

Medias con letras iguales dentro de las columnas no difieren significativamente entre sí a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Todos los parámetros antes descritos, para el caso de los tratamientos con lodo y testigo no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre sí, por lo que queda en evidencia que el lodo no afecta de forma negativa el desarrollo fonológico del cultivo, ni tampoco el rendimiento, o los componentes de éste. Además, debe señalarse que los lodos no fomentaron la incidencia de plagas o enfermedades. Esto coincide con las experiencias de autores previos como SMITH (1985), MAZZARINO *et al.* (1997) y BUSTOS *et al.* (2003), los que tampoco observaron efectos negativos por la aplicación de lodos salmonícolas en cultivos forrajeros.

Para el caso de lodos sanitarios BAMKA *et al.*, (2001), indica que el maíz, es el cultivo mas adecuado para probar el uso como material fertilizante de este tipo de residuos y, además puede ser utilizado como alimento animal, incluyendo ganado lechero. También señalan que el lodo debe ser incorporado o inyectado y mezclado con el suelo, para obtener producciones del orden de 20 t MS/ha, similares a las obtenidas en el presente estudio.

En la aplicación de otro tipo de residuos orgánicos como los purines de lechería, complementado con fertilizantes inorgánicos, se ha observado una buena respuesta del maíz para ensilaje, obteniéndose producciones cercanas a las 20 t MS/ha, siendo posible un reemplazo significativo de fertilizantes químicos, con la consiguiente disminución de costos (ELIZALDE, 1994). Esto sugiere que residuos orgánicos como los lodos salmonícolas debieran complementarse con fertilizantes inorgánicos para obtener rendimientos mayores, a los obtenidos en este ensayo.

### **4.3 Aspectos nutricionales del cultivo de maíz**

El cultivo de maíz para ensilaje presenta una alta demanda y también una alta extracción de nutrientes, sobre todo nitrógeno y potasio. Esto se debe a que la planta es cosechada en su totalidad, a excepción de la parte radical, por lo cual no existe un mayor reciclaje de nutrientes. Por esto, el control adecuado de la fertilización es fundamental para satisfacer la fuerte demanda nutricional, en un periodo relativamente corto.

**4.3.1 Concentración de nutrientes en el cultivo de maíz.** Los resultados del análisis bromatológico muestran valores similares para todos los tratamientos en cuanto a la concentración en los tejidos de K, Ca, Mg y Na. Las mayores concentraciones de N y P estadísticamente diferentes, las presenta el tratamiento con fertilización inorgánica, seguido del tratamiento con dosis alta de lodo. Este último es estadísticamente similar al resto de los tratamientos, en lo que a concentración de fósforo se refiere.

En el Cuadro 17, se presentan los contenidos nutricionales evaluados en el cultivo de maíz.

**CUADRO 17 Concentración promedio de nutrientes en el cultivo de maíz para los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	N (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P (g*100g <sup>-1</sup> MS)	K (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Ca (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Mg (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Na (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	1,02 a	0,12 a	0,89 a	0,15 a	0,13 a	0,01 a
Dosis baja lodo	1,12 a	0,14 a	0,97 a	0,19 a	0,15 a	0,02 a
Dosis media lodo	1,06 a	0,14 a	0,87 a	0,17 a	0,15 a	0,01 a
Dosis alta lodo	1,29 b	0,16 ab	0,88 a	0,16 a	0,16 a	0,01 a
Fertilización inorgánica	1,36 b	0,18 b	1,05 a	0,16 a	0,15 a	0,02 a

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

El hecho de que los tratamientos con fertilización inorgánica y dosis alta de lodo presenten mayor concentración de N en los tejidos, era esperable ya que estos tratamientos tuvieron la mayor dosis de nitrógeno inorgánico, (130 y 82 kg/ha respectivamente). Algo similar ocurrió con el fósforo, ya que a estos mismos tratamientos se le aplicaron las mayores dosis de éste nutriente.

Las concentraciones de los distintos nutrientes son inferiores a lo indicado por HAVLIN *et al.* (1999) como valores modales. Esto era de esperarse, ya que el contenido de nutrientes de la planta de maíz, depende además de la disponibilidad de nutrientes, de las características físicas del suelo, del tipo de híbrido y del ambiente climático durante la temporada de crecimiento. Con lo anterior, también concuerda ELIZALDE (1994).

**4.3.2 Absorción de nutrientes por el cultivo de maíz.** Más importante que las concentraciones, es la absorción de cada nutriente, ya que ésta determina en cierta medida la cantidad de nutrientes que quedan en el sistema, siempre y cuando se haya contado con un análisis de suelo inicial. Además, entrega una pauta para realizar futuras dosis de fertilización.

La absorción de nutrientes fue diferente para cada tratamiento ya que es dependiente del rendimiento. Sin embargo, debe recordarse que es el rendimiento, el que es dependiente de la disponibilidad nutricional (entre otros factores), lo que es más marcado en algunos elementos (fósforo, potasio) que en otros, debido a su baja presencia en algunos suelos de la zona sur.

Las absorciones no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en ninguno de los seis nutrientes evaluados. Esto muestra que estuvo influido principalmente por el rendimiento, ya que tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento. De todas formas se observan diferencias en forma absoluta, en el caso del nitrógeno por ejemplo, el tratamiento con dosis alta de lodo absorbió en promedio 47 unidades más que el testigo, siendo éste el que absorbió la menor cantidad de N de los cinco tratamientos. Para el resto de los nutrientes los valores de absorción fueron muy similares.

En el Cuadro 18 se presentan las absorciones de los nutrientes evaluados en esta investigación para los distintos tratamientos.

**CUADRO 18 Absorción de nutrientes por el cultivo de maíz.**

Tratamiento	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Na (kg/ha)
Testigo	197 a	24 a	172 a	28 a	25 a	3 a
Dosis baja lodo	188 a	23 a	163 a	31 a	25 a	3 a
Dosis media lodo	197 a	25 a	162 a	32 a	27 a	2 a
Dosis alta lodo	244 a	30 a	167 a	29 a	31 a	2 a
Fertilización inorgánica	221 a	30 a	169 a	25 a	24 a	4 a

Medias con letras iguales dentro de las columnas no difieren significativamente entre sí a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Las cifras del cuadro anterior pueden compararse con lo señalado por ELIZALDE (1994, citando a Voss, 1993), donde presenta cifras de extracción de nutrientes, al producir 18 t MS/ha. Dentro de estas cifras, señala para nitrógeno una extracción de 192 kg/ha, lo que es inferior, a las extracciones realizadas en este ensayo, (a excepción de la dosis de lodo baja). Ello se debe a que en este estudio se obtuvieron producciones mayores. Para fósforo, potasio, calcio y magnesio señala extracciones mayores (36, 175, 39 y 38 kg/ha respectivamente). El hecho de obtener mayores producciones en este ensayo, con una menor extracción de estos nutrientes, puede deberse a características físicas del suelo, el tipo de híbrido o el ambiente climático en que se desarrolló este ensayo.

Por su parte FERNÁNDEZ (1996), indica extracciones de 160 kg/ha para nitrógeno, 20 kg/ha para fósforo y 120 kg/ha para potasio, para producciones de maíz entre 19 y 21 t MS/ha. Las absorciones antes mencionadas son inferiores a las del presente trabajo, sin embargo, el cultivo alcanzó producciones similares a las de este estudio, probablemente por las mismas razones que en el caso anterior, como clima y otros.

Finalmente SMITH (1985), indica para un cultivo de maíz forrajero, fertilizado con lodo salmonícola y con una dosis equivalente a 200 kg N/ha una absorción de 170 kg de este mismo nutriente. Además, señala para ese mismo ensayo, que en el tratamiento con fertilización inorgánica y en una dosis nitrogenada similar, la absorción de nitrógeno es mayor, alcanzando los 200 kg N/ha. Algo similar a lo que ocurrió en el presente ensayo (si se compara la dosis media de lodo con la fertilización inorgánica, ambos con dosis similar de nitrógeno), lo que estaría indicando una entrega más lenta de nitrógeno por parte del lodo, debido a la naturaleza orgánica de este material. Cabe acotar que las producciones mencionadas por SMITH (1985), son similares a las de este estudio.

El hecho de no presentarse diferencias significativas entre los tratamientos en lo que a concentración y absorción de nutrientes se refiere, indica que el lodo no afecta la absorción radicular de los distintos nutrientes evaluados.

#### **4.4 Efecto residual en el cultivo avena / ballica**

Para los tratamientos con lodo, por tratarse de un material fertilizante orgánico, se esperó un efecto residual en la fertilidad del suelo, lo que debió reflejarse en los rendimientos de los diferentes cortes del cultivo avena / ballica. Cabe mencionar que el requerimiento de fertilidad inicial del suelo en praderas anuales es menor que en el caso de praderas permanentes de alta producción, lo que también es señalado por TORRES (1997). En los subpuntos siguientes se discutirá su efecto residual en el rendimiento y la composición botánica de cada uno de los tres cortes.

**4.4.1 Rendimiento.** Los dos primeros cortes tuvieron como objetivo un supuesto consumo fresco y el último emuló un corte para ensilaje. Como era de esperar, a medida que el cultivo se acercaba a la primavera los rendimientos fueron aumentando, así como la velocidad de crecimiento del cultivo.

En el Cuadro 19 se presentan los rendimientos para los tres primeros cortes del cultivo avena – ballica.

**CUADRO 19 Rendimientos en fresco y seco para los tres cortes del cultivo avena / ballica.**

Parámetro	Testigo	Dosis baja lodo	Dosis media lodo	Dosis alta lodo	Fertilización inorgánica
1 <sup>er</sup> corte					
(kg MV/ha)	3169 a	3230 a	4094 a	4469 a	4221 a
(kg MS/ha)	320 a	321 a	433 a	436 a	429 a
2 <sup>do</sup> corte					
(kg MV/ha)	6515 a	6629 a	6417 a	7593 a	8697 a
(kg MS/ha)	1200 a	1229 a	1244 a	1456 a	1571 a
3 <sup>er</sup> corte					
(kg MV/ha)	14417 a	14771 a	17533 a	16869 a	22507 a
(kg MS/ha)	2913 a	3019 a	3696 a	3500 a	4662 a

Medias con letras iguales dentro de las filas no difieren significativamente entre si a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

En general los rendimientos fueron bajos en el primer corte por tratarse de un corte invernal. No se observaron anomalías fisiológicas atribuibles a un déficit nutricional en ninguno de los tratamientos. Los contenidos de materia seca fueron en general cercanos al 10%. En esta evaluación el testigo fue el que obtuvo el menor rendimiento, similar al lodo en dosis baja. Los otros tres tratamientos tuvieron rendimientos similares entre si, cercanos a los 430 kilos de materia seca por hectárea, siendo el más alto el tratamiento correspondiente a la dosis alta de lodo. Sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre los cinco tratamientos evaluados. Un menor contenido de ballica en este corte (como se señala en detalle en el punto 4.4.2) explicaría la menor producción de materia seca, lo que también es afirmado por CONCHA (1990).



El segundo corte, realizado a fines de invierno (9 septiembre 2003), fue realizado a una altura aproximada de 30 cm. En éste corte, en los últimos 20 días, se observaron ciertas decoloraciones (clorosis) atribuibles a un déficit de nitrógeno, en los tratamientos testigo, dosis de lodo baja y media. Sin embargo, los rendimientos fueron mucho mayores (más del doble) al ser comparados con los del primer corte. En ésta ocasión el contenido de materia seca fue en promedio de 19%, es decir casi el doble que en el corte anterior, lo que se debe a que el cultivo presenta un estado fonológico mas avanzado. A esto además se suma pero en menor medida, las mejores condiciones climáticas de la fecha de corte. En cuanto a los rendimientos tampoco hubo diferencias significativas ( $p>0,05$ ), por lo que no se aprecia un efecto residual marcado en los tratamientos con lodo, pero se observa una tendencia no significativa, a mayores rendimientos con mayores dosis de lodo. En este corte el mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento con fertilización inorgánica y el menor el testigo.

El tercer y último corte realizado el 12 de noviembre del 2003, fue rezagado para emular un corte para ensilaje, realizándose el corte a una altura aproximada de 80 cm. También pudieron observarse decoloraciones atribuibles a déficit nutricionales en todos los tratamientos, siendo más marcado en los tratamientos con dosis de lodo baja y media junto al testigo.

En el Cuadro 19 se observa una gran diferencia en los rendimientos del tercer corte en forma fresca, si se compara el tratamiento con fertilización inorgánica y los otros. Este tratamiento fue el que obtuvo un mayor rendimiento, (mas de 1500 kg de materia seca, que los tratamientos testigo y lodo en dosis baja), seguido por el lodo en dosis media y alta con aproximadamente 3500 kg MS/ha. Los rendimientos de este corte son superiores a lo indicado por CONCHA (1990), para una rotación de maíz – avena / ballica, con una dosis de 113 kg N /ha, aplicada al inicio del cultivo de maíz.

A pesar de la amplia diferencia en forma absoluta ésta no fue estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ). Por último el contenido de materia seca estuvo entre un 20 y un 21%, siendo muy similar al segundo corte.

El Cuadro 20 presenta el rendimiento acumulado, el cual correspondió a la sumatoria de los rendimientos de los tres cortes. De esta manera, sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), siendo el tratamiento con fertilización inorgánica estadísticamente diferente del testigo y lodo en dosis baja, y superior en más de dos toneladas. En cuanto a los tratamientos correspondientes a las dosis media y alta de lodo, estos estuvieron en la mitad, siendo estadísticamente similares tanto con el testigo y lodo en dosis baja, como con la fertilización inorgánica.

