

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

Evaluación de lodos de salmonicultura como fertilizante orgánico en pradera anual de ballica (*Lolium multiflorum* L.) en suelos trumaos

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

Carolina Alejandra Bustos Díaz

VALDIVIA-CHILE

2005

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.
Ing. Agr., M.Sc., Ph. D.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. Pinochet', written over a horizontal dashed line.

PROFESOR COPATROCINANTE:

Nolberto Teuber K.
Ing. Agr., Ph. D.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'N. Teuber', written over a horizontal dashed line.

PROFESOR INFORMANTE:

Francisco Salazar S.
Ing. Agr., Ph. D.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'F. Salazar', written over a horizontal dashed line.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a mis padres por su apoyo y comprensión. También quiero dar las gracias a mis profesores patrocinante, copatrocinante e informante que guiaron mi trabajo hasta su término y, a todas aquellas personas que colaboraron conmigo en la realización de este trabajo, principalmente al personal de INIA - Remehue quienes siempre me sorprendieron con su gran amabilidad.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Residuos orgánicos	3
2.2	Residuos orgánicos con uso fertilizante en agricultura	3
2.3	Beneficios atribuibles al uso de residuos orgánicos	6
2.4	Manejo de residuos orgánicos	8
2.5	Residuos orgánicos provenientes de la salmonicultura	9
2.6	Características de los residuos orgánicos, en forma de lodos, Provenientes de la salmonicultura	11
2.7	Problemas ambientales ocasionados por lodos de salmonicultura	13
2.8	Legislación para lodos de plantas de tratamiento en Chile	15
3	MATERIAL Y MÉTODO	18
3.1	Ubicación del ensayo	18
3.2	Tratamientos	18
3.2.1	Diseño experimental y análisis estadísticos	19
3.2.2	Colecta, almacenaje y tratamiento de lodos de salmonicultura	20

Capítulo		Página
3.2.3	Establecimiento del ensayo	22
3.2.4	Evaluación en el material vegetal	23
3.2.5	Análisis de suelo	24
4	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1	Caracterización de lodos de salmicultura	25
4.2	Producción de materia verde y porcentaje de materia seca en ballica	30
4.3	Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción de materia seca por corte en ballica	32
4.4	Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción acumulada de materia seca en ballica	35
4.5	Concentración de nutrientes en ballica	39
4.6	Efecto de la aplicación de lodo sobre la absorción de nutrientes en ballica	41
4.7	Características químicas iniciales del suelo	42
4.8	Características químicas finales del suelo en el ensayo con lodo de mar	43
4.9	Características químicas finales del suelo en el ensayo con lodo de lago	47
5	CONCLUSIONES	50

Capítulo		Página
6	RESUMEN	51
	SUMMARY	52
7	BIBLIOGRAFÍA	53
	ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Caracterización química de desechos de salmones	12
2	Concentración máxima de metales pesados en lodos de uso agrícola	16
3	Caracterización química de lodos	25
4	Caracterización química de lodos	25
5	Caracterización química de lodos	25
6	Producción de materia verde (kg/ha) y % MS a 60°C	31
7	Producción de materia seca por corte con la aplicación de distintas dosis de lodo de lago	32
8	Producción de materia seca por corte con la aplicación de distintas dosis de lodo de mar	33
9	Producción de materia seca acumulada en 6 cortes de ballica	35
10	Parámetros de la ecuación ajustada	37
11	Concentración de nutrientes en la planta	40
12	Absorción de nutrientes en ballica con la aplicación de distintas dosis de lodo	41
13	Análisis inicial de suelo	42
14	Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de mar	43

Cuadro	Página	
15	Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de mar	44
16	Análisis de suelo al término del ensayo us ando lodo de mar	44
17	Parámetros de la ecuación ajustada	46
18	Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago	47
19	Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago	48
20	Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Efecto de la dosis de lodo de lago sobre el rendimiento	38
2	Efecto de la dosis de lodo de mar sobre el rendimiento	38
3	Efecto de la aplicación de lodo sobre parámetros del suelo	47

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Evapotranspiración y precipitación mensual durante el ensayo	60
2	Temperatura media en cobertizo y en superficie durante el ensayo	60
3	Promedios históricos (últimos 27 años)	61
4	Análisis de lodos	62
	Continuación Anexo 4	63
5	Producción del 1 ^{er} corte (17-10-2002) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	64
6	Producción del 2 ^o corte (14-01-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	65
7	Producción del 3 ^{er} corte (17-02-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	66
8	Producción del 4 ^o corte (07-05-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	67
9	Producción del 5 ^o corte (23-09-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	68
10	Producción del 6 ^o corte (30-10-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	69

Anexo		Página
11	Composición botánica del 4 ^o corte a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago	70
12	Producción del 1 ^{er} corte (17-10-2002) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	71
13	Producción del 2 ^o corte (14-01-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	72
14	Producción del 3 ^{er} corte (17-02-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	73
15	Producción del 4 ^o corte (07-05-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	74
16	Producción del 5 ^o corte (23-09-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	75
17	Producción del 6 ^o corte (30-10-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	76
18	Composición botánica del 4 ^o corte a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar	77
19	Análisis Bromatológico	78
	Continuación Anexo 19	79
	Continuación Anexo 19	80
20	Análisis inicial de suelo (ensayo con lodo de lago)	81
21	Análisis inicial de suelo (ensayo con lodo de mar)	81

Anexo		Página
22	Análisis final de suelo (ensayo con lodo de lago)	82
	Continuación Anexo 22	83
23	Análisis final de suelo (ensayo con lodo de mar)	84
	Continuación Anexo 23	85
24	Concentración de nutrientes en la planta (Ensayo lodo de lago)	86
25	Concentración de nutrientes en la planta (Ensayo con lodo de mar)	87
26	Absorción de nutrientes en ballica (Ensayo de lago)	88
27	Absorción de nutrientes en ballica (Ensayo con mar)	89
28	Diseño del equipo colector automático (ROV)	90

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años el desarrollo de la industria acuícola, especialmente la crianza intensiva de salmónidos, ha tenido un auge en relación con otros rubros de la economía chilena. En Chile, la acuicultura representa un 56% de las exportaciones pesqueras del país, lo que ha permitido generar beneficios económicos y sociales significativos para Chile. El crecimiento de esta industria ha tenido diversos impactos, no solo en lo económico, sino también en lo social y en el medio ambiente, afectando a este último por la producción de residuos orgánicos, que genera la alta concentración de organismos en espacios reducidos.

Los problemas ambientales que está generando esta actividad atrae la atención no solo de ecologistas, sino también de los mismos productores salmoneros que ven amenazada sus futuras producciones, a causa del deterioro del medio ambiente acuático, donde se desarrollan estas especies.

La descarga de desechos desde las balsas jaula, constituidos, principalmente, por alimento no consumido y fecas, va directamente a la columna de agua, provocando una acumulación de sedimentos bajo éstas. Estos desechos se van descomponiendo por acción de microorganismos que allí habitan, teniendo como efecto problemas de eutroficación, acompañado de la disminución del oxígeno en el cuerpo de agua. Estas condiciones afectan directamente la vida marina, incluyendo a los salmones, que no pueden desarrollarse en una ambiente anóxico.

Para evitar el deterioro de la calidad del agua y el perjuicio que esto conlleva tanto para el medio ambiente acuático, como para el buen funcionamiento de la industria salmonera, se hace necesario la remoción de

estos sedimentos, acumulados bajo las jaulas en el fondo de mar y lagos, y su depositación en otro lugar.

Una alternativa de uso de estos residuos consiste en recolectar el sedimento e incorporarlo al suelo, ya que por sus características químicas posee nutrientes esenciales para las plantas como el nitrógeno y fósforo, siendo factible utilizarlo como fertilizante orgánico. Además, presenta contenidos de materia orgánica que permitiría mejorar las condiciones físicas de los suelos degradados.

Por otra parte, el uso de estos sedimentos orgánicos en la agricultura permitiría el ahorro de fertilizante inorgánico que actualmente alcanza un elevado precio en el mercado, dificultando su acceso a muchos agricultores.

El objetivo general de este trabajo es determinar la utilidad como abono orgánico en agricultura de lodos provenientes de salmonicultura.

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- Evaluar la respuesta productiva de ballica anual frente a lodos de distinto origen: lago y mar.
- Evaluar la respuesta productiva de ballica anual en distintos niveles de aplicación de lodo y su comparación con una dosis de fertilizante inorgánico.
- Evaluar el efecto residual de los lodos de salmón en el suelo.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Residuos orgánicos.

El término residuo, de acuerdo con la definición dada por la Real Academia de la Lengua, significa “lo que resulta de la descomposición o destrucción de un material”. Dicha denominación ha desplazado a la denominación “basuras” en los materiales orgánicos porque basura hace alusión a algo inútil e incluso, repugnante y despreciable, lo que hoy en día no es cierto, ya que uno de los aspectos importantes de la gestión sobre estos materiales orgánicos, es su aprovechamiento como recurso (GUAMAN, 1997).

2.2 Residuos orgánicos con uso fertilizante en agricultura.

Como fertilizante biológico se entiende que es una sustancia viable, es decir, debe ser un organismo vivo o un compuesto biológicamente activo. Actúa en simbiosis dentro o sobre los vegetales, debe tener un efecto nutritivo sobre las plantas y no solo como enmienda en el suelo. No solo debe incidir en la interacción planta-nutriente, si no también, debe beneficiar el cultivo indirectamente (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca S.A.G.Y.P., 1990, citado por NUÑEZ, 2000).

La utilización de residuos como fertilizantes orgánicos en la agricultura, se ha venido realizando desde la antigüedad, al utilizarse los residuos ganaderos para restituir la materia orgánica del suelo y así aumentar la capacidad de retención de los nutrientes. En un principio se apilaban los residuos generados (ganaderos, agrícolas y excrementos humanos) para que se descompusieran y así generar compost, que no siempre tenía las condiciones higiénicas adecuadas (COAG, 2003).

Los residuos orgánicos usados con este fin, pueden ser de origen animal como estiércol de bovino, de oveja, de gallina, de porcino, o de la producción de lodos de tratamiento de aguas, o compost producido por plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos a partir de la fracción orgánica de los mismos (COAG, 2003).

Dentro de las características químicas de interés cuando los residuos animales se usan como un fertilizante en el suelo, incluyen las concentraciones de macronutrientes y micronutrientes, como también la presencia de ciertas sustancias tóxicas como los metales pesados (Barrington 1991, citado por NAYLOR, 1999).

Dentro de los fertilizantes orgánicos cuyo origen son las deyecciones animales que se encuentran en la explotación agrícola, se tiene: estiércol, estiércol semilíquido y purines.

Los estiércoles están formados por una mezcla de la “cama” de los animales y sus deyecciones que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y, después, en el estercolero. Su composición es muy variable de acuerdo a la alimentación, cantidad de paja, características de la fermentación en el almacenamiento. Debido a ello las concentraciones de nutrientes de un estiércol a otro, pueden variar de 1 a 5 veces (RODRÍGUEZ, 1992).

Por su parte, el estiércol semilíquido es una mezcla de deyecciones sólidas y líquidas diluidas con distintas proporciones de agua utilizadas como transporte mecánico (RODRÍGUEZ, 1992). Dentro de esto, los purines son un líquido derivado de los orines principalmente, y de las aguas de lavado del estiércol o de una mezcla de ambos. El contenido de nutrientes puede variar considerablemente (5 a 10 veces) según la cantidad de agua utilizada en los lavados, agua de lluvia (RODRÍGUEZ, 1992).