**CUADRO 20 Rendimientos para el cultivo avena / ballica.**

Tratamiento	Rendimiento (kg MV/ha)	Rendimiento (kg MS/ha)
Testigo	24100 a	4432 a
Dosis baja lodo	24711 a	4570 a
Dosis media lodo	28044 a	5372 ab
Dosis alta lodo	28931 a	5391ab
Fertilización inorgánica	35424 a	6661 b

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

De lo anterior se desprende que no hubo un efecto residual del lodo en su dosis baja, y que en las dosis media y alta su efecto residual fue similar. El tratamiento con fertilización inorgánica presentó un mayor efecto residual que los tratamientos con lodo, esto puede deberse como se ha mencionado anteriormente, a la presencia de compuestos de difícil degradación, como

también lo señalan PINOCHET *et al.* (2001), o bien a la lenta tasa de mineralización, tanto de fósforo como de nitrógeno, siendo este último, al parecer, el que mas afectó el rendimiento. La carencia de una batería enzimática adecuada para degradar este tipo de residuos, por parte de los microorganismos nativos del suelo, explica en parte las lentas tasas de mineralización.

El lodo salmonícola, cuando es aplicado a tasas relativamente altas (en este caso, las dosis media y alta), para proveer los nutrientes necesarios para los cultivos, tiene un efecto residual relativo, que podría ser utilizado para cultivos que crecen en temporadas sucesivas, como también lo señala SMITH, (1985). De todos modos, estudios sobre aplicaciones en años sucesivos son necesarios para evaluar la efectiva fertilidad residual de este lodo.

**4.4.2 Composición botánica.** Al observar en el Cuadro 21 la contribución de las distintas especies, resalta la avena como la especie predominante, llegando casi a un 90% en el tratamiento correspondiente a fertilización inorgánica.

En general para el primer corte el total de avena superó el 80% en todos los tratamientos, encontrándose por ende, contenidos de ballica inferiores al 15%. En cuanto al material muerto y malezas, este ocupa un rango muy reducido dentro de la composición botánica promedio del cultivo. La ballica fue bastante afectada en la producción de materia seca, debido a la mayor competencia ejercida por la avena.

El Cuadro 21 presenta la composición botánica correspondiente al primer corte.

**CUADRO 21 Composición botánica al primer corte de avena / ballica en los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Avena (%)	Ballica (%)	Material muerto y malezas (%)
Testigo	84,3	14,5	1,2
Dosis baja lodo	88,4	7,5	4,0
Dosis media lodo	85,2	13,7	1,1
Dosis alta lodo	88,9	9,2	2,0
Fertilización inorgánica	89,7	9,5	0,8

Para la fecha del segundo corte (9 septiembre, 2003), se encontró una menor participación de avena, aumentando considerablemente la ballica, siendo en fertilización inorgánica donde obtuvo la participación más alta (57%) y en el testigo la más baja (37%), debido probablemente a un menor nivel nutricional, especialmente de nitrógeno lo que también se reflejó en el rendimiento. En el caso de las malezas y el material muerto su aporte fue menor al 1%, y por lo tanto despreciable.

**CUADRO 22 Composición botánica al segundo corte de avena / ballica en los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Avena (%)	Ballica (%)
Testigo	63,1	36,9
Dosis baja lodo	49,3	50,7
Dosis media lodo	50,5	49,5
Dosis alta lodo	43,8	56,2
Fertilización inorgánica	42,8	57,2

Finalmente en el tercer y último corte (12 noviembre, 2003) la participación de la ballica fue muy mayoritaria, siendo los aportes de avena, malezas y material muerto, muy bajas, puesto que ocupaban un porcentaje menor al 1% del total.

Esto ratifica que la ballica compite muy bien con la avena mostrándose como una especie muy agresiva, concordando con lo reportado por FEHRMANN (1984). Este mismo autor, señala además que la disminución de la contribución de avena a través de los cortes no se debe a una baja en la tasa de crecimiento, sino a un crecimiento más rápido de la ballica, lo que describe lo sucedido en este ensayo.

#### **4.5 Aspectos nutricionales del cultivo avena / ballica**

En este punto se discuten aspectos relativos a la concentración y absorción de nutrientes por parte del cultivo avena / ballica, en los dos primeros cortes, con el fin de determinar diferencias en la absorción entre los distintos tratamientos.

**4.5.1 Concentración de nutrientes en el cultivo avena / ballica.** En este punto se evaluaron las concentraciones de los mismos nutrientes medidos en el cultivo de maíz.

Para la concentración de nutrientes en el primer corte, (Cuadro 23) el nitrógeno, fue el único nutriente que presentó diferencias significativas; siendo el tratamiento con fertilización inorgánica superior a los demás tratamientos, con la excepción del tratamiento con lodo en dosis baja, el cual fue estadísticamente similar y se ubicó en una posición intermedia.

**CUADRO 23 Concentración de nutrientes en el primer corte del cultivo  
avena / ballica.**

Tratamiento	N (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P (g*100g <sup>-1</sup> MS)	K (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Ca (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Mg (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Na (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	4,90 a	0,30 a	2,51 a	0,20 a	0,13 a	0,55 a
Dosis baja lodo	5,14 ab	0,32 a	2,97 a	0,25 a	0,15 a	0,75 a
Dosis media lodo	4,92 a	0,32 a	2,53 a	0,28 a	0,15 a	0,84 a
Dosis alta lodo	4,97 a	0,32 a	2,32 a	0,25 a	0,15 a	0,97 a
Fertilización inorgánica	5,35 b	0,33 a	2,99 a	0,21 a	0,14 a	0,64 a

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

La concentración de nutrientes en el segundo corte (Cuadro 24), fue similar a la determinada en el primer corte. Nitrógeno, disminuyó su concentración en forma marcada, probablemente por el menor contenido de avena en el segundo corte.

**CUADRO 24 Concentración de nutrientes en el segundo corte del cultivo  
avena / ballica.**

Tratamiento	N (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P (g*100g <sup>-1</sup> MS)	K (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Ca (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Mg (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Na (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	3,08 ab	0,23 a	2,43 a	0,36 a	0,14 a	0,64 a
Dosis baja lodo	3,06 ab	0,22 a	2,40 a	0,36 a	0,13 a	0,64 a
Dosis media lodo	2,67 a	0,24 a	2,03 a	0,39 b	0,13 a	0,67 a
Dosis alta lodo	2,99 ab	0,25 a	1,94 a	0,42 b	0,14 a	0,85 a
Fertilización inorgánica	3,41 b	0,23 a	2,69 a	0,35 a	0,14 a	0,78 a

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Nuevamente en este corte el nitrógeno fue el único que presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Existió diferencia significativa entre fertilización inorgánica y el tratamiento con dosis media de lodo, los otros tratamientos fueron estadísticamente similares a estos dos, manteniéndose en una posición intermedia.

Las concentraciones de los distintos nutrientes evaluados concuerdan con lo señalado como valores modales por MARSCHNER (1995) y HAVLIN *et al.* (1999), lo que sugiere que la aplicación de lodo no afectó la absorción y por ende la concentración de los distintos nutrientes evaluados.

**4.5.2 Absorción de nutrientes por el cultivo de avena / ballica.** La absorción es el producto del rendimiento del forraje por la concentración del nutriente. En el primer corte, las absorciones fueron relativamente bajas al ser comparadas con las extracciones realizadas por el cultivo, en el segundo corte.

La absorción de nitrógeno en el primer corte, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, aunque los tratamientos lodo en dosis media, alta y fertilización inorgánica, presentaron valores ligeramente mayores que el testigo. Los otros nutrientes medidos, tampoco presentaron diferencias significativas. En el Anexo 17, se presentan las absorciones realizadas por el cultivo avena / ballica al primer corte.

Las absorciones medidas hasta el segundo corte, son superiores a las medidas hasta el primer corte, y presentaron diferencias significativas en nitrógeno y sodio. Para el primer nutriente señalado el tratamiento con fertilización inorgánica, produjo la mayor extracción, alcanzando los 50 kg N/ha, y resultó estadísticamente similar a la absorción medida con el tratamiento con lodo en dosis alta (el cual se ubicó en una posición intermedia) y diferente del resto de los tratamientos (Anexo 18). Para el caso del sodio los tratamientos,

con dosis alta de lodo y fertilización inorgánica tuvieron las mayores absorciones, siendo además estadísticamente distintos al resto de los tratamientos, pero similares entre ellos. Esto coincide a su vez con las dosis de sodio aplicadas, las cuales fueron similares para el caso de los tratamientos con dosis alta de lodo y fertilización inorgánica (43 y 44 kg Na/ha).

Para el tercer corte no se realizó análisis bromatológico por lo que no se cuenta con esos valores de absorción.

En el Cuadro 25 se presenta la absorción acumulada realizada por el cultivo avena / ballica en los primeros dos cortes. Esta absorción acumulada de los distintos nutrientes, presentó diferencias estadísticas entre los distintos tratamientos, coincidiendo con las diferencias estadísticas observadas en el rendimiento acumulado.

**CUADRO 25 Absorción de nutrientes en el cultivo avena / ballica.**

Tratamiento	N (kg /ha)	P (kg /ha)	K (kg /ha)	Ca (kg /ha)	Mg (kg /ha)	Na (kg /ha)
Testigo	48,4 a	3,4 a	34,6 a	4,6 a	1,9 a	8,4 a
Dosis baja lodo	49,7 a	3,5 a	36,2 a	4,8 ab	2,0 ab	9,3 a
Dosis media lodo	50,2 a	4,0 ab	33,6 a	5,7 abc	2,2 abc	11,0 ab
Dosis alta lodo	60,4 ab	4,6 b	35,9 a	6,7 c	2,5 bc	15,3 b
Fertilización inorgánica	71,0 b	4,7 b	51,3 a	5,9 bc	2,6 c	14,0 b

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Para el caso del nitrógeno la mayor absorción (aproximadamente 70 kg N/ha) la presenta el tratamiento con fertilización inorgánica, seguido por la absorción producida por el tratamiento con lodo en dosis alta. El fósforo también fue absorbido en una mayor cantidad en los tratamientos con dosis alta de lodo y fertilización inorgánica. El potasio en cambio fue el único nutriente que no



presentó diferencias estadísticas entre los distintos tratamientos. Para el calcio y sodio la mayor absorción fue realizada por el tratamiento con lodo en dosis alta. Por último, el magnesio presenta tres niveles de absorción, teniendo una mayor absorción en el tratamiento con fertilización inorgánica y en una posición intermedia las diferentes dosis de lodo.

Las diferencias en absorción, presentadas en los tratamientos con lodo siguen el patrón esperable, que a mayor dosis de nutriente mayor será su absorción. Sin embargo, el tratamiento con fertilización inorgánica presentó mayores absorciones para todos los nutrientes, a excepción de calcio y sodio, probablemente por la disponibilidad inmediata de los nutrientes contenidos. El hecho de que el tratamiento con dosis alta de lodo presente mayores absorciones de calcio, puede deberse a la mayor dosis aplicada, que aun siendo el material aplicado de naturaleza orgánica, es muy elevada (ver Cuadro 7).

#### **4.6 Absorción total de nutrientes**

Las absorciones realizadas por ambos cultivos (maíz y avena / ballica), no presentaron diferencias estadísticamente significativas, para todos los nutrientes medidos con la excepción del sodio. No se observó una mayor absorción en los tratamientos con dosis alta de lodo y fertilización inorgánica, los cuales realizaron absorciones de 17 y 18 kg Na/ha.

Dentro de la absorción total de nutrientes, la mayor parte fue realizada por el cultivo de maíz (mas de un 70% en todos los casos), y ya que este cultivo no presentó diferencias significativas en la absorción de nutrientes, era esperable que en la absorción total tampoco presentaran diferencias. En el caso del sodio, como la mayor absorción de este nutriente fue realizada por el cultivo avena / ballica, sí se presentaron diferencias significativas.

En el Cuadro 26 se presentan las absorciones totales, realizadas en ambos cultivos.

**CUADRO 26 Absorción total de nutrientes por la rotación de cultivos maíz – avena / ballica.**

Tratamiento	N (kg /ha)	P (kg /ha)	K (kg /ha)	Ca (kg /ha)	Mg (kg /ha)	Na (kg /ha)
Testigo	245 a	27 a	206 a	33 a	27 a	11 a
Dosis baja lodo	238 a	27 a	200 a	36 a	27 a	12 a
Dosis media lodo	248 a	29 a	195 a	38 a	29 a	13 ab
Dosis alta lodo	304 a	35 a	203 a	36 a	34 a	17 b
Fertilización inorgánica	292 a	35 a	220 a	31 a	27 a	18 b

Medias con letras iguales dentro de las columnas no difieren significativamente entre sí a ( $p > 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Nitrógeno fue absorbido entre 250 y 300 kg/ha aproximadamente, siendo el tratamiento con dosis alta de lodo el que produjo la mayor absorción. Todas las absorciones medidas fueron superiores a la dosis aplicada de nitrógeno en cada tratamiento, indicando que existió un aporte considerable de la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo. Este suministro entregado por el suelo es aun más marcado en el caso del potasio donde todas las absorciones superaron ampliamente la dosis aplicada.

Según las absorciones realizadas por la rotación maíz – avena / ballica y la dosis de nutrientes aplicada se puede calcular la eficiencia de fertilización, teniendo como base al tratamiento testigo, pero debido a que no se presentaron diferencias estadísticas en la absorción, no se justificó realizar un análisis de eficiencia.

#### 4.7 Efectos en el suelo

Los tres análisis realizados: inicial, intermedio y final se utilizarán para determinar la existencia de un efecto residual en el suelo, por parte de los materiales fertilizantes utilizados, ya sea lodo o fertilizante inorgánico. En el Cuadro 27 se muestran los resultados del análisis inicial del sitio de ensayo antes de la aplicación de lodos y fertilizante.

**CUADRO 27 Análisis inicial de suelo para el ensayo completo.**

Parámetro	Promedio	Desviación estándar
pH <sub>H2O</sub>	5,52	0,05
P (mg*kg <sup>-1</sup> )	23,93	4,56
NH <sub>4</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	6,73	2,50
NO <sub>3</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	15,2	2,00
Ca (cmol(+)/kg)	3,70	0,18
Mg (cmol(+)/kg)	0,57	0,03
Na (cmol(+)/kg)	0,14	0,02
K (cmol(+)/kg)	0,35	0,08
Al (cmol(+)/kg)	0,47	0,06
Sat. Al (%)	8,8	1,10

Los tratamientos no produjeron efectos mayores sobre el pH inicial del suelo. La fertilización inorgánica produjo un efecto de acidificación temporal significativa y que se manifestó en el segundo muestreo de suelo pero que fue recuperado al final del ensayo, mostrando el suelo un valor similar al inicial. Los valores de pH observados son considerados usuales para los suelos trumaos de la zona sur (RODRIGUEZ, 1993). Otro indicador de los efectos de acidez son la concentración de Al intercambiable y la saturación de Al. El suelo inicial presentó una saturación de aluminio menor al 10%, lo cual es considerado tolerable por los cultivos utilizados en este ensayo. El tratamiento de fertilización inorgánica tendió a aumentar significativamente la concentración

de Al intercambiable a través del tiempo. El incremento varió entre 0,15 a 0,23 cmol(+)/kg por sobre los valores observados en los testigos. Ello ratifica que existió un efecto acidificante de la mezcla de fertilizante inorgánica, manifestada en el incremento del Al intercambiable. Sin embargo, al analizar la saturación de Al no se determinaron diferencias significativas producidas por los tratamientos. Ello pareciera indicar que el efecto producido en la acidificación por la mezcla fertilizante fue poco importante o que las variaciones del error en el análisis de suelo no permiten ratificar estadísticamente el efecto observado. Así, se observa un delta de saturación de Al de 2,68% (11,02 – 8,34) entre el valor del tratamiento de fertilización inorgánica y el testigo en el segundo muestreo y de 2,46% en el muestreo final, diferencias que no fueron estadísticamente significativas.

El sitio de estudio presentó un alto nivel de fósforo disponible inicial (medido en 20 cm de profanidad), que llega prácticamente a los 24 mg kg<sup>-1</sup>. Este nivel inicial asegura un alto suministro para los cultivos implementados (RODRIGUEZ *et al.*, 2001). Los tratamientos de fertilización no produjeron efectos evidentes sobre el valor de P residual del suelo, no encontrándose diferencias significativas entre ellos. Ello permite especular que las variaciones de errores metodológicos no permiten en bajas diferencias de disponibilidad de P determinar su significancia estadística.

Las bases por su parte también se encontraban en niveles altos, siendo de éstas, la más determinante en el rendimiento el potasio, por la alta demanda de este nutriente por parte de los cultivos.

Una vez realizada la cosecha del maíz, se tomaron muestras para posterior análisis de suelo, de cada repetición de los cinco tratamientos efectuados. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 28.

**CUADRO 28 Análisis de suelo posterior a la cosecha de maíz para cada tratamiento.**

Parámetro	Testigo	Dosis baja Lodo	Dosis media lodo	Dosis alta lodo	Fertilización inorgánica
pH <sub>H2O</sub>	5,45 a	5,34 a	5,41 a	5,35 a	4,91 b
P (mg*kg <sup>-1</sup> )	20,40 a	20,33 a	23,70 a	19,07 a	18,83 a
NH <sub>4</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	5,83 a	9,40 a	4,90 a	7,03 a	8,23 a
NO <sub>3</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	15,50 a	22,80 a	29,10 a	28,40 a	128,40 b
Ca (cmol(+)/kg)	3,56 a	3,41 a	3,25 a	3,75 a	3,48 a
Mg (cmol(+)/kg)	0,51 a	0,48 a	0,54 a	0,48 a	0,59 a
Na (cmol(+)/kg)	0,13 a	0,16 a	0,14 a	0,16 a	0,43 b
K (cmol(+)/kg)	0,26 a	0,26 a	0,27 a	0,21 a	0,49 b
Al (cmol(+)/kg)	0,39 a	0,52 ab	0,33 a	0,38 a	0,62 b
Sat. Al (%)	8,34 a	10,78 a	8,43 a	7,58 a	11,02 a

Medias con letras distintas dentro de las filas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

Los tratamientos no produjeron efectos mayores sobre el pH del suelo. El tratamiento testigo y los tratamientos con lodo tendieron a una leve baja, sin embargo el tratamiento con fertilización inorgánica, fue el que experimentó la mayor baja, llegando a un valor no deseado para el establecimiento de praderas, como fue lo ocurrido en este caso. A pesar de lo anterior, la saturación de aluminio no se incrementó en forma tan marcada, por lo que no afectó al cultivo mixto avena / ballica.

En cuanto a los nutrientes, el nitrógeno - nítrico, aumentó levemente en los tratamientos con lodo, y en forma significativa en el tratamiento con fertilización inorgánica, en tanto la forma amoniacal de este nutriente no presenta cambios significativos. Cabe recordar que el lodo entrega gran parte del nitrógeno en forma orgánica, de modo que las cantidades que se

mineralizan provenientes de éste son muy bajas, debido a la lenta mineralización que presenta este tipo de residuos, según lo señalado por diversos autores como SMITH (1985), MAZZARINO *et al.* (1997) y PINOCHET *et al.* (2001). Por lo tanto para el nitrógeno queda en evidencia, lo importante que fue el suministro por parte del suelo para obtener en los tratamientos con lodo rendimientos estadísticamente similares al testigo.

El fósforo a pesar de disminuir sus niveles en forma absoluta, no presenta diferencias significativas entre los distintos tratamientos, siendo el tratamiento con lodo en dosis media el único que permaneció prácticamente igual, (ver Anexo 26).

El calcio se mantuvo prácticamente igual con respecto al nivel inicial, sin diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento con lodo en dosis alta, el que presentó mayor valor. El magnesio por su parte tampoco presenta diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, mostrando una leve baja en todos ellos, a excepción del tratamiento con fertilización inorgánica, el cual presentó el mayor valor, y aumentó su nivel con relación al análisis anterior.

El potasio por su parte, también disminuye sus niveles en los tratamientos con lodo y testigo, encontrándose que en el caso de este nutriente, si se presentan diferencias significativas, siendo el tratamiento con fertilización inorgánica diferente de los otros, aumentando con relación al análisis anterior y alcanzando el mayor valor. Una situación similar fue la que ocurrió con el nivel de sodio del suelo, siendo nuevamente el tratamiento con fertilización inorgánica, estadísticamente superior a los demás.

Finalmente el último análisis realizado luego de los tres cortes del cultivo de avena / ballica, presenta para el pH valores similares los cuales no

presentan diferencias significativas entre los tratamientos. Llama la atención que en el caso del tratamiento con fertilización inorgánica, haya aumentado el nivel en 0,6 puntos desde el análisis anterior, lo que puede deberse a que el efecto acidificante de la urea ya habría desaparecido. El aluminio si presentó diferencias significativas, siendo el tratamiento con fertilización inorgánica el que presenta un nivel mayor, sin embargo el parámetro realmente importante “saturación de aluminio”, no presenta diferencias estadísticas entre tratamientos, y en comparación al análisis anterior, los respectivos tratamientos se mantuvieron en valores similares o un poco inferiores. No se contó con la información pertinente a los niveles de nitrógeno en el suelo una vez finalizado el ensayo, por lo que no fue posible realizar un mayor análisis de este parámetro.

#### CUADRO 29 Análisis de suelo final.

Parámetro	Testigo	Dosis baja lodo	Dosis media lodo	Dosis alta lodo	Fertilización inorgánica
pH <sub>H2O</sub>	5,54 a	5,50 a	5,61 a	5,56 a	5,50 a
P (mg*kg <sup>-1</sup> )	20,34 a	22,48 a	23,21 a	21,90 a	20,92 a
NH <sub>4</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
NO <sub>3</sub> (mg*kg <sup>-1</sup> )	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Ca (cmol(+)/kg)	3,49 a	3,54 a	4,24 a	4,04 a	3,36 a
Mg (cmol(+)/kg)	0,55 a	0,54 a	0,58 a	0,54 a	0,51 a
Na (cmol(+)/kg)	0,10 a	0,10 a	0,12 a	0,10 a	0,13 a
K (cmol(+)/kg)	0,24 a	0,24 a	0,22 a	0,21 a	0,28 a
Al (cmol(+)/kg)	0,38 abc	0,48 bc	0,31 a	0,33 ab	0,51c
Sat. Al (%)	8,35 a	9,85 a	5,87 a	6,40 a	10,81 a

Medias con letras distintas dentro de las filas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan. (n. d.: no disponible)

El fósforo no presentó diferencias significativas entre tratamientos, aumentando los niveles de estos con respecto al análisis anterior, en los tratamientos con dosis baja y alta de lodo, siendo el tratamiento con lodo en dosis media el que menos varió alcanzando el mayor nivel final. De lo anterior se infiere una entrega importante de este nutriente por parte del lodo a través del tiempo, aunque su entrega al parecer es muy lenta, según lo señalado por PINOCHET *et al.* (2004). Además, cabe mencionar que el tratamiento con fertilización inorgánica, a pesar de aumentar su nivel de P con relación al análisis anterior, queda por debajo de los niveles alcanzados por los tratamientos con lodo, superando solo al testigo sin fertilización. En la figura presentada en el Anexo 26 puede verse en forma comparativa como cambiaron los niveles de fósforo en el suelo a través del tiempo.

En el caso del calcio en general se mantuvieron los niveles, como lo indica la figura presentada en el Anexo 26, aumentando levemente en el tratamiento con lodo en dosis media, pero pese a esto, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El magnesio no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo los tratamientos con lodo aumentaron sus niveles con relación al análisis anterior (ver figura presentada en Anexo 27), a diferencia del tratamiento con fertilización inorgánica el cual bajó su nivel. Lo anterior sugiere que parte del magnesio contenido en el lodo se ha mineralizado, sobre todo en el caso de la dosis media de lodo.

El sodio tampoco presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, notándose una disminución más marcada en el tratamiento con fertilización inorgánica, como lo señala la figura presentada en el Anexo 27, el cual presentó una fuerte alza, para luego volver prácticamente, al nivel inicial. Por último, el potasio siguió disminuyendo sus niveles en comparación al análisis anterior, presentando la mayor baja el tratamiento con fertilización inorgánica, no presentándose diferencias significativas entre los distintos tratamientos.



## 5 CONCLUSIONES

Como material fertilizante, el contenido nutricional reportado es bajo en nitrógeno y fósforo y muy bajo en potasio. Su uso como lodo proveniente de la crianza intensiva de salmonídeos, bajo las condiciones del estudio, no afectó significativamente los rendimientos ni los componentes de éste en maíz, creciendo con un alta fertilidad inicial. Los tratamientos testigo y lodo en dosis alta alcanzaron rendimientos similares y altos, siendo estos de 20,5 t MS/ha aproximadamente.

Para el cultivo avena / ballica, sólo se determinaron diferencias significativas en el rendimiento total acumulado, siendo el tratamiento con fertilización inorgánica el que alcanzó el mayor rendimiento (6,6 t MS/ha), y los tratamientos con lodo en dosis media y alta, fueron estadísticamente similares a todos los tratamientos. Esto sugiere que el lodo salmonícola presenta un bajo efecto residual y, que su efecto no se manifiesta en el periodo de 10 meses.

En cuanto a las absorciones totales de nutrientes por la rotación, no se determinaron diferencias significativas, a excepción del sodio, por lo cual no se justificó realizar un análisis de la eficiencia de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio. Para el sodio los tratamientos con fertilización inorgánica y dosis alta de lodo presentaron las mayores absorciones.

Sobre la disponibilidad de nutrientes, en general, no se presentaron variaciones producidas por los tratamientos con lodo. El tratamiento con fertilización inorgánica produjo efectos temporales sobre la variación de los parámetros del suelo, los cuales no se mantienen en el tiempo con la excepción del contenido de aluminio intercambiable.

## 6 RESUMEN

Un ensayo realizado en INIA-Remehue, Osorno, Chile, durante la temporada 2002-03, fue llevado a cabo para evaluar la utilización de lodos provenientes de la crianza intensiva de salmonideos, como fertilizante en maíz forrajero (*Zea mays*) y su efecto residual en un cultivo invernal de avena (*Avena sativa*) y ballica anual (*Lolium multiflorum*), así como también evaluar cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Se establecieron 4 tratamientos: testigo sin fertilización, y dosis baja (48 t/ha), media (96 t/ha) y alta (144 t/ha) de lodos (equivalente a 74; 147; y 221 kg N total/ha y 38; 75; 113 kg P/ha, respectivamente). El lodo fue colectado bajo balsas jaulas ubicadas en el Lago Llanquihue, X Región. Se realizó la caracterización química del lodo utilizado y de suelo (inicial y final). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Para maíz se evaluó rendimiento de MS, número de plantas y de mazorcas por hilera, altura de plantas, obteniéndose sub-muestras para análisis de macronutrientes. Posteriormente se realizó la siembra en cero labranza de avena y ballica anual. A este cultivo se le realizaron tres cortes, en los cuales se determinó rendimiento, composición botánica, y contenido de macronutrientes. Se realizó análisis de varianza y prueba de Duncan. Los resultados muestran que el lodo no tuvo efectos adversos en el maíz, evidenciándose un crecimiento normal de las plantas, aún con la dosis más alta de lodo. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en altura de plantas, N° de mazorca/planta, N° plantas/ha y rendimiento de materia seca entre tratamientos. Sin embargo, se observó una tendencia a mayor rendimiento con la dosis más alta de lodo (20,5 tMS/ha). La baja respuesta en rendimiento al comparar el testigo (20,5 tMS/ha) con las distintas dosis de lodo, puede explicarse por el bajo aporte de nitrógeno del lodo,

sumado a la alta fertilidad inicial del sitio de ensayo. En el cultivo de avena / ballica se determinaron diferencias significativas en el rendimiento total acumulado, siendo el tratamiento con fertilización inorgánica el que alcanzó el mayor rendimiento (6,6 tMS/ha) y en los tratamientos con lodo, las dosis media y alta (5,3 tMS/ha), fueron estadísticamente similares a todos los tratamientos lo que demuestra que el lodo salmonícola presenta un bajo efecto residual. En cuanto a las absorciones totales de nutrientes por la rotación, no se determinaron diferencias significativas, a excepción del sodio. Sobre la disponibilidad de nutrientes, no se presentaron mayores variaciones en los tratamientos con lodo, pero se observa que los niveles de fósforo, calcio y magnesio con la dosis media de lodo alcanzan los mayores valores en forma absoluta, en el muestreo final de suelo. A la vez el tratamiento con esta dosis presenta la menor saturación de aluminio. Bajo las condiciones del estudio es posible concluir que la utilización de lodos en cultivos de maíz forrajero es factible. Sin embargo, son necesarios otros estudios relacionados a la complementación con fertilizantes inorgánicos, aporte de metales pesados y posibles efectos negativos de dosis altas aplicadas en años sucesivos.