La gran diferencia entre los productos orgánicos fertilizantes es el contenido de materia seca que, en el caso de los líquidos, no supera el 12 % y que en el estiércol varía de 35 a 80 % (RODRÍGUEZ, 1992).

Residuos orgánicos de origen vegetal como los residuos de cosecha, formados por hojas, tallos, raíces y otros órganos de la planta tanto aéreos como subterráneos, son desechos orgánicos que permanecen en el suelo después de la cosecha y que al ser incorporados al suelo aportan una determinada proporción de carbono combinado y nutrientes. De esta forma su acción es tanto sobre el estado nutricional como sobre las condiciones físicas del suelo (RODRÍGUEZ, 1992).

Algunos tipos de residuos orgánicos en forma de lodos, dependiendo de la composición química, pueden reciclarse para recuperar ciertos materiales presentes y utilizarlos como fertilizante para mejorar suelos, ya sea en forma cruda o después de algún tratamiento o aprovechar su contenido energético (CEPIS, 1999). Los lodos son una mezcla de residuos sólidos y agua resultante de los procesos de tratamiento de las aguas domésticas e industriales. Están constituidos por un 70% de materia orgánica, un 30% de materia inorgánica y entre un 5 y 15% de nutrientes necesarios para la nutrición vegetal (Cogger y Sullivan, 1992, citados por ESPARZA, 2004).

Los lodos orgánicos, generados por el tratamiento de las aguas servidas, tienen una menor patogenicidad, poder de fermentación y capacidad de atracción de insectos. Esto, unido a su capacidad de reciclar nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, hace que sean aptos para ser usados en suelos agrícolas y forestales (LIGNUM, 2003).

La aplicación de desechos orgánicos, en forma de lodos residuales, en suelos agrícolas, generalmente pobres en materia orgánica debido a su uso

intensivo, es quizás el destino más adecuado de estos lodos, ya que son principalmente orgánicos y contienen elementos nutritivos. Con esta práctica además de eliminar un residuo socialmente molesto, se mejora la estructura del suelo y se contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes inorgánicos (AYNETO, 1997).

2.3 Beneficios atribuibles al uso de residuos orgánicos.

La utilización de residuos orgánicos en agricultura como biorremediadores de suelo, permite tanto el reciclaje de residuos como el mejoramiento de la fertilidad del suelo (MAZZARINO *et al.*, 1998).

Los residuos orgánicos que se utilizan como fertilizantes, ejercen efectos sobre las propiedades agronómicas de los suelos y, en caso de adecuada utilización, elevan de manera importante la cosecha de los cultivos agrícolas. Éstos permiten el aumento del humus en los suelos, adquiriendo propiedades muy beneficiosas, tales como la mayor absorción de radiación, el incremento de la actividad microbiológica y el aporte de nutrientes (RODRÍGUEZ, 2002).

Los residuos orgánicos incrementan la materia orgánica del suelo y, consecuentemente, mejoran su estructura, la capacidad de almacenamiento de agua, la capacidad de intercambio catiónico, la actividad biológica e incrementan el P orgánico del suelo que representa una fuente importante de disponibilidad de este nutriente (McGill y Myers, 1987 citado por MAZZARINO *et al.*, 1997).

En un estudio de evaluación de la incorporación de residuos orgánicos vegetales, RIVERO (s/f) determinó que la incorporación de estos residuos produce cambios positivos en el suelo como el incremento del carbono orgánico, el nitrógeno total, y el fósforo y potasio disponibles. Estos cambios son dependientes de la calidad de los materiales orgánicos usados, especialmente de su relación C:N .

En países como EE.UU., Australia y Nueva Zelanda desde hace bastante tiempo se están empleando como abonos los lodos orgánicos generados por el tratamiento de aguas servidas. En este último país, muy similar a Chile en clima y silvicultura, esta forma de aportar nutrientes y materia orgánica se ha traducido en un aumento del volumen de los bosques de pino radiata de entre 3 y 5 m³/ha al año (LIGNUM, 2003).

Estos lodos, provenientes del tratamiento de aguas servidas, fueron aplicados, en un ensayo reportado por HUE (1995), en una dosis de 56 t/ha de lodos a un suelo Alfisol, produciéndose un efecto sobre las propiedades físicas de éste como la disminución de la densidad aparente de 1,28 a 1,19 g/cm³, se incrementó el peso de los agregados de diámetro medio del suelo de 0,59 a 1,49 mm y aumentó el espacio poroso en base volumen de 7,5 a 14,0%. Además de los cambios en las propiedades estructurales, las propiedades hidráulicas del suelo como la capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica, se incrementaron también con las adiciones de lodo al suelo.

En México también se están empleando lodos y desechos como fertilizantes en los bosques. Han obtenido buenos resultados, los que han aumentado al incorporar otras materias como estiércol, basura municipal y cierta cantidad de aguas negras. De esta manera se logra solucionar el problema de almacenamiento de estas sustancias y se aprovecha con un fin que llega a ser muy benéfico (Sibaja, 1999, citado por NUÑEZ, 2000).

En Argentina, MAZZARINO (1997) utilizó lodos provenientes de la acuicultura en un ensayo con ballica bajo condiciones de invernadero. Se establecieron tratamientos con distinta dosis de lodo, una fertilización mineral y un control. Los resultados reflejaron que la producción más alta de ballica se obtuvo con la aplicación de lodos en comparación con la fertilización mineral.

Además, el nivel de POs en residual en el suelo fue también mayor en los tratamientos con adición de estos lodos.

2.4 Manejo de residuos orgánicos.

La generación de residuos sólidos y líquidos es el resultado de los procesos productivos del ser humano, como son los residuos industriales y domésticos. El manejo de residuos orgánicos es complicado, incluyendo consideraciones de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final; además, depende de sistemas administrativos, normas legales, procesos técnicos y una necesaria base financiera (GUAMAN, 1997).

Se entiende por manejo de residuos sólidos al conjunto de operaciones encaminadas a dar a éstos un destino más adecuado desde el punto de vista ambiental y especialmente en la vertiente sanitaria, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costo de tratamiento, posibilidades de recuperación y de comercialización y directrices administrativas en este campo (GUAMAN, 1997).

CHICÓN (2003) describe las distintas alternativas barajadas para la gestión de los lodos procedentes del proceso de depuración de aguas residuales de origen urbano; como son la deposición en vertederos de residuos sólidos urbanos, incineración, bombeo de los lodos hasta niveles inferiores del suelo, vertido al mar, tratamiento de los lodos como mejoradores de suelo. Dentro de estas alternativas, esta última permite la valorización del residuo gracias a los nutrientes que contiene, a la vez que mejora las características del suelo, aunque su uso está limitado por el contenido de metales pesados. La incineración también permite el aprovechamiento de los lodos, pero este procedimiento presenta el inconveniente de requerir instalaciones que exigen una fuerte inversión económica y personal altamente especializado.

El anteproyecto de reglamento de Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA, 1999, para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas, establece que las unidades de tratamiento y disposición final de lodos deben diseñarse de manera que impidan la infiltración de líquidos hacia aguas subterráneas y el escurrimiento de aguas contaminadas hacia cursos o masas de aguas superficiales (CONAMA, 1999). El tratamiento de lodos no peligrosos debe realizarse en instalaciones especialmente diseñadas al efecto, las que deben contar con autorización de la autoridad competente. Estas instalaciones de tratamiento deben evitar la infiltración de los líquidos hacia las aguas subterráneas y el escurrimiento de aguas contaminadas hacia cursos o masas de aguas superficiales (CONAMA, 1999).

Con respecto al transporte de lodos, aquellos que no cumpla con los criterios para uso agrícola, con restricciones de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos, así como los lodos que presenten alto contenido de humedad (superior a 70%), deben ser transportados en contenedores herméticos (CONAMA, 1999).

2.5 Residuos orgánicos provenientes de la salmonicultura.

Con respecto a la industria de salmónidos, ZUNZUNEGUI (1990) señala que los desechos sólidos generados por esta actividad están compuestos principalmente por alimento no consumido y por partículas fecales, además de pequeñas cantidades de polvo provenientes del alimento, escamas, mucus, organismos indeseables que se desprenden desde las jaulas, redes y plataformas y otros detritos. La gran mayoría de estos componentes posee una densidad mayor a la del agua, por lo que tienden a irse al fondo del lago o mar. Los que no se depositan en el fondo quedan en forma de sólidos en suspensión afectando la calidad del agua.

La primera fuente de desechos sólidos lo constituye el alimento no consumido por los peces, la magnitud del monto del alimento no consumido varía considerablemente, ya que depende del tipo de alimento, método de alimentación, cantidad de alimento y otros factores ambientales y fisiológicos (Warrer-Hansen, 1982, citado por ZUNZUNEGUI, 1990). Las fecas de peces son la segunda fuente de desechos sólidos. Estimaciones realizadas en laboratorio indican que un 25 al 30% de materia seca consumida por éstos es expulsada del medio en forma de fecas (Butz, 1982 citado por ZUNZUNEGUI, 1990).

En el cultivo intensivo de salmones, la descarga de desechos, aporta notablemente una carga de materia orgánica y nutrientes al cuerpo de agua, dentro de los cuales los nutrientes de mayor incidencia son el fósforo (P) y nitrógeno (N), los cuales son constituyentes importantes de la dieta de las especies salmonídeas (RODRÍGUEZ, 1993). La composición del alimento de estos peces, comprende proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas y fósforo, cuyos porcentajes varían de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los individuos a cultivar, la especie y la etapa de desarrollo en que se encuentren (RODRÍGUEZ, 1993).

Enell (1987) citado por PINOCHET *et al.*, (2001), determinó que del 100% del nitrógeno contenido en el alimento de salmónidos, el 25% se recupera a través de la producción de peces, mientras que el 17% queda en el ambiente como desecho sólido y el 58% en forma disuelta.

Este mismo autor determinó para la trucha arcoiris, que del 100% del fósforo contenido en el alimento, el 15% es utilizado en la producción de peces, mientras que del 85% restante, el 25% es liberado como desecho soluble y el 60% es descargado como desecho sólido (RODRÍGUEZ, 1993).

2.6 Características de los residuos orgánicos, en forma de lodos, provenientes de la salmonicultura.

El interés principal de un residuo, dado su uso final como fertilizante en agricultura, es su composición de macronutrientes. Los residuos de peces contienen cantidades moderadas de nutrientes esenciales para las plantas (Olson 1992, citado por NAYLOR, 1999). Éstos tienden a ser variables en su composición química, lo cual es también el caso de otros residuos animales. Además, existen limitaciones en el uso de residuos de peces en agricultura, debido al mal olor, a la gran cantidad requerida y a los problemas de encostramiento de la capa superficial del suelo con su aplicación (OLSON *et al.*, 1992).

La composición química y física de los residuos de salmones, 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).

RODRÍGUEZ (1993) señala que la concentración de nutrientes en el lodo de salmones, varía según el tiempo de permanencia del sedimento bajo las jaulas. Por su parte, WESTERMAN (1993) encontró que los residuos de salmones que han sido acumulados durante 9 meses tienen un nivel más bajo de N, P y Ca, pero contienen más cenizas que los residuos frescos (de menos de dos semanas de almacenamiento).