## SUMMARY

An essay realized at INIA-Remehue, Osorno, Chile, during season 2002-03, was carried out to evaluate the use of sludge produced from the intensive fish farming, as fertilizer in silage corn (*Zea mays*), and its residual effect in a winter crop of oats (*Avena sativa*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). Also were evaluated changes in the availability of nutrients in the soil. Four treatments were established: control without fertilization, and low rate (48 t/ha), medium (96 t/ha) and high (144 t/ha) of salmon sludge (equivalent to 74; 147; and 221kg N total/ha and 38; 75; 113 kg P/ha, respectively). The sludge was collected under cages located in the Llanquihue Lake, X Region. A chemical characterization of the sludge and soil was made (initial and final). A randomized block design with three replications was used. For maize, yield of DM was evaluated, as well as number of plants and of cob by row, height of plants, obtaining sub samples for analysis of macronutrients. After that was made a non tillage crop system of oat and annual ryegrass. To this crop three cuts were made to it, in which it was determined yield and botanical composition, as well as analysis of macronutrients. To the collected data, an analysis of variance and test of Duncan were done. The results show that the sludge did not have adverse effects in the maize, its showed a normal growth of the plants, even with the highest dose of sludge. The results indicate that there were no significant differences ( $P>0.05$ ) in height of plants, N° of cob/plant, N° plants/ha and dry matter yield between treatments. Nevertheless, a tendency was observed, greater yield with the highest dose of sludge (20,5 tDM/ha). The low answer in yield when comparing the control (20,5 tDM/ha) with the different doses of sludge, can be explained by the low nitrogen contribution of the sludge, and the high initial fertility of the test site. In relation to the crop, significant

differences in the accumulated total yield were determined, being the treatment with inorganic fertilization the one that reach the highest yield (6,6 tDM/ha), and in the treatments with sludge, the medium and high doses (5,3 tDM/ha), were statistically similar to all the treatments which demonstrates that the salmonidean sludge display a low residual effect. Significant differences were not determined in the total absorptions of nutrients by the rotation, with the exception of sodium. On the availability of nutrients, greater variations in the treatments with sludge did not appear, but it is observed that the levels of phosphorus, calcium and magnesium with the medium dose of sludge reach the greater values in absolute form, in the final soil analysis. Simultaneously the treatment with this dose presents the lower aluminium saturation. Under the conditions of study it is possible to conclude that the sludge use in silage corn crops is feasible. Nevertheless, other studies are necessary related to the complementation with inorganic fertilizers, heavy metals contribution and possible negative effects of applied high doses in successive years.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ACKEFORS, H. y ENELL, M. 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. Journal of Applied Ichthyology. (Original no consultado), Abstract. Volumen 10 (4):pp 225-241.

AXLER, R. TIKKANEN, C. HENNECK, J. SCHULDT, J. y McDONALD, M. 1997. Characteristics of effluent and sludge from two commercial rainbow trout in Minnesota. The Progressive Fish - Culturist. Volumen 59 pp: 161-172.

AQUANOTICIAS INTERNACIONAL. 2005. Estadísticas. Año 17, Nº 94 . Fundación Chile. Chile.

BARTAS, J.M. 1997. Excerpts in Vegetarian Journal. Abstract. Vol. 16 (4). <http://www.vrg.org/journal/vj97jul/977aqua.htm> (12 may. 2003).

BENAVIDES, L. (s. f.). Pretratamiento y tratamiento de residuos peligrosos. <http://www.cepis.opsoms.org/eswww/fulltext/gtz/grespel/guiata.html>. (10 abr. 2003).

BONTOUX, L. PAPAMELETIOU, D. y VEGA, M. (s. f.). Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos. <http://www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm> (12 abr. 2003).

- BUSTOS, C. TEUBER, N. SALAZAR, F. PINOCHET, D. VALDEBENITO, A. 2003. XXVIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, A. G. Universidad Católica del Maule. Talca. Chile. pp: 35-36
- CASTRO, J. NOVOA, R. y BLÁZQUEZ, R. 2002. Annual slurry production in dairy farms and efficient management of the available nutrients for fertilizer. Recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture. (RAMIRAN). pp 179 – 182.
- CEPIS. (s. f.). Aspectos generales del manejo de lodos. <http://www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html#2.%20Aspectos> ( 9 abr 2003).
- COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 1999. Anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. [http://www.conama.cl/investigacion\\_info/temas\\_ambientales/Residuos/lodo.htm](http://www.conama.cl/investigacion_info/temas_ambientales/Residuos/lodo.htm) (30 may. 2003)
- CONCHA, G. 1990. Secuencia de maíz - pradera invernal para intensificar el uso del suelo y la producción de forraje en la zona centro sur. Tesis Lic. Agr. Chillan. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía.. 90 p.
- CORTES, B. y SILVA, M. 1995. Evaluación de híbridos de maíz para ensilaje en la Décima región. Resultados de dos temporadas. Avances en producción animal. Volumen 20 (2): 229- 237.
- CONICYT. 2001. Extracción de sedimentos acumulados bajo los centros acuícolas, mediante un prototipo industrial de vehículo submarino remoto

(ROV) y su posterior utilización en sistemas agrícolas: una alternativa de integración productiva.

[http://www.fondef.cl/noticias/deta\\_noti.php3?cod\\_noti=238](http://www.fondef.cl/noticias/deta_noti.php3?cod_noti=238) (7 abr. 2003).

CRIPPS, S.J. y BERGHEIM, A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production. Abstract. Aquacultural Engineering. Volumen 22 (1): 33-56.

DEWI, A. AXFORD, R. MARAI, M. y OMED, H. 1994 Pollution in livestock production systems. CAB International. Wallingford, United Kingdom.

ELIZALDE, H. 1994. Fertilización de maíz forrajero. In: Seminario, Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros. Serie Remehue N°53. INIA Remehue. 135 p.

EMISON, 2003. <http://www.emison.com/5051.htm> (8 abr. 2003).

ESTRUCPLAN, 2001. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/Residuos1.asp> (30 abr. 2003).

FEHRMANN, E. 1984. Establecimiento de una pradera con distintas dosis y espaciamiento de avena. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 83 p.

FERNÁNDEZ, M. 1996. Influencia de la fertilización de largo plazo en el cultivo de maíz y en la residualidad de P y K en Mollisol calcáreo. Agricultura Técnica. Volumen 56 (2): 107 – 115.



- FIGUEROA, M. y TIMA, M. 2002 Competencia intraespecífica en maíz (*Zea mays L.*) para ensilaje. Reunión anual de la SOCHIPA. Libro de Resúmenes. pp 51 – 52.
- GUTIERREZ, M. Evaluación de diez híbridos de maíz forrajero (*Zea mays L.*) en la provincia de Valdivia. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 111 p.
- HAVLIN, J. BEATON, J. TISDALE, S. y NELSON, W. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. USA. Prentice Hall. 499 p.
- HUE, N. V. 1995. Soil amendments and environmental quality. Editor Jack E. Rechcigl. Soil and Water Science Department, University of Florida. Capítulo 6 Sewage sludge. pp: 199-235.
- KLEIN, F. ELIZALDE, H. LANUZA, F. y PARGA, J. 1996. Prospección de rendimiento y calidad de ensilaje de maíz en la zona sur. Series INIA Remehue. Número 62. pp: 67 – 69.
- KUO, S. BRISTOW P. JELLUM, E. y OKIRO, M. 2000. Nitrogen mineralization of lime-stabilized fishwaste in acid soils and its effect on plant growth. Journal of Environmental Quality. Volumen 29: 380-387.
- LAOS, F. 2001. Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino-Patagónica: determinación de índices de madurez para su utilización agronómica. Tesis de grado presentada para optar al grado de Doctorado en Biología. Resumen. Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche,

Argentina.<http://www.uncoma.edu.ar/postgrados/docenBiologia/aprobadas/Laos.html> (15 may 2003).

MIDLEN, A. y REDDING, T. 1998. Environmental management for aquaculture. Kluwer Academic Publishers. Holanda.223 p.

MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic press. UK. 889 pp.

MAZZARINO, M. J. WALTER, I. COSTA, G. LAOS, F. ROSELLI, L. y SATTI, P. 1997. Plant response to fish farming wastes in volcanic soils. Journal of Environmental Quality. 26: 522-528.

MAZZARINO, M. J. LAOS, F. SATTI, P. y MOYANO, S. 1998. Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean Patagonian region. Soil Science and Plant Nutrition. 44(1): 105-113.

NAYLOR, S. MOCCIA, R. y DURANT, G. 1999. The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial Rainbow trout farm in Ontario, Canada. North American Journal of Aquaculture. 61: 21-26.

PINOCHET, D. ARTACHO, P. y AZUA, P. 2001. Potencialidad como abono orgánico de los desechos sólidos subproductos del cultivo de especies salmonideas. Agro Sur. 29 (1): 78-82.

PINOCHET, D. DE ARMAS, M. SOLIS, J. AYMANS, D. 2004. Tasas de mineralización para nitrógeno y fósforo en lodos de salmonicultura y sanitarios. Simposio: Residuos orgánicos y su uso en sistemas

agroforestales. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N° 20, pag 59 – 68.

ROCKEFELLER, A. 1998. Civilization & Sludge: Notes on the History of the Management of Human Excreta . Current World Leaders, Volumen 39, N° 6. <http://users.erols.com/taylew/rockefella.htm> (20 abr. 2003).

RODRÍGUEZ, R. 1993. Determinación cuantitativa de la carga de desechos ingresados al lago Ranco por efecto del cultivo de especies salmonídeas. Tesis Licenciado en Biología Marina. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias. 156p.

ROMERO, O. KOEBRICH, A. y HIRIART, M. 1991. Evaluación de tres variedades de betarraga forrajera y cinco híbridos de maíz como alternativa de forraje suplementario de invierno. Agricultura Técnica. Chile. 51 (2): 116-120.

SADZAWKA, A. GREZ, R. MORA, M. SAAVEDRA, N. CARRASCO, M. 2001 Métodos de análisis de tejidos vegetales Comisión de Normalización y Acreditación (CNA). Sociedad chilena de la ciencia del suelo.

SMITH, J. H. 1985. Fertilizing agricultural land with Rainbow trout manure for growing silage corn. Soil Science Society of America Journal. 49: 131-134.

SOTO, J. 1989. Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de tres híbridos de maíz forrajero (*Zea mayz L.*) en Valdivia. Tesis Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 64 p.

TORRES, A. 1997. Avena – ballica; Su uso en invierno y para conservación de forrajes. Tierra Adentro. Chile. N° 15. pp 34-37.

URTASUN, P. 1995. Influencia de la densidad poblacional sobre el rendimiento y otras características de los híbridos de maíz (*Zea mays L.*). Tesis Lic. Agr. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 75 p.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 Caracterización química del lodo utilizado

Identificación	% MS	N total (bh%)	N total (bs%)	N-NH3 (bh%)	N-NH3 (bs%)	P seco (%)	pH	C (%)
Lodo repetición 1	8,9	0,15	1,69	0,06	0,67	0,87	7,34	12,7
Lodo repetición 2	9,0	0,16	1,78	0,055	0,61	0,86	7,31	12,65
Lodo repetición 3	9,1	0,15	1,65	0,056	0,62	0,88	7,3	12,68
<b>Promedio</b>	<b>9,0</b>	<b>0,15</b>	<b>1,70</b>	<b>0,06</b>	<b>0,63</b>	<b>0,87</b>	<b>7,32</b>	<b>12,68</b>
<b>Desviación estándar</b>	0,100	0,006	0,067	0,003	0,035	0,010	0,021	0,025

Identificación	M.O(%)	C / N	K seco (%)	Ca seco(%)	Na seco (%)	Mg seco(%)	Al seco (ppm)
Lodo repetición 1	21,89	7,54	0,10	2,70	0,43	0,35	31531
Lodo repetición 2	21,81	7,12	0,07	2,66	0,28	0,34	32473
Lodo repetición 3	21,86	7,69	0,06	2,68	0,28	0,33	30911
<b>Promedio</b>	<b>21,85</b>	<b>7,45</b>	<b>0,08</b>	<b>2,68</b>	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>31638</b>
<b>Desviación estándar</b>	0,043	0,298	0,021	0,020	0,087	0,010	787

## ANEXO 2 Cuadro de caracterización química comparativa del lodo

<b>Autor</b>	N (%)	P (%)	C-orgánico (%)	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Na (%)
<b>Presente estudio (2003)</b>	1,70	0,87	12,68	0,08	0,34	2,68	0,33
Naylor <i>et al</i> (1999)	2.83	2.54	n. d.	0.10	0.53	6.99	n. d.
Axler <i>et al</i> (1997)	2,44-3,60	0,94-3,80	19,0-44,5	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Mazzarino <i>et al</i> (1997)	2.95	10.70	5.20	0.13	0.20	19.30	n. d.
Olson (1992)	3,15-5,49	1,34-3,51	n. d.	0,29-0,43	n. d.	n. d.	n. d.
Bergheim <i>et al</i> (1993)	4.80	2.22	n. d.	0.05	0.31	6.10	0.20
Westerman <i>et al</i> (1993)	1,78-15,31	0,35-1,85	9,3-70,6	0,29-0,88	0,35-0,60	0,34-2,70	0,04-0,05
Pinochet <i>et al.</i> (2001)	0.70	3.30	11.90	0.03	n. d.	n. d.	n. d.
Mudrak (1981)	4.85	1.79	n. d.	0.15	n. d.	n. d.	n. d.

n. d.: valor no disponible

**Anexo 3 Rendimientos del cultivo de maíz en los distintos tratamientos y repeticiones.**

Tratamientos	Rendimiento (ton MV/ha)	% Materia seca	Rendimiento (ton MS/ha)
Testigo	64,1	26,2	16,8
Testigo	88,8	28,5	25,3
Testigo	75,0	26,0	19,5
<b>Promedio</b>	<b>76,0 a</b>	<b>26,9</b>	<b>20,5 a</b>
Desviación estándar	12,4	1,4	4,4
Lodo bajo	75,8	26,3	19,9
Lodo bajo	67,9	24,2	16,4
Lodo bajo	78,6	23,1	18,1
<b>Promedio</b>	<b>74,1 a</b>	<b>24,5</b>	<b>18,2 a</b>
Desviación estándar	5,5	1,6	1,8
Lodo medio	76,2	27,1	20,6
Lodo medio	76,8	25,2	19,4
Lodo medio	84,7	23,6	20,0
<b>Promedio</b>	<b>79,2 a</b>	<b>25,3</b>	<b>20,0 a</b>
Desviación estándar	4,7	1,7	0,6
Lodo alto	88,2	26,7	23,5
Lodo alto	72,3	25,8	18,7
Lodo alto	85,4	22,7	19,4
<b>Promedio</b>	<b>81,9 a</b>	<b>25,1</b>	<b>20,5 a</b>
Desviación estándar	8,5	2,1	2,6
Fertilización inorgánica	70,6	26,4	18,6
Fertilización inorgánica	64,9	30,9	20,1
Fertilización inorgánica	49,4	28,1	13,9
<b>Promedio</b>	<b>61,6 a</b>	<b>28,5 a</b>	<b>17,5 a</b>
Desviación estándar	11,0	2,3	3,2

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.



**Anexo 4 Población y altura de plantas de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamientos	Altura (Metros)	Población (plantas /ha)
Testigo	2,10	93333
Testigo	2,24	100000
Testigo	2,27	98333
<b>Promedio</b>	<b>2,20 a</b>	<b>97222 a</b>
Desviación estándar	0,09	3469
Lodo bajo	2,20	93333
Lodo bajo	2,13	95000
Lodo bajo	2,17	93333
<b>Promedio</b>	<b>2,17 a</b>	<b>93889 a</b>
Desviación estándar	0,04	962
Lodo medio	2,27	98333
Lodo medio	2,23	95000
Lodo medio	2,30	88333
<b>Promedio</b>	<b>2,27 a</b>	<b>93889 a</b>
Desviación estándar	0,04	5092
Lodo alto	2,20	88333
Lodo alto	2,26	88333
Lodo alto	2,27	98333
<b>Promedio</b>	<b>2,24 a</b>	<b>91667 a</b>
Desviación estándar	0,04	5774
Fertilización inorgánica	2,02	86667
Fertilización inorgánica	2,08	85000
Fertilización inorgánica	1,96	73333
<b>Promedio</b>	<b>2,02 b</b>	<b>81667 b</b>
Desviación estándar	0,06	7265

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 5 Número de mazorcas por planta y por hectárea para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamientos	Número de mazorcas por planta	Número de mazorcas por hectárea
Testigo	1,11	103333
Testigo	1,25	125000
Testigo	1,05	103333
<b>Promedio</b>	<b>1,14 a</b>	<b>110556 a</b>
Desviación estándar	0,10	12509
Lodo bajo	1,16	108333
Lodo bajo	1,09	103333
Lodo bajo	1,11	103333
<b>Promedio</b>	<b>1,12 a</b>	<b>105000 a</b>
Desviación estándar	0,04	2887
Lodo medio	1,15	113333
Lodo medio	1,12	106667
Lodo medio	1,21	106667
<b>Promedio</b>	<b>1,16 a</b>	<b>108889 a</b>
Desviación estándar	0,04	3849
Lodo alto	1,26	111667
Lodo alto	1,09	96667
Lodo alto	1,20	118333
<b>Promedio</b>	<b>1,19 a</b>	<b>108889 a</b>
Desviación estándar	0,09	11097
Fertilización inorgánica	1,21	105000
Fertilización inorgánica	1,08	91667
Fertilización inorgánica	1,07	78333
<b>Promedio</b>	<b>1,12 a</b>	<b>91667 a</b>
Desviación estándar	0,08	13333

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 6 Relación mazorca / planta con relación al peso de cada uno para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>Peso planta completa (kg MS)</b>	<b>Peso mazorca (kg MS)</b>	<b>Relación Mazorca / planta</b>
Testigo	0,98	0,45	0,46
Testigo	1,14	0,49	0,43
Testigo	0,92	0,38	0,41
<b>Promedio</b>	<b>1,01</b>	<b>0,44</b>	<b>0,43 a</b>
Desviación estándar	0,12	0,06	0,02
Lodo bajo	0,96	0,46	0,48
Lodo bajo	0,87	0,46	0,53
Lodo bajo	1,07	0,50	0,47
<b>Promedio</b>	<b>0,97</b>	<b>0,48</b>	<b>0,49 a</b>
Desviación estándar	0,10	0,02	0,04
Lodo medio	1,23	0,62	0,50
Lodo medio	0,89	0,40	0,45
Lodo medio	1,05	0,53	0,50
<b>Promedio</b>	<b>1,06</b>	<b>0,52</b>	<b>0,49 a</b>
Desviación estándar	0,17	0,11	0,03
Lodo alto	1,28	0,64	0,50
Lodo alto	0,97	0,48	0,49
Lodo alto	0,88	0,37	0,42
<b>Promedio</b>	<b>1,05</b>	<b>0,50</b>	<b>0,47 a</b>
Desviación estándar	0,21	0,13	0,04
Fertilización inorgánica	1,31	0,75	0,58
Fertilización inorgánica	1,42	0,63	0,45
Fertilización inorgánica	1,04	0,57	0,55
<b>Promedio</b>	<b>1,26</b>	<b>0,65</b>	<b>0,52 a</b>
Desviación estándar	0,19	0,09	0,07

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 7 Concentración de nutrientes en el cultivo de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	<b>P</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	<b>Ca</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	<b>Mg</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	<b>K</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)	<b>Na</b> (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	1,02	0,12	0,16	0,15	0,72	0,01
Testigo	1,11	0,14	0,14	0,14	0,91	0,01
Testigo	0,94	0,11	0,15	0,10	1,04	0,02
<b>Promedio</b>	<b>1,02 a</b>	<b>0,12 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>0,13 a</b>	<b>0,89 a</b>	<b>0,01 a</b>
Desviación estándar	0,09	0,02	0,01	0,03	0,16	0,01
Lodo bajo	1,12	0,13	0,19	0,16	0,88	0,01
Lodo bajo	1,17	0,15	0,21	0,17	0,91	0,03
Lodo bajo	1,07	0,14	0,16	0,12	1,13	0,01
<b>Promedio</b>	<b>1,12 a</b>	<b>0,14 a</b>	<b>0,19 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>0,97 a</b>	<b>0,02 a</b>
Desviación estándar	0,05	0,01	0,03	0,03	0,14	0,01
Lodo medio	1,11	0,14	0,18	0,14	0,9	0,01
Lodo medio	0,95	0,11	0,18	0,15	0,76	0,01
Lodo medio	1,13	0,16	0,16	0,15	0,95	0,01
<b>Promedio</b>	<b>1,06 a</b>	<b>0,14 a</b>	<b>0,17 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>0,87 a</b>	<b>0,01 a</b>
Desviación estándar	0,10	0,03	0,01	0,01	0,10	0,00
Lodo alto	1,29	0,16	0,14	0,18	0,85	0,01
Lodo alto	1,27	0,15	0,17	0,16	0,81	0,01
Lodo alto	1,30	0,17	0,16	0,15	0,99	0,01
<b>Promedio</b>	<b>1,29 b</b>	<b>0,16 ab</b>	<b>0,16 a</b>	<b>0,16 a</b>	<b>0,88 a</b>	<b>0,01 a</b>
Desviación estándar	0,02	0,01	0,02	0,02	0,09	0,00
Fertilización inorgánica	1,22	0,15	0,17	0,16	1,03	0,02
Fertilización inorgánica	1,37	0,21	0,12	0,14	0,93	0,01
Fertilización inorgánica	1,5	0,19	0,18	0,14	1,18	0,04
<b>Promedio</b>	<b>1,36 b</b>	<b>0,18 b</b>	<b>0,16 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>1,05 a</b>	<b>0,02 a</b>
Desviación estándar	0,14	0,03	0,03	0,01	0,13	0,02

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 8 Absorción de nutrientes en el cultivo de maíz para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

TRATAMIENTO	N (kg/ha)	P (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)
Testigo	160	19	25	23	113	2
Testigo	260	33	33	33	213	2
Testigo	171	20	27	18	189	4
<b>Promedio</b>	<b>197 a</b>	<b>24 a</b>	<b>28 a</b>	<b>25 a</b>	<b>172 a</b>	<b>3 a</b>
Desviación estándar	55,3	7,8	4,0	7,4	52,5	1,0
Lodo bajo	207	24	35	30	163	2
Lodo bajo	178	23	32	26	138	5
Lodo bajo	179	23	27	20	189	2
<b>Promedio</b>	<b>188 a</b>	<b>23 a</b>	<b>31 a</b>	<b>25 a</b>	<b>163 a</b>	<b>3 a</b>
Desviación estándar	17	1	4	5	25	2
Lodo medio	213	27	35	27	173	2
Lodo medio	171	20	32	27	137	2
Lodo medio	209	30	30	28	175	2
<b>Promedio</b>	<b>197 a</b>	<b>25 a</b>	<b>32 a</b>	<b>27 a</b>	<b>162 a</b>	<b>2 a</b>
Desviación estándar	23,2	5,0	2,5	0,4	21,6	0,1
Lodo alto	281	35	30	39	185	2
Lodo alto	218	26	29	28	139	2
Lodo alto	232	30	29	27	177	2
<b>Promedio</b>	<b>244 a</b>	<b>30 a</b>	<b>29 a</b>	<b>31 a</b>	<b>167 a</b>	<b>2 a</b>
Desviación estándar	32,9	4,5	1,0	7,0	24,4	0,2
Fertilización inorgánica	213	26	30	28	180	3
Fertilización inorgánica	257	39	23	26	174	2
Fertilización inorgánica	193	24	23	18	152	5
<b>Promedio</b>	<b>221 a</b>	<b>30 a</b>	<b>25 a</b>	<b>24 a</b>	<b>169 a</b>	<b>4 a</b>
Desviación estándar	32,9	8,2	3,9	5,3	14,9	1,6

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

### Anexo 9 Rendimiento del cultivo avena / ballica en el primer corte.

Tratamiento	Rendimiento (kg MV/ha)	% MS avena y ballica	Rendimiento (kg MS/ha)
Testigo	2053	10,99	226
Testigo	3507	10,40	365
Testigo	3946	9,33	368
<b>Promedio</b>	<b>3169 a</b>	<b>10,20</b>	<b>320 a</b>
Desviación estándar	991	0,84	81
Lodo bajo	2463	10,45	257
Lodo bajo	3613	10,42	377
Lodo bajo	3858	8,52	329
<b>Promedio</b>	<b>2950 a</b>	<b>9,80</b>	<b>321 a</b>
Desviación estándar	745	1,11	60
Lodo medio	3396	11,84	402
Lodo medio	4407	11,10	489
Lodo medio	4479	9,10	408
<b>Promedio</b>	<b>4094 a</b>	<b>10,70</b>	<b>433 a</b>
Desviación estándar	606	1,42	49
Lodo alto	4040	9,77	395
Lodo alto	4393	10,93	480
Lodo alto	4975	8,69	432
<b>Promedio</b>	<b>4469 a</b>	<b>9,80</b>	<b>436 a</b>
Desviación estándar	472	1,12	43
Fertilización inorgánica	4248	10,59	450
Fertilización inorgánica	5201	10,59	551
Fertilización inorgánica	3214	8,90	286
<b>Promedio</b>	<b>4221 a</b>	<b>10,00</b>	<b>429 a</b>
Desviación estándar	994	0,98	134