NAYLOR (1999) determinó que los residuos frescos de peces tienen niveles similares de N, P, Ca y Mg, y un bajo nivel de K al ser comparados con residuos de vacuno, ganado lechero, aves de corral y cerdos. Los residuos de peces tienen un contenido más alto de Mn, Cd, Cr, Pb, Fe y Zn que la mayoría de los otros residuos animales, pero tienen un bajo nivel de As, Se, Co y Ni. Los

resultados obtenidos por este autor, indican que los residuos frescos de peces son similares en su composición química que otros residuos animales.

En el Cuadro 1 se presenta el resultado de los análisis químicos de desechos orgánicos de salmicultura realizados por los siguientes autores:

CUADRO1 Caracterización química de desechos de salmones.

Parámetro	Pinochet <i>et al.</i> (2001)	Pinochet <i>et al.</i> (2004)	Mazzarino (1997)
Materia seca (g/100g)	13,4	21,4	*
N total (g N/100g)	0,7	0,7	0,3
P total (g P/100g)	3,3	1,4	1,6
K total (g K/100g)	0,03	*	0,76
C orgánico (g C/100g)	11,9	8,8	3,9
pH	5,3	6,6	6,0
Relación C/N	17	*	13

* no determinado

PINOCHET *et al.* (2001) obtuvo un nivel superior en la concentración de P en comparación a la concentración de N y K. De hecho, la concentración de K en el residuo es casi insignificante. PINOCHET *et al.* (2004) al caracterizar lodo de salmicultura, encontró también que la concentración de P superaba a la de los otros macronutrientes. Estos residuos contienen un bajo contenido de carbono orgánico, sobre todo en los residuos analizados por MAZZARINO (1997), que solo tienen un 3,9% C, valor que representa aproximadamente un tercio del valor para carbono reportado por PINOCHET *et al.* (2001). Por otra parte, el pH del lodo es ligeramente ácido, sobre todo en los lodos caracterizados por PINOCHET *et al.* (2001). El contenido de materia seca es muy variable entre los lodos, y el porcentaje más alto fue determinado por PINOCHET *et al.* (2004).

2.7 Problemas ambientales ocasionados por lodos de salmonicultura.

Uno de los elementos más determinantes del éxito de la salmonicultura tanto en su realización efectiva como en sus campañas comerciales, se relaciona con la calidad de las aguas chilenas tanto de lagos, ríos, fiordos y mares en general. Sin embargo, esta actividad significa en todos los casos conocidos, adiciones de materia alóctona al ambiente acuático, principalmente materia orgánica. Esta materia orgánica puede acumularse produciendo efectos locales y globales generando o acelerando un proceso de eutroficación y de disminución de la biodiversidad en el fondo (CAMPOS, 1995).

Severos impactos físicos, químicos, biológicos y paisajísticos está provocando la industria acuícola en el sur de Chile. Desde sus inicios, la industria salmonera ha registrado un aumento en el uso de antibióticos para prevenir enfermedades que al ser administrados llegan no solo a los peces enfermos sino que también a los sanos, creando resistencia a futuros medicamentos para atacar las enfermedades. La amenaza de contagio de enfermedades foráneas aumenta con el incremento de la importación de ovas y la utilización de subproductos del salmón como insumo alimenticio para otros animales (CLAUDE y OPORTO, 2000).

Los desechos fecales de los peces más el alimento que no consumen producen una gran cantidad de nutrientes, especialmente N y P, que se deposita en el ecosistema acuático. Entre un 70 a un 80% del nitrógeno queda disuelto en la columna de agua, además del fósforo que se deposita en el fondo de las cuencas. La presencia de estos nutrientes genera un proceso de eutroficación, lo que posibilita disminuciones de los niveles de oxígeno y de la biodiversidad propia del lugar (Beveridge, 1996 citado por TERRAM, 2002).

La generación de residuos, por ineficiencia en el uso de los recursos, es de gran preocupación porque afecta directamente al recurso agua, elemento

base para la vida, acelerando el proceso de eutroficación de las mismas. Los desechos generados por esta industria y no reutilizados, se acumulan bajo las jaulas y en el fondo de mar o lagos, bajando los niveles de oxígeno y produciendo gases tóxicos durante su descomposición, lo que en conjunto constituye una amenaza a la biodiversidad del lugar (CLAUDE y OPORTO, 2000).

Los cultivos de peces y en especial, los sistemas de jaulas, pueden afectar las masas de agua tanto por la presencia física en el lugar como por los cambios en las características físicas, químicas y biológicas del agua (ZUNZUNEGUI, 1990).

Según Warrer-Hansen (1982) citado por ZUNZUNEGUI (1990), los trastornos que causa la salmonicultura son principalmente:

- aumento de la materia orgánica en el sistema;
- deposición de sólidos en el fondo;
- enriquecimiento nutricional del cuerpo de agua;
- cambio en las poblaciones de flora y fauna del fondo;
- aumento en el crecimiento de algas y fitoplankton;
- disminución de los niveles de oxígeno en el agua;
- aparición de malos olores y gusto del agua;
- presencia de bacterias y parásitos patogénicos y
- presencia de químicos y droga en el cuerpo de agua

Cabe destacar que los mismos peces son los indicadores más sensibles del deterioro causado en el cuerpo de agua y reflejarán esta situación en la disminución del apetito, daño en las agallas, reducción de la resistencia a enfermedades y aumentos en la mortalidad (ZUNZUNEGUI, 1990).

Existe una preocupación creciente en la comunidad en relación con la utilización de la zona costera. Los principales problemas que se visualizan tienen que ver con la calidad del agua, las amenazas a la biodiversidad y la multiplicación de conflictos que se generan entre los distintos usuarios del borde costero, en particular la industria del transporte marítimo, del turismo y de la acuicultura, incluida la salmonicultura (CLAUDE y OPORTO, 2000).

Los desechos orgánicos urbanos y/o industriales tienen el mismo potencial de eutroficación de las aguas que los producidos por el cultivo de peces. Dado que la producción de salmónidos ha aumentado significativamente después del año 1994 hasta alcanzar las 342 mil toneladas en el 2002, la producción de desechos por parte de la acuicultura es equivalente a los desechos orgánicos no tratados de una población de entre 3 a 4,5 millones de habitantes (Beveridge, 1996 citado por TERRAM, 2002).

2.8 Legislación para lodos de plantas de tratamiento en Chile.

La operación de plantas de tratamiento de agua potable, aguas servidas y residuos industriales líquidos genera gran cantidad de lodos. Para prevenir eventuales impactos negativos en el medio ambiente, que pueden provocar, es necesario establecer las condiciones para su correcto tratamiento y disposición.

En Chile no existe una legislación relacionada con el uso de lodos en agricultura. Hasta el momento solo ha sido aprobado el anteproyecto de un reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. Este reglamento establece las condiciones técnicas de operación, monitoreo y seguimiento de lodos destinados a uso agrícola, con el fin de evitar efectos nocivos a la salud de la población, flora, fauna y suelo considerando las características de los lodos, las características de los sitios de aplicación y los criterios para la aplicación.

En agricultura sólo pueden ser utilizados lodos estabilizados e higienizados, provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas, incluyendo fosas sépticas o de plantas de tratamiento de residuos industriales líquidos.

La presencia de metales pesados en los lodos hace necesario establecer criterios de calidad y normas de aplicación que deben cumplir estos residuos para poder ser utilizados como abonos orgánicos minerales, sin causar problemas de contaminación en los suelos, cultivos y aguas (AYNETO, 1997).

La aplicación de lodos en suelos de uso agrícola, forestal o en jardines, está prohibida cuando los análisis indican que los contenidos totales de metales pesados sobrepasan cualquiera de las concentraciones máximas (concentraciones expresadas como contenidos totales) que son señaladas en el Cuadro 2.

CUADRO 2 Concentración máxima de metales pesados en lodos de uso agrícola.

Metales pesados	Concentración máxima en mg/kg de lodo (base seca)
Arsénico	40
Cadmio	40
Cobre	1.500
Mercurio	20
Níquel	420
Plomo	300
Selenio	100
Zinc	2.800

FUENTE: CONAMA, (1999).

Para la aplicación de lodos se consideran los siguientes tipos de uso de suelo: Suelos de uso agrícola y/o forestal, incluyendo suelos erosionados con potencial de uso agrícola inmediato; suelos dedicados a áreas verdes,

recreacionales, parques, jardines, cementerios ; suelos degradados sin potencial de uso agrícola inmediato.

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 lodos como en el suelo receptor (CONAMA, 1999).

Según CONAMA (1999), la tasa máxima de aplicación de lodo al suelo en base seca para suelos agrícolas y forestales, corresponde a 15 t/ha/año. Para suelos degradados sin posibilidad de uso agrícola inmediato (recuperación de cárcavas para generar capa vegetal o para estabilizar estructuras riesgosas), la tasa máxima de aplicación de lodo es de 30 t/ha/año. En cambio, para jardines, césped y áreas verdes esta tasa es mucho más baja y corresponde a 2 t/ha/año de lodo.

3 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Ubicación del ensayo.

El estudio se realizó entre octubre de 2002 y octubre de 2003, en el predio del Sr. Andrés Scholz, colindante por el norte con el Centro Regional de Información (CRI) INIA-Remehue (40° 35' S, 73° 08' O). El sitio del ensayo se encuentra ubicado a 73 msnm y el suelo pertenece a la serie Osorno (medial, mesic, Typic Dystrandept), que se caracteriza por ser un suelo derivado de cenizas volcánicas y por presentar una topografía ondulada con pendientes complejas de 2 a 5% (TOSSO, 1985).

Las condiciones climáticas durante el período de evaluación del ensayo, medidas en CRI Remehue, se encuentran resumidas en los Anexos 1 y 2. En el Anexo 3 se encuentra el promedio de precipitación, evapotranspiración y temperatura media de cobertura de los últimos 27 años, permitiendo comparar estos datos con los de precipitación y evapotranspiración del periodo del ensayo.

3.2 Tratamientos.

Se realizaron dos ensayos independientes en el mismo sitio utilizando lodos de distinto origen: mar y lago.

Ensayo 1. Lodo de mar (LM) en ballica anual cv. Sabalan

Ensayo 2. Lodo de lago (LL) en ballica anual cv. Sabalan

En cada ensayo se establecieron cinco tratamientos, que se describen a continuación:

Tratamiento 1 (T1): Testigo, sin aplicación de lodo

Tratamiento 2 (T2): Aplicación de 30 t/ha lodo de salmonicultura

Tratamiento 3 (T3): Aplicación de 60 t/ha lodo de salmonicultura

Tratamiento 4 (T4): Aplicación de 90 t/ha lodo de salmonicultura

Tratamiento 5 (T5): Fertilización mineral: 37 kg N/ha; 164 kg P₂O₅/ha y 80 kg K₂O kg/ha, usando los fertilizantes Supernitro, Superfosfato triple y Muriato de Potasio.

Cada tratamiento fue establecido en una parcela con una superficie de 9 m² (3 m x 3 m), con una separación de 0,5 m entre parcelas y una separación de 1 m entre bloques. Entre ambos ensayos existió una separación de 2 m.

3.2.1 Diseño experimental y análisis estadísticos. El ensayo fue diseñado en bloques completos al azar. Los resultados obtenidos desde las variables evaluadas fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANDEVA). En los casos en que existió diferencia significativa entre los promedios de los tratamientos se procedió a diferenciarlos por medio de la prueba de diferencia de medias de Tukey (al 5% de significancia). Los grupos de datos que no cumplieron con los supuestos de aleatoriedad, normalidad del error y homogeneidad de varianzas, que exige este tipo de análisis, fueron transformados mediante alguna de las ecuaciones pertinentes. Si aun así, los datos no cumplen los requisitos para realizar el análisis de varianza, se les realiza la prueba no paramétrica de diferencia de medias de Kruskal–Wallis (SIEGEL, 1956; SOKAL y ROHLF, 1979).