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

### Anexo 10 Rendimiento del cultivo avena / ballica en el segundo corte.

Tratamiento	Rendimiento (kg MV/ha)	% MS avena y ballica	Rendimiento (kg MS/ha)
Testigo	5313	19,7	1045
Testigo	7263	17,8	1290
Testigo	6968	18,2	1265
<b>Promedio</b>	<b>6515 a</b>	<b>18,5</b>	<b>1200 a</b>
Desviación estándar	1051	1,0	135
Lodo bajo	5865	19,5	1143
Lodo bajo	6685	18,0	1206
Lodo bajo	7337	18,2	1339
<b>Promedio</b>	<b>6629 a</b>	<b>18,6</b>	<b>1229 a</b>
Desviación estándar	737	0,8	100
Lodo medio	5015	20,2	1015
Lodo medio	6670	19,4	1293
Lodo medio	7567	18,8	1423
<b>Promedio</b>	<b>6417 a</b>	<b>19,5</b>	<b>1244 a</b>
Desviación estándar	1294	0,7	208
Lodo alto	7975	19,2	1534
Lodo alto	6502	18,5	1204
Lodo alto	8303	19,6	1630
<b>Promedio</b>	<b>7593 a</b>	<b>19,1</b>	<b>1456 a</b>
Desviación estándar	960	0,6	224
Fertilización inorgánica	8818	19,2	1689
Fertilización inorgánica	6852	19,2	1314
Fertilización inorgánica	10420	16,4	1708
<b>Promedio</b>	<b>8697 a</b>	<b>18,2</b>	<b>1571 a</b>
Desviación estándar	1787	1,6	222

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

### Anexo 11 Rendimiento del cultivo avena / ballica en el tercer corte.

Tratamiento	Rendimiento (kg MV/ha)	% MS avena y ballica	Rendimiento (kg MS/ha)
Testigo	9940	21,4	2127
Testigo	16763	19,4	3252
Testigo	16547	20,3	3359
<b>Promedio</b>	<b>14417 a</b>	<b>20,4</b>	<b>2913 a</b>
Desviación estándar	3878	1,0	682
Lodo bajo	14873	19,8	2945
Lodo bajo	13260	21,2	2804
Lodo bajo	16180	20,5	3309
<b>Promedio</b>	<b>14771 a</b>	<b>20,5</b>	<b>3019 a</b>
Desviación estándar	1463	0,7	260
Lodo medio	19140	21,6	4125
Lodo medio	13737	21,8	2988
Lodo medio	19723	20,2	3974
<b>Promedio</b>	<b>17533 a</b>	<b>21,2</b>	<b>3696 a</b>
Desviación estándar	3301	0,9	618
Lodo alto	18133	20,9	3790
Lodo alto	17710	20,3	3595
Lodo alto	14763	21,1	3115
<b>Promedio</b>	<b>16869 a</b>	<b>20,8</b>	<b>3500 a</b>
Desviación estándar	1836	0,4	347
Fertilización inorgánica	25900	20,4	5271
Fertilización inorgánica	14290	22,3	3180
Fertilización inorgánica	27330	20,3	5534
<b>Promedio</b>	<b>22507 a</b>	<b>21,0</b>	<b>4662 a</b>
Desviación estándar	7152	1,1	1290

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.



**Anexo 12 Rendimiento total del cultivo avena / ballica.**

Tratamiento	Rendimiento (kg MV/ha)	Rendimiento (kg MS/ha)
Testigo	17307	3398
Testigo	27533	4907
Testigo	27461	4992
<b>Promedio</b>	<b>24100 a</b>	<b>4432 a</b>
Desviación estándar	5884	897
Lodo bajo	23201	4345
Lodo bajo	23558	4387
Lodo bajo	27374	4976
<b>Promedio</b>	<b>24711 a</b>	<b>4570 a</b>
Desviación estándar	2313	353
Lodo medio	27551	5542
Lodo medio	24813	4770
Lodo medio	31769	5805
<b>Promedio</b>	<b>28044 a</b>	<b>5372 ab</b>
Desviación estándar	3504	538
Lodo alto	30148	5719
Lodo alto	28604	5279
Lodo alto	28042	5177
<b>Promedio</b>	<b>28931 a</b>	<b>5391 ab</b>
Desviación estándar	1091	288
Fertilización inorgánica	38967	7410
Fertilización inorgánica	26343	5044
Fertilización inorgánica	40964	7528
<b>Promedio</b>	<b>35424 a</b>	<b>6661 b</b>
Desviación estándar	7928	1401

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 13 Composición botánica del cultivo avena / ballica en el primer corte,  
para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamientos	% Avena	% Ballica	% Material muerto
Testigo	92,1	6,5	1,4
Testigo	78,6	21,4	0,0
Testigo	82,2	15,7	2,2
<b>Promedio</b>	<b>84,3</b>	<b>14,5</b>	<b>1,2</b>
Desviación estándar	7,0	7,5	1,1
Lodo bajo	87,7	9,0	3,3
Lodo bajo	82,2	12,6	5,1
Lodo bajo	95,4	1,0	3,6
<b>Promedio</b>	<b>88,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,0</b>
Desviación estándar	6,6	7,5	4,0
Lodo medio	85,1	13,5	1,4
Lodo medio	84,7	14,4	0,9
Lodo medio	85,9	13,1	1,0
<b>Promedio</b>	<b>85,2</b>	<b>13,7</b>	<b>1,1</b>
Desviación estándar	0,6	0,7	0,2
Lodo alto	92,3	7,2	0,5
Lodo alto	85,8	10,9	3,3
Lodo alto	88,6	9,3	2,1
<b>Promedio</b>	<b>88,9</b>	<b>9,2</b>	<b>2,0</b>
Desviación estándar	3,3	1,8	1,4
Fertilización inorgánica	85,2	13,4	1,4
Fertilización inorgánica	91,2	8,2	0,5
Fertilización inorgánica	92,7	6,7	0,6
<b>Promedio</b>	<b>89,7</b>	<b>9,5</b>	<b>0,8</b>
Desviación estándar	4,0	3,5	0,5

**Anexo 14 Composición botánica del cultivo avena / ballica en el segundo corte,  
para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	% Avena	% Ballica
Testigo	72,8	27,2
Testigo	57,3	42,7
Testigo	59,2	40,8
<b>Promedio</b>	<b>63,1</b>	<b>36,9</b>
Desviación estándar	8,4	8,4
Lodo bajo	45,7	54,3
Lodo bajo	54,6	45,4
Lodo bajo	47,6	52,4
<b>Promedio</b>	<b>49,3</b>	<b>50,7</b>
Desviación estándar	4,7	4,7
Lodo medio	50,8	49,2
Lodo medio	52,4	47,6
Lodo medio	48,3	51,7
<b>Promedio</b>	<b>50,5</b>	<b>49,5</b>
Desviación estándar	2,1	2,1
Lodo alto	42,6	57,4
Lodo alto	42,3	57,7
Lodo alto	46,5	53,5
<b>Promedio</b>	<b>43,8</b>	<b>56,2</b>
Desviación estándar	2,4	2,4
Fertilización inorgánica	36,2	63,8
Fertilización inorgánica	41,5	58,5
Fertilización inorgánica	50,8	49,2
<b>Promedio</b>	<b>42,8</b>	<b>57,2</b>
Desviación estándar	7,4	7,4

**Anexo 15 Concentración de nutrientes en el primer corte del cultivo avena / ballica, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	N (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Ca (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Mg (g*100g <sup>-1</sup> MS)	K (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Na (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	4,72	0,29	0,24	0,14	2,60	0,78
Testigo	4,96	0,30	0,19	0,12	2,48	0,41
Testigo	5,03	0,32	0,17	0,12	2,46	0,47
<b>Promedio</b>	<b>4,90 a</b>	<b>0,30 a</b>	<b>0,20 a</b>	<b>0,13 a</b>	<b>2,51 a</b>	<b>0,55 a</b>
Desviación estándar	0,16	0,02	0,04	0,01	0,08	0,20
Lodo bajo	5,13	0,30	0,28	0,15	2,53	0,97
Lodo bajo	5,08	0,30	0,26	0,15	2,39	0,89
Lodo bajo	5,20	0,35	0,22	0,15	3,98	0,39
<b>Promedio</b>	<b>5,14 ab</b>	<b>0,32 a</b>	<b>0,25 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>2,97 a</b>	<b>0,75 a</b>
Desviación estándar	0,06	0,03	0,03	0,00	0,88	0,31
Lodo medio	4,81	0,30	0,30	0,16	2,57	0,72
Lodo medio	4,94	0,32	0,29	0,16	2,10	1,19
Lodo medio	5,02	0,34	0,25	0,14	2,91	0,62
<b>Promedio</b>	<b>4,92 a</b>	<b>0,32 a</b>	<b>0,28 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>2,53 a</b>	<b>0,84 a</b>
Desviación estándar	0,11	0,02	0,03	0,01	0,41	0,30
Lodo alto	4,90	0,31	0,22	0,14	2,15	1,02
Lodo alto	4,98	0,32	0,31	0,16	2,03	1,20
Lodo alto	5,03	0,34	0,22	0,14	2,78	0,69
<b>Promedio</b>	<b>4,97 a</b>	<b>0,32 a</b>	<b>0,25 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>2,32 a</b>	<b>0,97 a</b>
Desviación estándar	0,07	0,02	0,05	0,01	0,40	0,26
Fertilización inorgánica	5,27	0,32	0,25	0,15	3,32	0,71
Fertilización inorgánica	5,24	0,34	0,23	0,15	2,65	0,83
Fertilización inorgánica	5,54	0,34	0,16	0,12	3,00	0,37
<b>Promedio</b>	<b>5,35 b</b>	<b>0,33 a</b>	<b>0,21 a</b>	<b>0,14 a</b>	<b>2,99 a</b>	<b>0,64 a</b>
Desviación estándar	0,17	0,01	0,05	0,02	0,34	0,24

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 16 Concentración de nutrientes en el segundo corte del cultivo avena / ballica, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	N (g*100g <sup>-1</sup> MS)	P (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Ca (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Mg (g*100g <sup>-1</sup> MS)	K (g*100g <sup>-1</sup> MS)	Na (g*100g <sup>-1</sup> MS)
Testigo	3,18	0,2	0,37	0,14	1,84	1,00
Testigo	3,22	0,24	0,34	0,14	2,98	0,47
Testigo	2,84	0,24	0,37	0,14	2,47	0,46
<b>Promedio</b>	<b>3,08 ab</b>	<b>0,23 a</b>	<b>0,36 a</b>	<b>0,14 a</b>	<b>2,43 a</b>	<b>0,64 a</b>
Desviación estándar	0,21	0,02	0,02	0,00	0,57	0,31
Lodo bajo	2,78	0,23	0,36	0,12	2,02	0,78
Lodo bajo	3,09	0,22	0,37	0,14	1,99	0,76
Lodo bajo	3,30	0,22	0,34	0,14	3,18	0,38
<b>Promedio</b>	<b>3,06 ab</b>	<b>0,22 a</b>	<b>0,36 a</b>	<b>0,13 a</b>	<b>2,40 a</b>	<b>0,64 a</b>
Desviación estándar	0,26	0,01	0,02	0,01	0,68	0,23
Lodo medio	2,77	0,23	0,38	0,13	1,93	0,71
Lodo medio	2,60	0,24	0,40	0,14	1,73	0,76
Lodo medio	2,64	0,24	0,40	0,13	2,43	0,53
<b>Promedio</b>	<b>2,67 a</b>	<b>0,24 a</b>	<b>0,39 b</b>	<b>0,13 a</b>	<b>2,03 a</b>	<b>0,67 a</b>
Desviación estándar	0,09	0,01	0,01	0,01	0,36	0,12
Lodo alto	3,05	0,25	0,42	0,14	1,92	0,88
Lodo alto	2,84	0,24	0,41	0,13	1,60	0,94
Lodo alto	3,07	0,25	0,43	0,15	2,29	0,73
<b>Promedio</b>	<b>2,99 ab</b>	<b>0,25 a</b>	<b>0,42 b</b>	<b>0,14 a</b>	<b>1,94 a</b>	<b>0,85 a</b>
Desviación estándar	0,13	0,01	0,01	0,01	0,35	0,11
Fertilización inorgánica	3,43	0,24	0,37	0,14	2,55	0,78
Fertilización inorgánica	3,08	0,24	0,34	0,13	2,34	0,82
Fertilización inorgánica	3,72	0,22	0,33	0,15	3,18	0,73
<b>Promedio</b>	<b>3,41 b</b>	<b>0,23 a</b>	<b>0,35 a</b>	<b>0,14 a</b>	<b>2,69 a</b>	<b>0,78 a</b>
Desviación estándar	0,32	0,01	0,02	0,01	0,44	0,05