Se realizaron análisis de variancia y prueba de diferenciación de promedios en ambos ensayos a la producción de materia seca por corte y a la producción de materia seca acumulada, a la producción de materia verde acumulada y al porcentaje de materia seca a 60°C, a la concentración de nutrientes en la planta determinada por los análisis bromatológicos, a la

absorción de nutrientes y a los parámetros entregados por el análisis de suelo final del ensayo de lago y mar. Además, se hizo una comparación estadística de las características químicas entre ambos lodos.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico computacional Statgraphics Plus versión 2.0.

Para las variables dosis de lodo (t/ha) y producción de materia seca (kg/ha) se hizo un análisis de regresión no lineal con el programa computacional GraphPad Prism versión 4.0. Para los parámetros P, Mg, Na, pH en agua, pH en cloruro de calcio y porcentaje de saturación de Al, se hizo análisis de regresión con el programa computacional GraphPad Prism versión 4.0.

3.2.2 Colecta, almacenaje y tratamiento de lodos de salmonicultura. Los lodos utilizados, se colectaron desde centros de crianza intensiva de salmones. El lodo de mar fue extraído en la localidad de Chinquihue a 40 m de profundidad y el lodo de lago se extrajo desde el lago Llanquihue a 8-10 m de profundidad. Ambos, fueron colectados mediante buceo con un equipo colector automático, que bombea el lodo hasta la superficie, el cual es mostrado en el Anexo 28.

Este material fue depositado en estanques de plástico a temperatura ambiente y cubiertos con una malla Rachel para proporcionarle sombra.

Antes de la utilización del lodo en terreno, se homogenizó y se extrajo las muestras (3 litros aproximadamente) por cada bloque y en ambos ensayos, para realizar los análisis químicos y físicos del material aplicado. Los análisis químicos y físicos realizados en el laboratorio INIA-Remehue, de acuerdo a SADZAWKA *et al.* (2004), fueron los siguientes:

Materia seca (%): Se determinó secando la muestra de lodo a 105°C por 24 horas hasta llegar a peso constante.

Cenizas (%): La muestra de lodo seca se calcina en una mufla a 550 °C por 6 horas.

Materia orgánica (%): Se obtiene por diferencia con respecto a las cenizas (100 – cenizas).

Nitrógeno total (%): Se realiza con muestra fresca por el método Kjeldhal.

N-NH₄ : Se extrae con solución de KCl 2N y al destilado se le agrega previamente MgO .

Acidez (pH): Medición potenciométrica (pH) en agua

Fósforo total (%P): Se digiere la muestra calcinada en HCL 2N y se determina por colorimetría con molibdato de amonio.

Calcio total (%Ca), Magnesio total (%Mg), Sodio total (%Na), Potasio (%K): En el filtrado, proveniente de una calcinación a 550 °C de la muestra seca y molida cuyas cenizas se disuelven en HCl diluido, se determina la concentración de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno y agregando lantano para minimizar las interferencias. El Na y K se determina por espectrofotometría de absorción atómica.

Zinc (%Zn), Hierro (%Fe), Manganeso (%Mn) y Cobre (%Cu): En el filtrado proveniente de una calcinación a 500°C, las cenizas de la muestra seca y molida son disueltas en HCl diluido, y se determina la concentración de Cu, Fe, Mn y Zn por espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno.

Aluminio (%Al): En el filtrado proveniente de la calcinación a 500 °C, se determina la concentración de Al por espectrofotometría de absorción atómica con llama de óxido nitroso-acetileno en las cenizas disueltas en HCl diluido.

C orgánico (%C): Se obtiene dividiendo el % de materia orgánica por el factor 1,8 (SADZAWKA, 1990).

Densidad aparente (g/cm³): Se determina por gravimetría pesando un volumen de 5 mL.

3.2.3 Establecimiento del ensayo. El sitio del ensayo tenía previo a su preparación, una pradera permanente degradada. Se colectaron muestras de suelo en el lugar previo a la preparación de suelo y establecimiento del ensayo, desde 0-20 cm de profundidad.

La preparación de suelo se realizó el 20 de septiembre de 2002 en forma convencional. Consistió en dos pasadas de arado de vertedera y posteriormente dos pasadas de rastra off-set. El 23 de septiembre, se complementó la preparación del suelo con tres pasadas con rotovator Bertolini y para la preparación de la cama de semillas, se pasó dos veces más el rotovator.

En ambos ensayos, los lodos se aplicaron el 16 de octubre según la dosis por tratamiento en cada repetición e incorporándose entre 0 y 15 cm de profundidad, mediante una pasada de rotovator.

La siembra se realizó el 21 de octubre utilizando una dosis de semilla de ballica anual (*Lolium multiflorum* L) cv. Sabalan de 35 kg/ha, las que fueron previamente evaluadas en su germinación considerando 100 semillas (13 de septiembre), obteniéndose un 93% de germinación. Luego, se desinfectaron con fungicida Caboxin + Tiram (Vitavax Flo) en dosis de 150 cm³/100 kg semilla del producto comercial.

Al momento de la siembra se pasó rodón y luego se sembró con ayuda de una sembradora-regeneradora Connor Shea. Al término de la siembra se volvió a pasar rodón. El 29 de noviembre se controló malezas en los ensayos, aplicando herbicida Ácido 2,4-Diclorofeniancético y ester butoxietílico (Esteron Ten Ten) en dosis de 1 L/ha de producto comercial con Fluroxipir (Starane) en dosis de 0,8 L/ha de producto comercial y 50 cm³/ha de adherente Citowet en 200 L/ha de agua.

3.2.4 Evaluación en el material vegetal. Se realizaron 6 cortes a la pradera, en cada parcela, con una barra segadora Gravely y se dejó un residuo de 5 cm de altura. Cada corte se realizó a través de dos pasadas de la barra segadora en sentido contrario a la siembra. La superficie muestreada en cada corte fue de 6 m². La producción de materia seca (kg/ha), la producción de materia verde (g/6m²) y el porcentaje de materia seca (a 60 °C) en cada uno de los cortes y en ambos ensayos, son señalados en los Anexos 5 al 17.

El primer corte fue realizado el 17 de diciembre de 2002, el segundo, el 14 de enero del 2003, el tercer corte se realizó el 17 de febrero, el cuarto corte el 7 de mayo, el quinto corte el 23 de septiembre y el sexto y último corte el 30 de octubre de 2003. Después de realizado cada corte, se recolectó 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.

Se registró el peso fresco por tratamiento y repetición a través del peso de las bolsas que contenían la ballica cosechada. De éstas, se tomaron 2 muestras de 200 g que fueron llevadas a un horno a 60 °C por 48 horas para determinar el porcentaje de materia seca (%MS) a esta temperatura y así poder calcular la producción de MS/ha. Luego se tomaron submuestras de 2 g de material molido (de los 200 g secados a 60 °C) y puestos en un horno a 105 °C para las determinaciones bromatológicas en cada tratamiento y repetición. Adicionalmente, en el cuarto corte a la pradera, se tomó una muestra en verde de 50 g de material vegetal en cada tratamiento y repetición en los dos ensayos, para determinar la composición botánica (Anexo 11 y 18). En este corte, se separó el material muerto del vivo y se obtuvo separadamente el peso seco.

Al 1º y 2º corte de ballica se le realizaron análisis bromatológicos por separado, es decir, para cada corte, en todos sus tratamientos con sus 4 repeticiones. En los cortes restantes se hizo una sola mezcla del material cosechado, y sobre ésta se realizó el análisis bromatológico para cada tratamiento con sus 4 repeticiones.

Los análisis bromatológicos permitieron determinar el contenido de N (%), P (%), K (%) y Na (%). Además, se determinó el contenido de materia seca (%) y de cenizas (%). Se calculó el porcentaje de proteína de la muestra multiplicando el % de N por el factor 6,25 (BATEMAN, 1970). Los resultados de estos análisis, en detalle, se señalan en el Anexo 19.

La producción obtenida en cada tratamiento y repetición, para la producción de materia verde y materia seca, fue expresada en kg/ha.

3.2.5 Análisis de suelo. Previo al establecimiento de los ensayos, se tomaron muestras de suelo de 0-20 cm de profundidad, una por cada bloque y en ambos ensayos para el análisis de suelo. Para el análisis final de suelo, las muestras fueron tomadas a la misma profundidad, pero una por cada tratamiento y repetición.

El efecto residual en el suelo producido por la aplicación de lodos se evalúa comparando a través de un análisis químico de disponibilidad de nutrientes en el suelo, los tratamientos con aplicación de lodo con el tratamiento testigo y las diferencias entre el valor inicial (antes del establecimiento de los ensayos) y final de suelo (al término del período de evaluación del ensayo).

4 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de lodos de salmonicultura.

Los resultados del análisis químico y la caracterización de los lodos de salmón provenientes de lago y mar se indican en los Cuadros 3, 4 y 5. Los valores a continuación señalados, corresponden al promedio de las cuatro repeticiones, que se presentan en el Anexo 4.

CUADRO 3 Caracterización química de lodos.

	MS g/100g	Cenizas g/100g	MO g/100g	C g/100g	Relación C/N	pH
Lodo de mar	15,8 a	85,3 a	14,7 a	8,2 a	9,8 a	7,8 a
Lodo de lago	11,4 b	77,9 b	22,2 b	12,3 b	7,4 b	7,1 b

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

CUADRO 4 Caracterización química de lodos.

	N g/100g	P g/100g	K cmol(+)/kg	Ca cmol(+)/kg	Mg cmol(+)/kg	Na cmol(+)/kg
Lodo de mar	0,82 a	1,6 a	9,94 a	214,25 a	50,31 a	219,46 a
Lodo de lago	1,66 b	0,8 b	1,60 b	137,88 b	15,21 b	6,52 b

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

CUADRO 5 Caracterización química de lodos.

	N-NH ₄ mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe g/100g	Cu mg/kg	Al g/100g
Lodo de mar	507 a	172 a	280 a	1,7 a	105 a	2,7 a
Lodo de lago	6217 b	299 b	331 b	2,5 b	40 b	3,7 b

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

En cada uno de los parámetros analizados existen diferencias estadísticas, por lo tanto, la composición química de los lodos es distinta. Las diferencias entre las concentraciones de los nutrientes contenidos en el lodo, podría deberse a la composición de la dieta de los salmones que varía según los estados fenológicos de crecimiento del pez (RODRÍGUEZ, 1993).

La composición del lodo de mar es más rica en P, teniendo un 50% más que el lodo de lago. También la concentración de Ca es superior en el lodo de mar que en el de lago, siendo prácticamente el doble. La concentración de Na en el lodo de lago es de apenas un 3% del contenido de Na del lodo de mar, y en el caso del K, la concentración de éste en el lodo de lago, es inferior llegando sólo a un 16% del contenido total de K del lodo de mar. Pero el N total y la concentración de Al fue superior en el lodo de lago.

PINOCHET *et al.* (2004), al caracterizar químicamente lodos de salmonicultura provenientes de mar y de lago, encontró que el contenido de N total fue de 0,8 % y 0,7% respectivamente. El valor para N en lodo de mar coincide con la concentración de N del lodo de mar del presente estudio, pero el N en el lodo de lago es menos de la mitad.

Los lodos de salmón presentan bajo contenido de materia seca, muy inferior si se le compara con otro fertilizante orgánico con uso en agricultura como el guano de gallina, que posee 38,4 % de materia seca, valor que representa más del doble de concentración que los lodos de salmón (PINOCHET *et al.*, 2001).

El contenido de fósforo (P) en el lodo de mar es mayor en comparación con los otros macronutrientes (Cuadro 4), debido, tal vez, a que este elemento presenta un mayor porcentaje de fracción sólida, lo que significa que solo una pequeña parte de él será disuelta por el agua, el resto queda como sólidos en suspensión o decanta incorporándose al sedimento (RODRÍGUEZ, 1993).

La concentración de P en el lodo de mar es igual a la encontrada por MAZZARINO (1997) en lodos de 3 años de permanencia provenientes de la acuicultura. Sin embargo, en lodos que tenían 8 años de permanencia bajo las balsas jaulas, este autor encontró una concentración de 10,7 % de P, valor que

es más de seis veces mayor a la concentración de P en lodo de mar reportado en este estudio. PINOCHET *et al.* (2001) obtuvo niveles superiores en la concentración de P en lodo de lago (3,3 %P) que es el doble de la concentración de P más alta encontrada para los lodos analizados en el presente estudio y que corresponde al P del lodo de mar.

Por su parte, PINOCHET *et al.* (2004), señala que el P total para el lodo de mar es de 3,2 % y 1,4 % para lodo de lago. Estos valores duplican al contenido de P encontrado en ese estudio para los dos tipos de lodo utilizados.

Si se comparan estos valores con otro fertilizante orgánico como el guano de gallina, que posee un contenido de P total de 1,4% (PINOCHET, 2004) se puede ver que el lodo de mar es más rico en P, pero el guano de gallina tiene una concentración más alta de este elemento comparado con el lodo de lago. La concentración de N en el guano también es mayor a la de los lodos (1,9% N), llegando a ser un poco más del doble de concentración de N que tiene el lodo de mar.

En relación al nitrógeno (N), Phillips y Beverige (1996); Enell y Löf (1987); Campos *et al.* citados por RODRÍGUEZ (1993), señalan que el N total liberado está compuesto por una fracción soluble equivalente al 80%, y una fracción sólida que constituye el 20% restante. Esta afirmación explicaría la menor concentración de este nutriente en los dos tipos de lodos, ya que en su mayoría se habría perdido disuelto en el medio. Sin embargo, NAYLOR (1999) en un estudio sobre caracterización química de residuos de trucha arcoiris en Ontario, Canadá; obtuvo valores de nitrógeno en base peso seco de 2,83% que es más que el doble del nivel más alto de N encontrado en los lodos y que corresponde a los lodos de lago (Cuadro 4). La diferencia puede estar dada por el tiempo de permanencia del residuo bajo la jaula que en el caso del trabajo de

este autor, la extracción del residuo se hizo dentro de las 24 horas posteriores a su deposición.

Los valores de N reportados por PINOCHET *et al.* (2001) en la caracterización de lodos de salmonicultura provenientes del lago Natri, son inferiores (0,7 %N) a lo que refleja el análisis químico para los lodos de mar y lago.

Del N total incorporado a través del lodo, solo una proporción muy pequeña se encuentra como N mineral (NH_4), la mayor parte de N es principalmente orgánico, lo que concuerda con MAZZARINO (1998) y PINOCHET *et al.* (2001) que dicen que los residuos de peces tienen una baja tasa de mineralización desde el N orgánico.

Es posible que las concentraciones de N y K sean similares a la de P en el momento de su deposición y que más tarde se diluyan lo que explicaría su baja concentración. De hecho, los alimentos suministrados a los peces presentan un contenido de N superior al contenido de P, con 80 g/kg de N y 15 g/kg de P en alimentos secos (Hakanson, 1988 citado por ZUNZUNEGUI, 1990).

La concentración de potasio (K) en ambos lodos es muy baja por tratarse de un elemento que se encuentra en compuestos solubles y que no forma complejos orgánicos. Además, puede que la dieta de los salmones no esté enriquecida con este nutriente (Heen *et al.*, 1990, citado por PINOCHET *et al.*, 2001). La concentración de K en el lodo, reportado por este autor, es menor (0,76 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$) a la concentración de K de este estudio tanto en lodos de mar como de lago.

El contenido de calcio (Ca) y de sodio (Na) en lodos, en general es alto, principalmente en el lodo de mar (Cuadro 4). Esto podría deberse a la alta concentración de sales de sodio que poseen las aguas marinas y a la descomposición de organismos marinos cuyos esqueletos contienen carbonato de calcio. Sin embargo, el Ca se encuentra muy por debajo de lo reportado por NAYLOR (1999), quien en desechos de salmonicultura obtuvo una concentración de 6,99 % de Ca ($350 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$) en base peso seco. Pero su concentración es superior a la encontrada por MAZZARINO (1997) quien obtuvo valores en la concentración de Ca inferiores ($85,5 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$).

El contenido de Mg del lodo de mar es mucho más alto que el contenido de Mg encontrado por MAZZARINO (1997) en lodos de 3 años de permanencia bajo las balsas jaulas que fue de $6,3 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$.

La relación C/N de estos lodos es más baja a la encontrada por PINOCHET *et al.* (2001) quien reportó una relación C/N de 17 para lodos de salmonicultura.

La elevada concentración de aluminio (Al), tanto en lodo de mar como de lago, pudo ser causa de la contaminación del lodo con material inorgánico del fondo marino o lacustre al momento de su recolección.

Con respecto a los niveles de metales pesados contenidos en el lodo y determinados por los análisis de laboratorio, se puede ver que tanto el zinc (Zn) como el cobre, no superan las concentraciones máximas permitidas por CONAMA (1999). Al comparar los resultados con los obtenidos por NAYLOR (1999), se tiene que los niveles de cobre (Cu) y fierro (Fe) de los lodos de mar y lago en el presente análisis, son superiores a los obtenidos por el autor antes indicado, y que sólo el Zn es inferior.

Los lodos tienen un pH neutro, siendo ligeramente superior en lodos de mar. Esto difiere con los resultados obtenidos por NÚÑEZ (2000), quien al caracterizar lodos residuales de piscicultura salmonidea encontró que éstos eran ligeramente ácidos (pH = 5,5) por encontrarse en condiciones anaerobias producto de la compactación del lodo en los estanques de piscicultura.

El bajo contenido de carbono orgánico de estos residuos (Cuadro 3), coincide con lo reportado por PINOCHET *et al.* (2001) para lodos extraídos desde el lago Natri, pero son inferiores a lo reportado por RODRIGUEZ (1993) para lodos de salmonicultura recolectados en el lago Ranco. Esto puede deberse a que en este último estudio el material de desecho fue recolectado directamente de depósitos adaptados bajo las balsas, sin estar en contacto con el fondo natural del lago (NÚÑEZ y DONOSO, 1995). MAZZARINO (1997) por su parte, obtiene, al caracterizar lodos de distinto tiempo de permanencia, valores de carbono menores a los lodos de mar y lago del presente estudio.

4.2 Producción de materia verde y porcentaje de materia seca en ballica.

La producción de materia verde y el % de MS queda resumido a continuación en el Cuadro 6. Los datos son el resultado de la producción de materia verde acumulada de los seis cortes realizados a la pradera. La producción de cada corte y el %MS (a 60 °C) se muestran en los Anexos 5 al 10 para el ensayo con lodo de lago. En los Anexos 12 al 17 aparecen los valores de producción por corte y % de MS para el ensayo con lodo de mar.

CUADRO 6 Producción de materia verde (kg/ha) y % MS a 60°C.

Tratamientos (t/ha)	Lodo de mar		Lodo de lago	
	(kg/ha)	%MS	(kg/ha)	%MS
Lodo 0	11.850 a	22 a	18.955 a	20 a
Lodo 30	29.145 ab	19 b	19.674 a	20 a
Lodo 60	31.569 b	19 b	34.187 ab	19 a
Lodo 90	37.673 b	18 b	31.320 ab	18 a
Fertilización inorgánica	26.239 ab	20 ab	38.388 b	18 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

La aplicación de lodo de mar permite aumentar la producción de materia verde, principalmente con las dosis media y alta de lodo, ya que tienen un efecto estadísticamente distinto en comparación con el tratamiento testigo. De hecho, con la dosis más alta de lodo se logran 25.823 kg MV/ha más de lo que produce el testigo. Por otra parte, la producción del tratamiento con fertilización inorgánica no se diferencia estadísticamente del testigo sin aplicación, a pesar de ser ligeramente superior en producción, y tampoco se diferencia de la producción obtenida con los tratamientos con incorporación de lodo.

La aplicación de lodo de lago no tiene un efecto significativo sobre la producción de materia verde. Sin embargo, a pesar de no tener diferencia estadística con el testigo, se observa un aumento de la producción en los tratamientos con las dosis más altas de lodo. La fertilización inorgánica, por su parte, obtiene una producción estadísticamente superior al testigo y a la dosis mínima de lodo. El hecho de que la aplicación de este lodo no tuviera ningún efecto sobre la producción, puede deberse a que la composición química de éste, comparado con el lodo de mar, es más pobre en su contenido de macronutrientes, a excepción del N.

La producción de materia verde acumulada que se obtiene tanto en el ensayo de mar como en el de lago, es baja si se le compara con los datos de producción de materia verde que obtuvo VYHMEISTER (2000), quien evaluó la

productividad de distintas variedades ballica alcanzando todas una producción superior a los 50.000 kg/ha.

El porcentaje de materia seca, en el ensayo con lodo de mar, es diferente estadísticamente entre los tratamientos con aplicación de lodo y el testigo, siendo superior en este último. En relación a la fertilización mineral, ésta no obtuvo diferencia en el %MS en comparación al testigo y a los tratamientos con aplicación de lodo. En el ensayo con lodo de lago en cambio, no hay variación en el contenido de materia seca en ballica entre ninguno de los tratamientos. Los valores de porcentaje de materia seca, tanto para el ensayo de mar como para el de lago, son más altos a los reportados por ANRIQUE (1995), quien determinó la concentración promedio de materia seca de ballica en la Décima Región y correspondió a 13,1%, aunque los estados fenológicos del muestreo pueden ser muy diferentes entre ambos estudios.

4.3 Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción de materia seca por corte en ballica.

El rendimiento de materia seca (kg MS/ha) en cada corte, para el ensayo de lago, se presenta a continuación en el Cuadro 7. Los valores corresponden al promedio de las 4 repeticiones por tratamiento (Anexos 5 al 10).

CUADRO 7 Producción de materia seca por corte con la aplicación de distintas dosis de lodo de lago.