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 17 Absorción de nutrientes por el cultivo avena / ballica al primer corte,  
para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	N (kg/ha)	P (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)
Testigo	9,63	0,59	0,49	0,29	5,30	1,59
Testigo	16,32	0,99	0,63	0,39	8,16	1,35
Testigo	16,81	1,07	0,57	0,40	8,22	1,57
<b>Promedio</b>	<b>14,35 a</b>	<b>0,88 a</b>	<b>0,56 a</b>	<b>0,36 a</b>	<b>7,23 a</b>	<b>1,50 a</b>
Desviación estándar	4,01	0,26	0,07	0,06	1,67	0,13
Lodo bajo	12,00	0,70	0,65	0,35	5,92	2,27
Lodo bajo	17,33	1,02	0,89	0,51	8,15	3,04
Lodo bajo	15,55	1,04	0,66	0,45	11,86	1,16
<b>Promedio</b>	<b>14,94 a</b>	<b>0,92 a</b>	<b>0,73 a</b>	<b>0,44 a</b>	<b>8,64 a</b>	<b>2,16 a</b>
Desviación estándar	2,71	0,19	0,13	0,08	3,00	0,94
Lodo medio	17,50	1,09	1,09	0,58	9,35	2,62
Lodo medio	21,87	1,42	1,28	0,71	9,30	5,27
Lodo medio	18,56	1,26	0,92	0,52	10,76	2,29
<b>Promedio</b>	<b>19,31 a</b>	<b>1,26 a</b>	<b>1,10 a</b>	<b>0,60 a</b>	<b>9,80 a</b>	<b>3,39 a</b>
Desviación estándar	2,28	0,16	0,18	0,10	0,83	1,63
Lodo alto	17,66	1,12	0,79	0,50	7,75	3,68
Lodo alto	21,76	1,40	1,35	0,70	8,87	5,24
Lodo alto	19,98	1,35	0,87	0,56	11,05	2,74
<b>Promedio</b>	<b>19,80 a</b>	<b>1,29 a</b>	<b>1,01 a</b>	<b>0,59 a</b>	<b>9,22 a</b>	<b>3,89 a</b>
Desviación estándar	2,06	0,15	0,30	0,10	1,68	1,26
Fertilización inorgánica	21,48	1,30	1,02	0,61	13,53	2,89
Fertilización inorgánica	26,12	1,69	1,15	0,75	13,21	4,14
Fertilización inorgánica	14,28	0,88	0,41	0,31	7,73	0,95
<b>Promedio</b>	<b>20,63 a</b>	<b>1,29 a</b>	<b>0,86 a</b>	<b>0,60 a</b>	<b>11,49 a</b>	<b>2,66 a</b>
Desviación estándar	5,97	0,41	0,39	0,22	3,26	1,60

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 18 Absorción de nutrientes por el cultivo avena / ballica al segundo corte, para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	N (kg/ha)	P (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)
Testigo	31,08	1,95	3,62	1,37	17,98	9,77
Testigo	38,23	2,85	4,04	1,66	35,38	5,58
Testigo	33,16	2,80	4,32	1,63	28,84	5,37
<b>Promedio</b>	<b>34,16 a</b>	<b>2,54 a</b>	<b>3,99 a</b>	<b>1,55 a</b>	<b>27,40 a</b>	<b>6,91 a</b>
Desviación estándar	3,68	0,50	0,35	0,16	8,79	2,48
Lodo bajo	29,32	2,43	3,80	1,27	21,31	8,23
Lodo bajo	34,40	2,45	4,12	1,56	22,15	8,46
Lodo bajo	40,69	2,71	4,19	1,73	39,21	4,69
<b>Promedio</b>	<b>34,81 a</b>	<b>2,53 a</b>	<b>4,04 a</b>	<b>1,52 a</b>	<b>27,56 a</b>	<b>7,12 a</b>
Desviación estándar	5,69	0,16	0,21	0,23	10,10	2,12
Lodo medio	26,15	2,17	3,59	1,23	18,22	6,70
Lodo medio	31,29	2,89	4,81	1,69	20,82	9,15
Lodo medio	35,16	3,20	5,33	1,73	32,36	7,06
<b>Promedio</b>	<b>30,87 a</b>	<b>2,75 a</b>	<b>4,58 a</b>	<b>1,55 a</b>	<b>23,80 a</b>	<b>7,64 a</b>
Desviación estándar	4,52	0,53	0,89	0,28	7,53	1,32
Lodo alto	43,61	3,57	6,00	2,00	27,45	12,58
Lodo alto	32,06	2,71	4,63	1,47	18,06	10,61
Lodo alto	46,28	3,77	6,48	2,26	34,52	11,00
<b>Promedio</b>	<b>40,65 ab</b>	<b>3,35 a</b>	<b>5,71 a</b>	<b>1,91 a</b>	<b>26,68 a</b>	<b>11,40 b</b>
Desviación estándar	7,55	0,56	0,96	0,40	8,25	1,04
Fertilización inorgánica	54,36	3,80	5,86	2,22	40,41	12,36
Fertilización inorgánica	37,76	2,94	4,17	1,59	28,69	10,05
Fertilización inorgánica	58,90	3,48	5,23	2,38	50,35	11,56
<b>Promedio</b>	<b>50,34 b</b>	<b>3,41 a</b>	<b>5,09 a</b>	<b>2,06 a</b>	<b>39,82 a</b>	<b>11,32 b</b>
Desviación estándar	11,13	0,44	0,86	0,41	10,84	1,17

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**Anexo 19 Absorción total de nutrientes por los cultivos para los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.**

Tratamiento	N (kg/ha)	P (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)
Testigo	200	21	29	25	136	13
Testigo	315	37	37	35	257	9
Testigo	221	24	32	20	226	11
<b>Promedio</b>	<b>245 a</b>	<b>27 a</b>	<b>33 a</b>	<b>27 a</b>	<b>206 a</b>	<b>11 a</b>
Desviación estándar	61,2	8,2	4,2	7,5	62,9	1,9
Lodo bajo	249	27	40	31	190	12
Lodo bajo	230	26	37	28	169	16
Lodo bajo	235	27	32	22	240	8
<b>Promedio</b>	<b>238 a</b>	<b>27 a</b>	<b>36 a</b>	<b>27 a</b>	<b>200 a</b>	<b>12 a</b>
Desviación estándar	9,7	0,5	4,1	4,5	36,7	4,3
Lodo medio	257	30	39	29	200	11
Lodo medio	224	24	38	29	167	16
Lodo medio	262	34	36	30	218	11
<b>Promedio</b>	<b>248 a</b>	<b>29 a</b>	<b>38 a</b>	<b>29 a</b>	<b>195 a</b>	<b>13 ab</b>
Desviación estándar	20,7	5,0	1,8	0,6	26,2	2,9
Lodo alto	342	40	37	42	220	18
Lodo alto	272	30	35	30	166	18
Lodo alto	298	35	36	30	222	16
<b>Promedio</b>	<b>304 a</b>	<b>35 a</b>	<b>36 a</b>	<b>34 a</b>	<b>203 a</b>	<b>17 b</b>
Desviación estándar	35,4	4,8	1,1	7,0	31,8	1,5
Fertilización inorgánica	289	31	37	31	234	19
Fertilización inorgánica	321	44	28	29	216	16
Fertilización inorgánica	266	29	29	21	210	18
<b>Promedio</b>	<b>292 a</b>	<b>35 a</b>	<b>31 a</b>	<b>27 a</b>	<b>220 a</b>	<b>17 b</b>
Desviación estándar	27,6	8,2	4,8	5,3	12,3	1,3

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre sí a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.



## ANEXO 20 Análisis inicial de suelo del sitio de ensayo

	pH	pH	P	NH4	NO3	Ca	Mg	Na	K	Al	Sat. Al
Repetición	H2O	CaCl2	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(cmol(+)/ kg)	(cmol(+)/ kg)	(cmol(+)/ kg)	(cmol(+)/ kg)	(cmol(+)/ kg)	(%)
1	5,46	4,84	28,3	5,3	14,0	3,51	0,59	0,13	0,33	0,49	9,76
2	5,56	4,86	24,3	5,3	14,0	3,86	0,58	0,17	0,29	0,51	9,45
3	5,53	4,89	19,2	9,6	17,5	3,73	0,54	0,13	0,44	0,40	7,60
<b>Promedio</b>	<b>5,52</b>	<b>4,86</b>	<b>23,9</b>	<b>6,7</b>	<b>15,2</b>	<b>3,70</b>	<b>0,57</b>	<b>0,14</b>	<b>0,35</b>	<b>0,47</b>	<b>8,92</b>
Desviación estándar	0,05	0,03	4,56	2,48	2,02	0,18	0,03	0,02	0,08	0,06	1,12

**ANEXO 21 Análisis de suelo previa siembra del cultivo avena / ballica para los distintos tratamientos y repeticiones.**

Tratamiento	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	P (mg/kg)	NH <sub>4</sub> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> (mg/kg)	Ca (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)	Na (cmol(+)/kg)	K (cmol(+)/kg)	Al (cmol(+)/kg)	Sat. Al (%)
Testigo	5,41	4,80	20,7	4,2	12,0	2,51	0,44	0,14	0,23	0,43	11,47
Testigo	5,41	4,81	23,7	6,3	21,8	4,24	0,63	0,14	0,27	0,46	8,01
Testigo	5,53	4,92	16,8	7,0	12,7	3,93	0,45	0,11	0,28	0,28	5,54
<b>Promedio</b>	<b>5,45 a</b>	<b>4,84 a</b>	<b>20,4 a</b>	<b>5,8 a</b>	<b>15,5 a</b>	<b>3,56 a</b>	<b>0,51 a</b>	<b>0,13 a</b>	<b>0,26 a</b>	<b>0,39 a</b>	<b>8,34 a</b>
Desviación estándar	0,07	0,07	3,46	1,46	5,47	0,92	0,11	0,02	0,03	0,10	2,97
Lodo bajo	5,34	4,80	21,4	3,5	11,3	3,12	0,47	0,18	0,20	0,50	11,19
Lodo bajo	5,35	4,78	19,8	14,1	28,9	3,57	0,48	0,19	0,18	0,58	11,60
Lodo bajo	5,33	4,79	19,8	10,6	28,2	3,53	0,48	0,12	0,41	0,48	9,56
<b>Promedio</b>	<b>5,34 a</b>	<b>4,79 a</b>	<b>20,3 a</b>	<b>9,4 a</b>	<b>22,8 a</b>	<b>3,41 a</b>	<b>0,48 a</b>	<b>0,16 a</b>	<b>0,26 a</b>	<b>0,52 ab</b>	<b>10,78 a</b>
Desviación estándar	0,01	0,01	0,92	5,40	9,97	0,25	0,01	0,04	0,13	0,05	1,08
Lodo medio	5,27	4,86	27,2	4,9	39,4	3,64	0,56	0,14	0,26	0,40	8,00
Lodo medio	5,37	4,90	23,2	7,7	25,4	1,53	0,54	0,12	0,31	0,40	13,79
Lodo medio	5,59	4,98	20,7	2,1	22,5	4,59	0,52	0,17	0,25	0,20	3,49
<b>Promedio</b>	<b>5,41 a</b>	<b>4,91 a</b>	<b>23,7 a</b>	<b>4,9 a</b>	<b>29,1 a</b>	<b>3,25 a</b>	<b>0,54 a</b>	<b>0,15 a</b>	<b>0,28 a</b>	<b>0,33 a</b>	<b>8,43 a</b>
Desviación estándar	0,2	0,1	3,3	2,8	9,0	1,6	0,02	0,02	0,03	0,12	5,16
Lodo alto	5,31	4,86	20,2	2,8	28,9	3,58	0,53	0,18	0,19	0,37	7,63
Lodo alto	5,37	4,87	20,2	11,3	34,5	3,93	0,49	0,20	0,21	0,33	6,40
Lodo alto	5,38	4,80	16,8	7,0	21,8	3,74	0,43	0,11	0,23	0,43	8,70
<b>Promedio</b>	<b>5,35 a</b>	<b>4,84 a</b>	<b>19,1 a</b>	<b>7,0 a</b>	<b>28,4 a</b>	<b>3,75 a</b>	<b>0,48 a</b>	<b>0,17 a</b>	<b>0,21 a</b>	<b>0,38 a</b>	<b>7,58</b>
Desviación estándar	0,04	0,04	1,96	4,25	6,36	0,18	0,05	0,05	0,02	0,05	1,16
Fertilización inorgánica	4,98	4,73	20,2	10,6	112,0	3,75	0,67	0,43	0,42	0,48	8,35
Fertilización inorgánica	5,01	4,72	17,7	4,2	81,7	3,47	0,58	0,43	0,42	0,60	10,91
Fertilización inorgánica	4,76	4,61	18,6	9,9	191,5	3,21	0,53	0,43	0,64	0,77	13,80
<b>Promedio</b>	<b>4,91 b</b>	<b>4,69 a</b>	<b>18,8 a</b>	<b>8,2 a</b>	<b>128,4 b</b>	<b>3,48 a</b>	<b>0,59 a</b>	<b>0,43 b</b>	<b>0,49 b</b>	<b>0,62 b</b>	<b>11,02a</b>
Desviación estándar	0,14	0,07	1,27	3,51	56,71	0,27	0,07	0,00	0,13	0,15	2,73

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**ANEXO 22 Análisis de suelo poscosecha del cultivo de avena / ballica para los distintos tratamientos y repeticiones.**