Tratamientos (t/ha)	corte 1 (kg MS/ha) 17-10-2002	corte 2 (kg MS/ha) 14-01-2003	corte 3 (kg MS/ha) 17-02-2003	corte 4 (kg MS/ha) 07-05-2003	corte 5 (kg MS/ha) 23-09-2003	corte 6 (kg MS/ha) 30-10-2003
Lodo 0	162 a	1330 a	1252 a	304 a	283 a	580 a
Lodo 30	393 ab	1606 ab	954 a	253 a	263 a	527 a
Lodo 60	863 bc	2405 ab	1335 a	434 a	614 a	876 a
Lodo 90	1154 c	2136 ab	989 a	384 a	494 a	719 a
Fert.mineral	1269 c	2568 b	1248 a	438 a	655 a	750 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

En general, la aplicación de lodo de lago, no se refleja en una mayor producción de materia seca en ballica al analizar separadamente los cortes a la pradera. Sin embargo, en el primer corte las dosis más altas de lodo (60 t/ha y 90 t/ha) son estadísticamente superiores en producción al tratamiento sin aplicación, además, a medida que se incrementa la dosis aumenta la producción hasta en 992 kg MS/ha con la dosis máxima de lodo. Con respecto a la fertilización inorgánica, se obtiene una producción superior al testigo en 1.107 kg MS/ha y equivalente estadísticamente en producción a las dosis más altas de lodo. Una situación similar ocurre en el segundo corte con este tipo de fertilización, pero no hay diferencia en producción con ninguna de las dosis de lodo. En los restantes cortes no existe un efecto del lodo aplicado sobre la producción de MS/ha ni tampoco hay un efecto de la fertilización inorgánica sobre la producción.

En el Cuadro 8 se presenta la producción de MS por hectárea en cada corte del ensayo con lodo de mar. Los valores corresponden al promedio de las 4 repeticiones por tratamiento, las que se detallan en los Anexos 12 al 17.

CUADRO 8 Producción de materia seca por corte con la aplicación de distintas dosis de lodo de mar.

Tratamientos	corte 1	corte 2	corte 3	corte 4	corte 5	corte 6
(t/ha)	(kg MS/ha)	(kg MS/ha)	(kg MS/ha)	(kg MS/ha)	(kg MS/ha)	(kg MS/ha)
	17-10-2002	14-01-2003	17-02-2003	07-05-2003	23-09-2003	30-10-2003
Lodo 0	59 a	729 a	1071 a	238 a	137 a	405 a
Lodo 30	1066 b	1942 b	979 a	331 ab	504 a	732 a
Lodo 60	1559 c	1772 b	839 a	373 ab	535 a	782 a
Lodo 90	1736 c	2013 b	1162 a	493 b	677 a	745 a
Fert.mineral	993 b	1893 b	1004 a	309 a	505 a	647 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

En este ensayo, la aplicación de lodo de mar tiene un efecto sobre la producción de MS de algunos de los cortes realizados. Es el caso del primero, donde existen diferencias estadística de producción entre los tratamientos, siendo mayor la producción de MS que se obtiene con las dosis de lodo más altas. El tratamiento que recibió fertilización mineral, supera en producción al testigo y es igual estadísticamente a la dosis mínima de lodo. En el segundo corte, todos los tratamientos con incorporación de lodo y la fertilización inorgánica, son estadísticamente iguales en producción ($P \geq 0,05$) pero se diferencian estadísticamente del testigo y lo superan. En el tercero, quinto y sexto corte a la pradera, la aplicación de lodo no produjo ningún efecto sobre la producción, ya que no hay diferencias ($P \geq 0,05$) entre los tratamientos. En el cuarto corte a la pradera, sólo la dosis más alta de lodo permite aumentar estadísticamente la producción y la duplica en comparación con el testigo.

En ambos ensayos, la mayor producción de MS por hectárea se obtiene en el segundo corte a la pradera. La producción de MS en el tercer corte igual es considerable, pero más baja que en el corte anterior. Los tres últimos cortes tuvieron una menor producción de kg MS/ha. Esto podría deberse a que el N contenido en el lodo está principalmente en forma orgánica y el lodo tiene una baja tasa de mineralización del N contenido en él (PINOCHET *et al.*, 2001), por lo que una vez incorporado en el suelo, el N mineral disponible es absorbido por las raíces de la planta durante el primer periodo de crecimiento de la pradera, lo que se ve reflejado en la mayor producción de MS de los primeros cortes, en cambio, a medida que transcurre el tiempo, la mayor parte del N mineral que estaba disponible ya ha sido consumido por la planta, por lo que se vuelve un nutriente escaso para las necesidades de crecimiento de ésta, lo que se observa en la baja producción de materia seca de los últimos cortes.

Sin embargo, en ambos ensayos se observa que la producción del 6º corte, a pesar de ser inferior a los primeros cortes, tiene un ligero aumento al

ser comparada con el 4º y 5º corte. El periodo entre el 5º y 6º corte corresponde a una época en que la pradera presenta un mayor crecimiento, que es aproximadamente en los meses de septiembre a octubre. Quizás esta sea la causa de una mayor producción de forraje en este último corte. De hecho, la tasa máxima de crecimiento diario en una pradera ocurre en octubre, llegando a los 40 kg MS/ha/día (Teuber, 1988, citado por MORALES, 2000).

4.4 Efecto de la aplicación de lodo sobre la producción acumulada de materia seca en ballica.

En el Cuadro 9 se presenta la producción acumulada en seis cortes de ballica anual (promedio de 4 repeticiones por tratamiento), para los dos ensayos durante el periodo de duración de éstos.

CUADRO 9 Producción de materia seca acumulada en 6 cortes de ballica.

Tratamientos (t/ha)	Lodo de Mar (kg MS/ha)	Lodo de Lago (kg MS/ha)
Lodo 0	2.772 a	3.912 a
Lodo 30	5.552 b	3.996 a
Lodo 60	5.860 b	6.527 ab
Lodo 90	6.826 b	5.874 ab
Fertilización inorgánica	5.350 ab	6.927 b

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

El rendimiento de materia seca por hectárea en ambos ensayos, en general, es bajo en todos los tratamientos, ya que el rendimiento promedio de ballica anual, para diez variedades evaluadas por Ruiz (1995) citado por RUIZ (1996) es de 13 t/ha de materia seca. Esta especie necesita de un alto nivel de nitrógeno en el suelo (Romero y Bonert, 1978, citados por RUIZ, 1996) y es posible que la baja disponibilidad de nitrógeno en los lodos limitara la producción potencial de la ballica, debido a que estos residuos muestran una lenta liberación de N como lo señala Mazzarino *et al.*, (1995) citado por

MAZZARINO *et al.*, (1997) en un estudio hecho con residuos de balsas jaulas de 3 y 8 años de edad, incubados con suelos volcánicos bajo condiciones de laboratorio.

La aplicación de lodo de mar produce un efecto sobre el rendimiento de la ballica, lo que se refleja en una mayor producción (kg MS/ha), en aquellos tratamientos que recibieron lodo. El incremento en la dosis de lodo no se traduce en un aumento de la producción, ya que no existe diferencia estadística ($P \geq 0,05$) entre estos tratamientos. La producción de la fertilización inorgánica no se diferencia de la producción de los tratamientos con aplicación de lodo ni tampoco del testigo. De los resultados obtenidos con el lodo de mar, se deduce que éste afecta positivamente la producción de ballica, incrementándola hasta en más de 4000 kg MS/ha, en comparación al testigo, con las 90 t/ha de lodo.

En el ensayo con lodo de lago, en cambio, la aplicación de lodo no afecta el rendimiento de la ballica. Sólo la fertilización inorgánica supera en producción al testigo, duplicando su producción y es, también, superior a la dosis mínima de lodo. No existió diferencia significativa ($P \geq 0,05$) de producción entre las dosis de lodo. Que los tratamientos con incorporación de lodo no hayan superado en producción al testigo, pudo deberse, a que el lodo de lago es más pobre en nutrientes que el lodo de mar, el cual superó en producción al testigo.

MAZZARINO (1997), en un experimento en condiciones de invernadero, evaluó la productividad de ballicas en maceteros con aplicación de lodos provenientes de una producción intensiva de peces. Los mayores rendimientos en materia seca se alcanzaron con la dosis más alta de lodo aplicada, equivalente a 80 t/ha, incluso superando a la fertilización inorgánica.

Por otra parte, TEUBER (2004), evaluó el efecto residual de los lodos de salmones sobre ballica sembrada inmediatamente después de una siembra de

papas a la que se les aplicó distintas dosis de lodo (50, 100 y 200 t/ha lodo). Los rendimientos obtenidos en kg MS/ha fueron superiores al testigo sin aplicación y alcanzaron valores de hasta 6.925 (kg MS/ha) con la dosis más alta de lodo, producción similar a la obtenida en este estudio con la dosis máxima de lodo de mar.

El análisis de regresión no lineal entre las variables de dosis de lodo (t/ha) y producción de MS (kg/ha) se analizó en función de un modelo polinomial de segundo orden, cuya ecuación es presentada a continuación en el Cuadro 10.

CUADRO 10 Parámetros de la ecuación ajustada.

$Y=A+BX+CX^2$	A	B	C	R^2	n	Syx
Lodo de Lago	3631	46,45	-0,2	0,34	16	1492
Lodo de Mar	2801	91,64	-0,54	0,62	16	1310

En la ecuación propuesta se incluyen tres parámetros, donde A corresponde a la mínima producción de materia seca cuando no hay aplicación de lodo, los parámetros B y C representan las pendientes de la curva, siendo B la pendiente máxima que alcanza la curva.

En la Figura 1, se observa la producción de MS con las distintas dosis de lodo de lago. Cuando la dosis de lodo es cero, el rendimiento de MS alcanza un valor de 3.631 kg/ha.

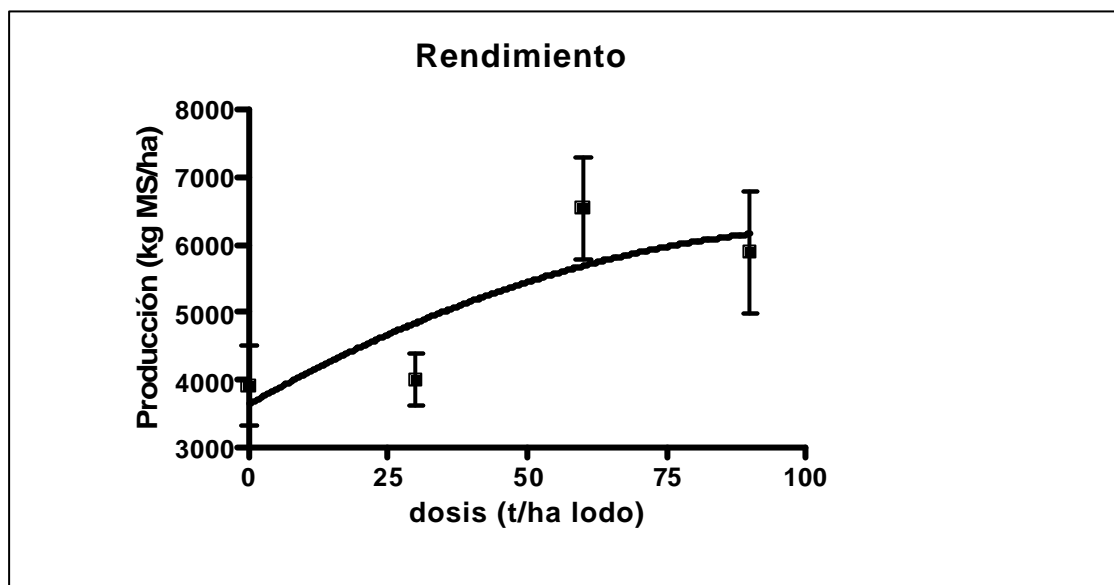


FIGURA 1 Efecto de la dosis de lodo de lago sobre el rendimiento.

La Figura 2 muestra la producción de materia seca que se obtiene con distintas dosis de lodo de mar. En este caso, al aumentar la dosis de lodo, hay también un aumento en la producción de materia seca. Cuando la dosis de lodo es cero, el rendimiento de materia seca alcanza un valor de 2.801 kg/ha.