Tratamiento	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	P (mg/kg)	NH <sub>4</sub> (mg/kg)	NO <sub>3</sub> (mg/kg)	Ca (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)	Na (cmol(+)/kg)	K (cmol(+)/kg)	Al (cmol(+)/kg)	Sat. Al (%)
Testigo	5.50	4.71	17.46	n.d.	n.d.	2.56	0.47	0.09	0.19	0.42	11.23
Testigo	5.54	4.73	23.46	n.d.	n.d.	4.14	0.67	0.10	0.23	0.42	7.64
Testigo	5.57	4.78	20.09	n.d.	n.d.	3.78	0.51	0.10	0.29	0.31	6.18
<b>Promedio</b>	<b>5.54</b>	<b>4.74</b>	<b>20.34 a</b>	n.d.	n.d.	<b>3,49</b>	<b>0,55</b>	<b>0,10a</b>	<b>0,24a</b>	<b>0,38bc</b>	<b>8,35a</b>
Desviación estándar	0.04	0.04	3.01	n.d.	n.d.	0.83	0.11	0.01	0.05	0.07	2.60
Lodo bajo	5.49	4.72	23.46	n.d.	n.d.	3.33	0.52	0.10	0.21	0.48	10.26
Lodo bajo	5.50	4.68	19.21	n.d.	n.d.	3.43	0.55	0.13	0.21	0.54	11.07
Lodo bajo	5.52	4.71	24.78	n.d.	n.d.	3.85	0.55	0.06	0.31	0.43	8.22
<b>Promedio</b>	<b>5.50</b>	<b>4.70</b>	<b>22.48 a</b>	n.d.	n.d.	<b>3,54 a</b>	<b>0,54 a</b>	<b>0,10 a</b>	<b>0,24 a</b>	<b>0,48 bc</b>	<b>9,85 a</b>
Desviación estándar	0.02	0.02	2.91	n.d.	n.d.	0.28	0.02	0.03	0.06	0.05	1.47
Lodo medio	5.58	4.76	25.95	n.d.	n.d.	3.64	0.55	0.10	0.19	0.37	7.63
Lodo medio	5.55	4.77	23.46	n.d.	n.d.	4.31	0.62	0.13	0.22	0.39	6.90
Lodo medio	5.70	4.90	20.24	n.d.	n.d.	4.77	0.57	0.13	0.25	0.18	3.09
<b>Promedio</b>	<b>5.61</b>	<b>4.81</b>	<b>23.21 a</b>	n.d.	n.d.	<b>4,24 a</b>	<b>0,58 a</b>	<b>0,12 a</b>	<b>0,22 a</b>	<b>0,31 a</b>	<b>5,87 a</b>
Desviación estándar	0.08	0.08	2.86	n.d.	n.d.	0.57	0.04	0.02	0.03	0.11	2.44
Lodo alto	5.59	4.81	23.90	n.d.	n.d.	4.12	0.59	0.10	0.19	0.30	5.66
Lodo alto	5.59	4.81	18.63	n.d.	n.d.	3.77	0.50	0.11	0.19	0.32	6.56
Lodo alto	5.52	4.76	23.17	n.d.	n.d.	4.23	0.52	0.10	0.25	0.38	6.97
<b>Promedio</b>	<b>5.56</b>	<b>4.79</b>	<b>21.90 a</b>	n.d.	n.d.	<b>4,04 a</b>	<b>0,54 a</b>	<b>0,10 a</b>	<b>0,21 a</b>	<b>0,33 ab</b>	<b>6,40 a</b>
Desviación estándar	0.04	0.03	2.86	n.d.	n.d.	0.24	0.05	0.01	0.04	0.04	0.67
Fertilización inorgánica	5.55	4.74	23.31	n.d.	n.d.	3.55	0.49	0.11	0.21	0.41	8.58
Fertilización inorgánica	5.51	4.70	21.41	n.d.	n.d.	3.67	0.65	0.17	0.26	0.50	9.45
Fertilización inorgánica	5.44	4.62	18.04	n.d.	n.d.	2.84	0.39	0.12	0.37	0.62	14.39
<b>Promedio</b>	<b>5.50</b>	<b>4.69</b>	<b>20.92 a</b>	n.d.	n.d.	<b>3,36 a</b>	<b>0,51 a</b>	<b>0,13 a</b>	<b>0,28 a</b>	<b>0,51 c</b>	<b>10,81 a</b>
Desviación estándar	0.05	0.06	2.67	n.d.	n.d.	0.45	0.13	0.03	0.08	0.11	3.13

Medias con letras distintas dentro de las columnas difieren significativamente entre si a ( $p < 0,05$ ), según prueba de rango múltiple de Duncan.

**ANEXO 23 Registro climático de evapotranspiración y precipitación mensual medidos en el CRI Remehue, Osorno, durante el periodo de ensayo.**

Mes	Precipitación mensual(mm)		Evaporación mensual (mm)		Balance hídrico (mm)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Enero	16,6	24,8	173,2	143,7	-156,6	-118,9
Febrero	41,5	16,9	157	110,9	-115,5	-94,0
Marzo	86,5	37,0	73,5	111,0	13,0	-74,0
Abril	113,4	86,3	38,9	53,2	74,5	33,1
Mayo	272,9	53,6	17,3	19,2	255,6	34,4
Junio	137,2	257,7	12,0	12,3	125,2	245,4
Julio	194,8	152,7	13,0	15,9	181,8	136,8
Agosto	248,5	99,7	21,7	32,0	226,8	67,7
Septiembre	126,1	173,5	33,7	41,0	92,4	132,5
Octubre	270,5	105,9	68,1	84,8	202,4	21,1
Noviembre	106,8	92,9	100,1	96,8	6,7	-3,9
Diciembre	53,2	59,6	141,2	126,1	-88,0	-66,5

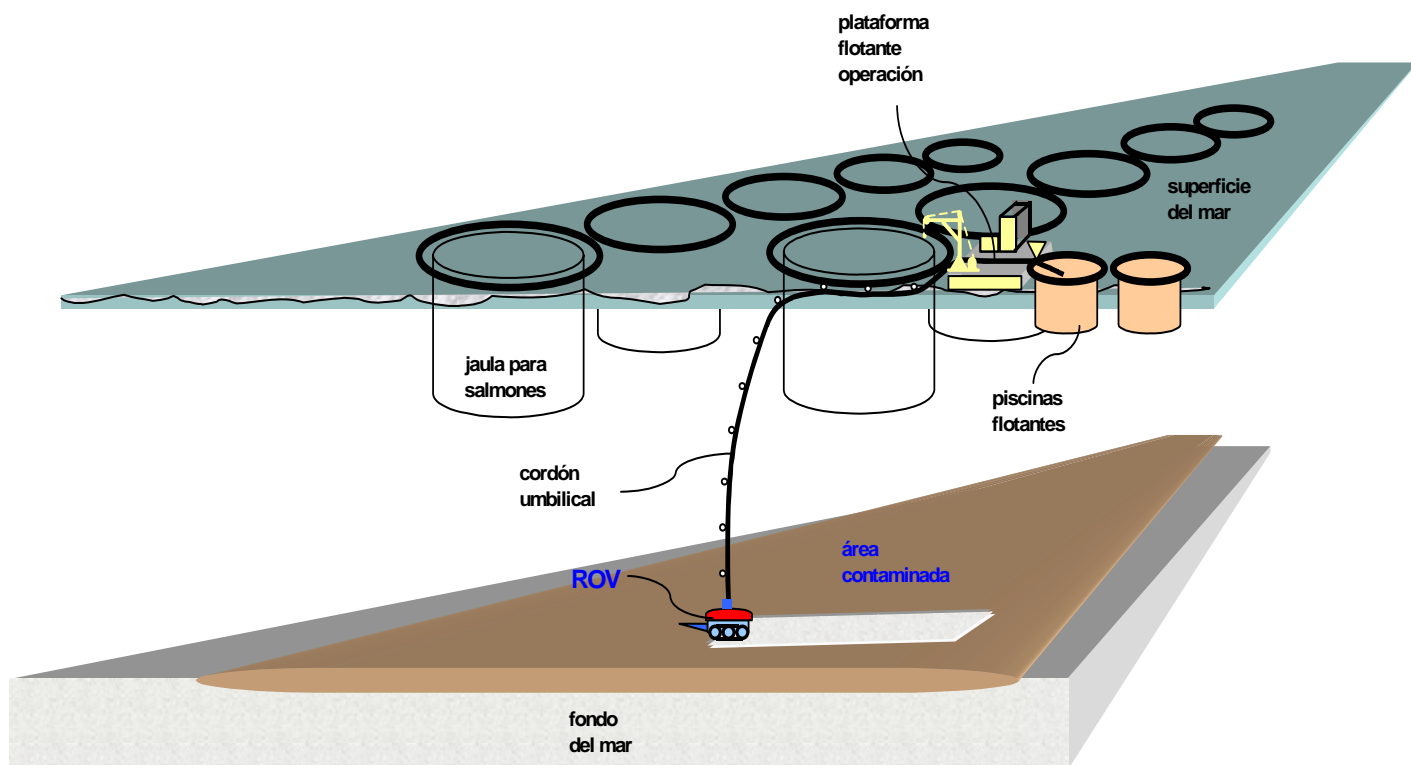
FUENTE: Estación Agrometeorológica CRI-Remehue, 2003. Osorno.

**ANEXO 24 Registro climático de temperatura media en cobertizo y en superficie medidos en CRI Remehue, durante el periodo de ensayo.**

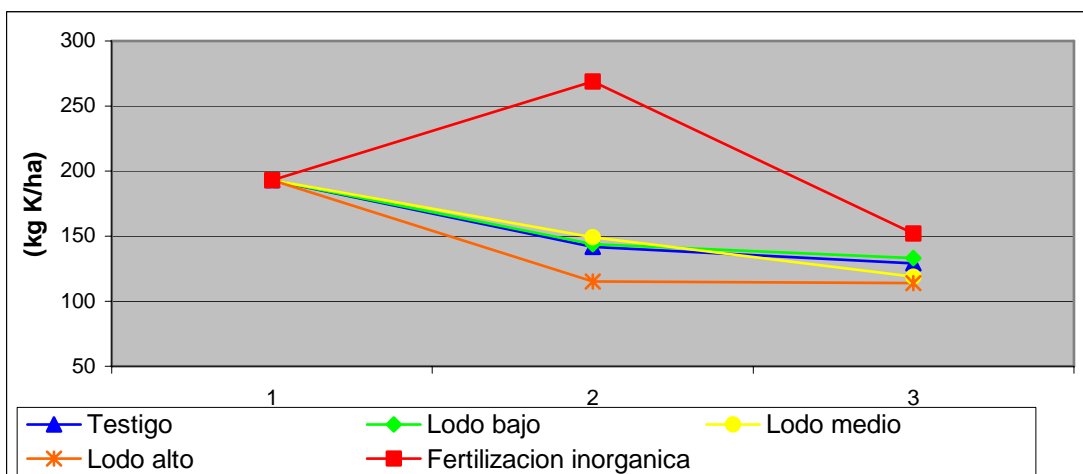
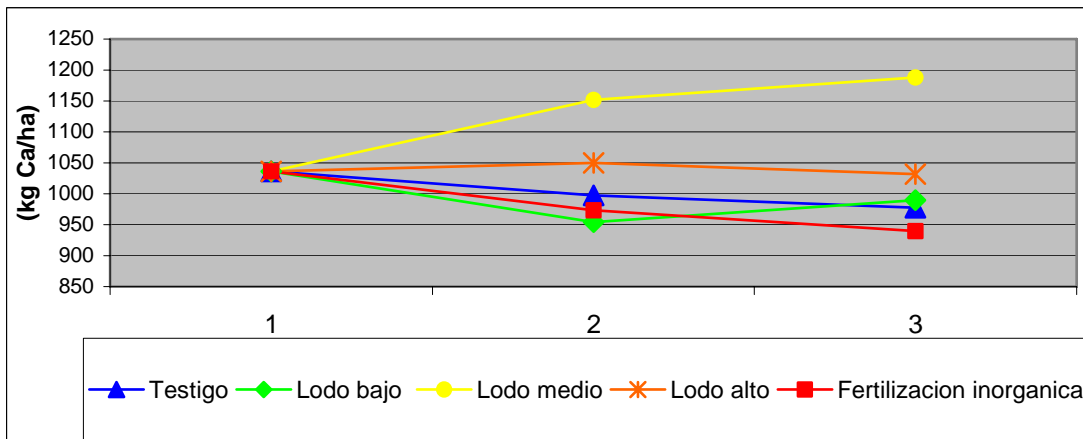
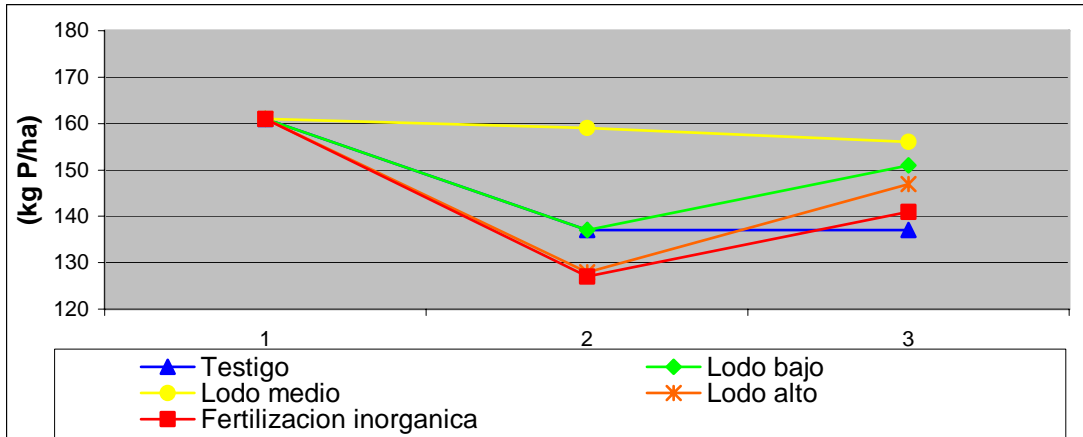
Mes	Temperatura media en cobertizo (°C)		Temperatura media en superficie (°C)	
	2002	2003	2002	2003
Enero	16,3	15,8	15,7	15,2
Febrero	16,9	14,5	16,9	13,9
Marzo	13,2	15,3	13,0	14,2
Abril	10,5	10,9	9,8	S/I
Mayo	9,8	9,9	9,2	S/I
Junio	6,4	9,2	5,6	7,9
Julio	7,4	7,1	6,9	6,7
Agosto	9,0	8,3	8,3	7,2
Septiembre	9,1	9,5	8,3	8,7
Octubre	10,3	11,4	9,6	10,6
Noviembre	12,5	13,3	12,0	13,1
Diciembre	14,8	12,8	13,8	12,5

FUENTE: Estación Agrometeorológica CRI-Remehue,2003. Osorno S/I: Sin información

## ANEXO 25 Extracción de lodos y funcionamiento del ROV.



**Anexo 26 Niveles promedio de fósforo, calcio y potasio en los distintos muestreos de suelo para los cinco tratamientos.**



**Anexo 27 Niveles promedio de magnesio, sodio y saturación de aluminio en los distintos muestreos de suelo para los cinco tratamientos.**