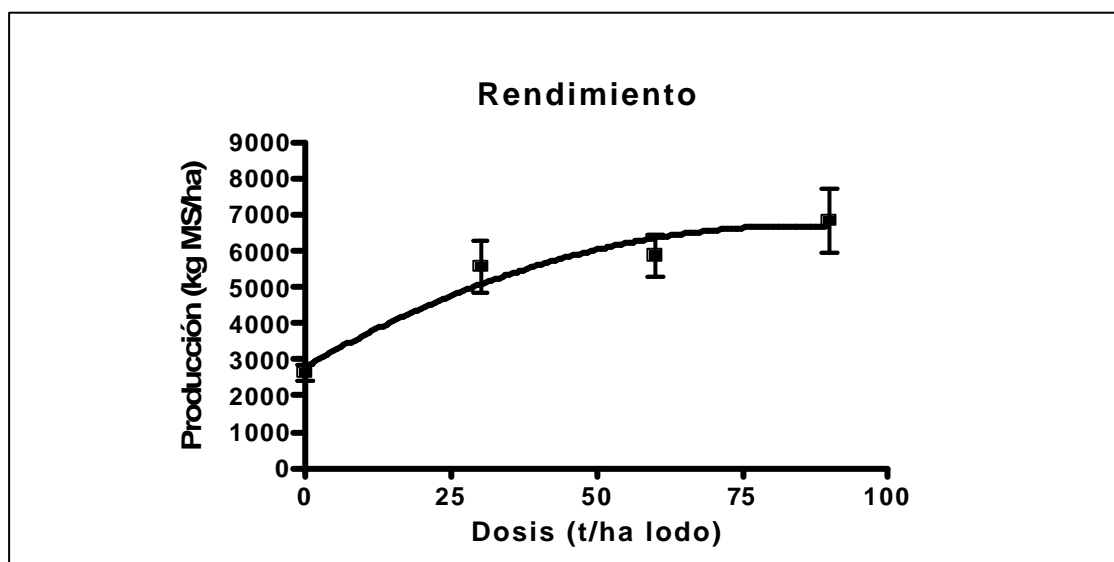


FIGURA 2 Efecto de la dosis de lodo de mar sobre el rendimiento.

La pendiente de la curva en el ensayo de mar (Cuadro 10), muestra que hay un incremento del rendimiento mayor que aquél mostrado por la pendiente del ensayo de lago (Cuadro 10). Si el rendimiento es calculado con la dosis máxima de lodo para ambos ensayos, se obtiene un rendimiento potencial mayor con lodo de mar.

Según la curva de regresión polinomial de segundo orden, la producción de MS aumenta con el aumento de la dosis de lodo al suelo, llegando hasta un punto en que la producción es máxima independiente de si se sigue incrementando la dosis, lo que estaría significando que nueva incorporación de lodo al suelo se traduciría en un consumo de lujo por parte de la planta. Incluso, si se deriva la ecuación:

$$Y = A + BX + CX^2 \quad (4.1)$$

se obtiene el punto de inflexión de la curva que señala la dosis máxima de lodo a partir de la cual el rendimiento decrece y esta corresponde a 116 (t/ha) de lodo de lago y a 84 (t/ha) de lodo de mar.

4.5 Concentración de nutrientes en ballica.

En el Cuadro 11 se presentan los valores de concentración de N, P y K, determinados por los análisis bromatológicos en ballica. Los valores para estos nutrientes corresponden al promedio de las 4 repeticiones de cada tratamiento que se detallan en los Anexos 24 y 25.

CUADRO 11 Concentración de nutrientes en la planta.

Tratamiento	Lodo de mar			Lodo de lago		
	N (g/100g)	P (g/100g)	K (g/100g)	N (g/100g)	P (g/100g)	K (g/100g)
testigo	2,69 a	0,16 a	2,27 a	2,99 a	0,16 a	2,65 a
lodo 30	2,38 a	0,22 a	2,47 a	2,68 a	0,19 b	2,01 a
lodo 60	2,24 a	0,26 b	2,35 a	2,94 a	0,21 b	2,45 a
lodo 90	2,27 a	0,27 b	2,42 a	2,60 a	0,22 b	2,05 a
fertilización inorgánica	2,36 a	0,20 a	2,61 a	2,69 a	0,19 b	2,48 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

La aplicación de lodo de mar y lago, no produce ningún efecto estadísticamente significativo en la concentración de N y K de la planta. Solo es posible observar un efecto del lodo en la concentración de P en ambos ensayos. En el ensayo con lodo de mar, la concentración de P en la planta tiene dos niveles de diferencia estadística, siendo mayor en los tratamientos con dosis media y alta de lodo. En el ensayo con lodo de lago, la aplicación de lodo tiene un marcado efecto sobre la concentración de P en la planta, siendo ésta menor en relación al testigo, en todos los tratamientos con incorporación de lodo. La fertilización inorgánica se diferenció estadísticamente del testigo, pero no tuvo un efecto distinto sobre la concentración de este nutriente al compararse con los tratamientos que recibieron lodo. Este tipo de fertilización, en el ensayo con lodo de mar, no tuvo efecto sobre la concentración de P en comparación con el testigo.

La concentración de N y P en ballica (a excepción del ensayo de mar que es un poco más baja para el N), está en general, dentro de los rangos reportados por HERNÁNDEZ (2002), quien midió la concentración de estos nutrientes en 9 variedades de ballica perenne, encontrando para el N una concentración de 2,68%, 0,22% para el P y 3,15% para el K. El rango para K señalado por este autor es superior a la concentración de K medida en este estudio, que no alcanza a llegar a un 3%. Sin embargo, este valor de K, en

ambos ensayos, es más alto al medido por ANRIQUE (1995) quien señala que la concentración promedio de K para ballica en la Décima Región es de 1,53%. Por su parte, Hemingway (1963), citado por HERNÁNDEZ (2002), señala que la concentración más baja de K encontrada en ballica es de 0,45% y la más alta de 5,20%.

4.6 Efecto de la aplicación de lodo sobre la absorción de nutrientes en ballica.

A continuación en el Cuadro 12 se presenta la absorción de N, P y K en ballica. Los valores corresponden al promedio de 4 repeticiones (Anexos 26 y 27).

CUADRO 12 Absorción de nutrientes en ballica con la aplicación de distintas dosis de lodo.

Tratamiento	Lodo de mar			Lodo de lago		
	N (kg N/ha)	P (kg P/ha)	K (kg K/ha)	N (kg N/ha)	P (kg P/ha)	K (kg K/ha)
testigo	65,8 a	3,9 a	56,5 a	110,8 a	5,5 a	82,1 ab
lodo 30	125,4 ab	11,4 bc	128,2 ab	100,3 a	7,0 ab	74,0 a
lodo 60	123,0 ab	14,0 bc	129,4 ab	179,9 a	12,5 c	155,7 ab
lodo 90	145,7 b	17,3 c	154,5 b	144,6 a	11,8 bc	113,4 ab
fertilización inorgánica	117,8 ab	9,8 ab	130,2 ab	159,7 a	12,5 c	159,2 b

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

La aplicación de lodo, en el ensayo de mar, produce un efecto significativo en la absorción de N y K solo con la dosis más alta de lodo. La absorción de N y K en el tratamiento con fertilización mineral, es igual al testigo y a los tratamientos con incorporación de lodo. En la absorción de P en cambio, el lodo afecta significativamente la absorción, incrementándola, llegando a superar la absorción del testigo en 13,4 kg P/ha con la dosis más alta de lodo.

En el ensayo de lago, no hay un efecto producido por el lodo ni por la fertilización mineral, sobre la absorción de N en la planta. Tampoco el lodo afecta en forma significativa la absorción de K en la planta. Sólo existe una mayor absorción de P con la aplicación de lodo, siendo los tratamientos con dosis media y alta los que presentan la mayor absorción de este nutriente, duplicando la absorción del testigo en este último tratamiento (90 t/ha). En este caso, la fertilización mineral también tiene un efecto sobre la absorción de P, siendo significativamente mayor que el testigo y que la dosis mínima de lodo.

Estos valores de absorción de N, P y K son superiores a los encontrados por HAVLIN (1999) en ballica y que corresponden a 48, 10 y 45 kg /ha de N, P K respectivamente.

4.7 Características químicas iniciales del suelo.

En el Cuadro 13 se presentan los resultados del análisis de suelo inicial que reúne las características químicas de éste antes del establecimiento de la pradera. Los valores aquí entregados corresponden al promedio de 4 repeticiones.

CUADRO 13 Análisis inicial de suelo.

Parámetros	Unidad	Ensayo de mar	Ensayo de lago
P	ppm	3,6 ± 0,42	3,8 ± 0,15
Ca	cmol ₍₊₎ /kg	3,13 ± 0,40	2,89 ± 0,26
Mg	cmol ₍₊₎ /kg	0,68 ± 0,07	0,70 ± 0,09
K	cmol ₍₊₎ /kg	0,39 ± 0,02	0,43 ± 0,05
Na	cmol ₍₊₎ /kg	0,18 ± 0,02	0,16 ± 0,01
Al	cmol ₍₊₎ /kg	0,18 ± 0,03	0,22 ± 0,03
Saturación Al	g/100g	4,0 ± 0,73	5,0 ± 0,56
pH (H ₂ O)		5,8 ± 0,04	5,8 ± 0,11
pH (CaCl ₂)		5,0 ± 0,03	5,0 ± 0,02

Los parámetros medidos por el análisis de suelo indican que éste se encuentra en un nivel bajo de fertilidad en comparación con los suelos trumaos

(Serie Osorno) de la zona que presentan valores de 7,4; 1,7 y 215 $\text{cmol}_{(+)}\text{/kg}$ de Ca, Mg y K intercambiables respectivamente; y un nivel de P-Olsen de 5,8 ppm (Ruz *et al.* 1995, citados por RUIZ, 1996). La concentración de Na en el suelo, también es inferior al nivel de Na característicos para los suelos de esta serie según lo señalado por RODRÍGUEZ (1993). Sin embargo, el nivel de P es similar al reportados por este mismo autor para algunos suelos trumaos pertenecientes a la serie Osorno.

El pH del suelo es ligeramente ácido (pH al agua) al momento del establecimiento de la pradera. Esta condición no impide el desarrollo de la ballica, ya que esta especie se adapta a suelos con pH ligeramente ácidos (Ortega y Romero, 1992, citado por VYHMEISTER, 2000). Un pH adecuado para el crecimiento de esta especie se encuentra entre 5 y 8 (López, 1988, citado por VYHMEISTER, 2000).

4.8 Características químicas finales del suelo en el ensayo con lodo de mar.

Las características químicas del suelo al término del ensayo de mar, se presentan en los Cuadros 14, 15 y 16 (valores promedio de 4 repeticiones que son señaladas en el Anexo 23).

CUADRO 14 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de mar.

Tratamiento	P ppm	pH H_2O	pH CaCl_2
Testigo	4,0 a	5,8 a	5,0 a
Lodo mar 30	5,2 ab	5,9 ab	5,0 a
Lodo mar 60	5,8 b	6,0 bc	5,1 ab
Lodo mar 90	7,4 c	6,0 c	5,1 b
Fertilización inorgánica	5,3 ab	5,9 a	5,0 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

CUADRO 15 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de mar.

Tratamiento	Ca cmol ₍₊₎ /kg	Mg cmol ₍₊₎ /kg	K cmol ₍₊₎ /kg
Testigo	3,34 a	0,77 a	0,31 a
Lodo mar 30	3,39 a	0,92 abc	0,28 a
Lodo mar 60	3,70 a	1,07 bc	0,26 a
Lodo mar 90	4,04 a	1,23 c	0,28 a
Fertilización inorgánica	3,55 a	0,87 ab	0,33 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

CUADRO 16 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de mar.

Tratamiento	Na cmol ₍₊₎ /kg	Al cmol ₍₊₎ /kg	Sat. Al %
Testigo	0,18 a	0,21 a	4,25 a
Lodo mar 30	0,38 b	0,20 a	3,91 ab
Lodo mar 60	0,55 c	0,17 a	3,11 ab
Lodo mar 90	0,63 c	0,14 a	2,26 b
Fertilización inorgánica	0,20 a	0,21 a	4,03 a

* Letras distintas verticalmente, denotan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$).

Algunos de los parámetros evaluados no mostraron diferencias significativas en relación con el control sin aplicación de lodo o del fertilizante mineral. No se detectaron diferencias en Ca, K y Al intercambiables. Sin embargo, se presentaron efectos estadísticamente diferentes en el nivel de P disponible, pH al agua y en CaCl₂, Mg y Na intercambiables y en la saturación de Al.

El P disponible incrementó estadísticamente en función a la aplicación de lodo y se expresó en tres niveles de diferencias estadísticas. Este incremento del P disponible al término del ensayo es lineal con la dosis de lodo aplicada (Figura 3). A pesar de un ligero incremento en el nivel de P-Olsen en el

tratamiento con fertilización inorgánica, éste no fue diferente del testigo sin aplicación y se colocó en una situación intermedia y similar al obtenido con una dosis similar cuantitativamente de lodo de mar.

El pH del suelo tanto en agua como en CaCl_2 , mostró un efecto de un cambio en función de la dosis de lodo aplicado, haciéndose más alcalino, lo que es representado en la Figura 3. En el pH en agua se distinguen tres niveles de diferencia estadística, cambiando hasta 0,21 unidades de pH con la dosis máxima aplicada en comparación con el testigo sin aplicación. En el pH en CaCl_2 se observa un menor efecto, diferenciándose solo en dos niveles y con la dosis máxima el cambio en unidades de pH alcanza solo a 0,13 unidades de pH. Tanto en pH en agua como en pH en CaCl_2 la dosis de aplicación de fertilización mineral no produjo diferencias estadísticas con el testigo sin aplicación. En el pH al agua la fertilización mineral se diferenció estadísticamente de los tratamientos con dosis media y alta de lodo. En cambio, en el pH en CaCl_2 la fertilización mineral solo se diferencia estadísticamente del tratamiento con dosis máxima de lodo.

El incremento del Mg intercambiable, como en el fósforo disponible, también se diferenció en tres niveles con la aplicación de lodo de mar. Una situación similar ocurre con el nivel de Na intercambiable. Ambos, Mg y Na, presentan una relación lineal con el lodo aplicado, es decir, mayor es el contenido disponible en el suelo mientras mayor es la dosis de lodo que se aplica (Figura 3). En tanto, la fertilización inorgánica no se diferenció estadísticamente del tratamiento sin aplicación tanto en Mg como en Na intercambiable.

De estos resultados puede deducirse que el lodo de salmón se comportó como un fertilizante que entrega en forma significativa P y Mg y con un fuerte

incremento del nivel de Na en el suelo. Debe indicarse que en este análisis se dejó fuera el nivel de N mineral presentado, el cual no se evaluó en el ensayo.

Con la aplicación de lodo de mar, la saturación de Al decrece (Figura 3). Este decrecimiento se debe por una parte al incremento en el Mg y Na intercambiables y al decrecimiento del Al intercambiable, que aunque no fue estadísticamente significativo, se suma al efecto producido por las otras dos bases de intercambio. Solo se diferencian dos grupos estadísticamente diferentes, en que la dosis mayor de lodo aplicada se diferenció del testigo sin aplicación y con las dosis de lodo intermedias en una situación intermedia entre ellas.

A continuación, en la Figura 3 se presenta el análisis de regresión lineal realizado para los distintos parámetros del suelo que tuvieron un cambio significativo tras la aplicación de lodo al suelo. Los valores de los parámetros de cada una de las regresiones lineales realizadas, se señalan en el Cuadro 17.

CUADRO 17 Parámetros de la ecuación ajustada.

Y=A+BX	A	B	R ²	Syx
P	3,958	0,03608	0,8091	0,628
Mg	7670	0,005067	0,6191	0,143
Na	0,205	0,005042	0,9198	0,053
pH agua	5,852	0,002342	0,7825	0,044
pH CaCl ₂	4,995	0,001408	0,5829	0,043
Saturación Al	4,397	-0,02259	0,5001	0,810

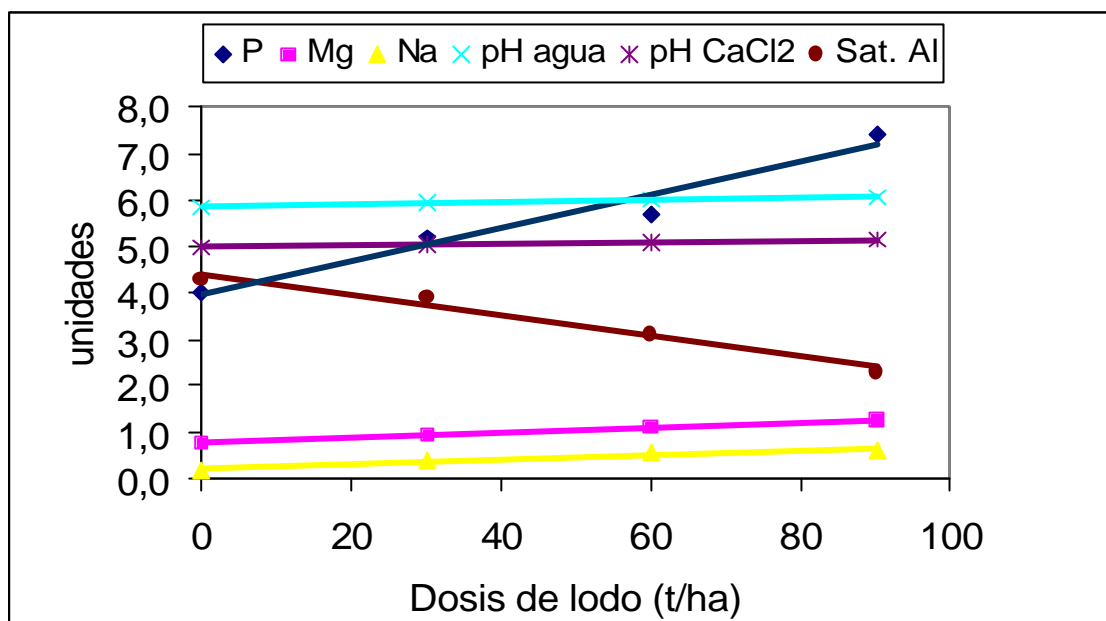


FIGURA 3 Efecto de la aplicación de lodo sobre parámetros del suelo

4.9 Características químicas finales del suelo en el ensayo con lodo de lago.

Las características químicas del suelo al término del ensayo, se presentan en los Cuadros 18, 19 y 20 (valores promedio de 4 repeticiones las que son señaladas en el Anexo 22).

CUADRO 18 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago.

Tratamiento	P ppm	pH H ₂ O	pH CaCl ₂
Testigo	4,7 a	5,8 a	5,0 a
Lodo 30	4,8 a	5,8 a	5,0 a
Lodo 60	5,2 a	5,8 a	5,0 a
Lodo 90	5,0 a	5,8 a	5,0 a
Fertilización inorgánica	5,6 a	5,8 a	5,0 a

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0,05$)

CUADRO 19 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago.

Tratamiento	Ca cmol ₍₊₎ /kg	Mg cmol ₍₊₎ /kg	K cmol ₍₊₎ /kg
Testigo	3,13 a	0,84 a	0,32 a
Lodo 30	3,13 a	0,81 a	0,31 a
Lodo 60	3,63 a	0,91 a	0,33 a
Lodo 90	3,23 a	0,77 a	0,30 a
Fertilización inorgánica	3,57 a	0,95 a	0,35 a

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0,05$).

CUADRO 20 Análisis de suelo al término del ensayo usando lodo de lago.

Tratamiento	Na cmol ₍₊₎ /kg	Al cmol ₍₊₎ /kg	Sat. Al %
Testigo	0,15 a	0,25 a	5,29 a
Lodo 30	0,16 a	0,26 a	5,51 a
Lodo 60	0,15 a	0,26 a	5,06 a
Lodo 90	0,13 a	0,25 a	5,48 a
Fertilización inorgánica	0,16 a	0,23 a	4,27 a

*Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P \geq 0,05$).

En el caso de lodo de lago, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con aplicación de lodo ni en el tratamiento con fertilización mineral en ninguno de los parámetros evaluados. Estos resultados sugieren que no se produce un efecto residual de la fertilización con estos lodos, o no se puede detectar los efectos con las metodologías aplicadas. Además, debe considerarse que este lodo presentó la mitad del contenido de P del lodo de mar, un tercio del contenido de Mg y prácticamente 36 veces menos Na (Cuadro 4). Solo el contenido de N de éste lodo fue superior (más del doble que el lodo de mar), pero éste nutriente no se evaluó en su efecto residual en el suelo. Estas diferencias en los niveles de aplicación debida a los contenidos en los lodos implica que la aplicación de 90 t/ha de lodo de lago fue equivalente a la aplicación de P de 30 t/ha de lodo de mar y en el caso de Mg solo fue de equivalente a 0,72 de la dosis de 30 t/ha de lodo de mar. En el caso de Na, las

diferencias aplicadas son tan grandes que prácticamente solo puede ser comparada con el tratamiento sin aplicación de Na.

De esta forma, era esperado que no se produjeran diferencias detectables en los niveles residuales disponibles, ya que la primera dosis de aplicación de lodo de mar, en ninguno de los parámetros evaluados, a excepción del Na, produjo diferencias estadísticas. También debe considerarse que la aplicación de P en la dosis de fertilización mineral es equivalente a la primera dosis de aplicación de lodo de mar y ésta tampoco produjo diferencias estadísticamente detectables.

5 CONCLUSIONES

Los lodos de salmónes recolectados en el mar en general, tiene una mayor concentración de nutrientes que los lodos de salmónes recolectados en el lago. Ambos presentan un bajo contenido de macronutrientes, especialmente de K y N. De éstos, el P es el que tiene una mayor concentración en el lodo de mar.

La aplicación de lodos de salmón provenientes del mar, generó una respuesta positiva en la pradera que se evidencia en un mayor rendimiento en aquellos tratamientos que recibieron lodo de mar. Por su parte, la aplicación de lodos de salmón provenientes de lago, no se tradujo en un incremento ni decrecimiento del rendimiento de la pradera.

Las dosis de mar utilizadas produjeron el mismo rendimiento en kg MS/ha de ballica que la fertilización inorgánica utilizada. Las dosis más altas de lodo de lago (30 y 60 t/ha), igualaron en producción de MS al tratamiento con fertilización inorgánica. Bajo las condiciones de este experimento, no hubo diferencias significativas en rendimiento de ballica anual entre las dosis de lodo utilizadas.

La aplicación de lodo de mar modificó algunos parámetros de fertilidad y condición de suelo aumentando la concentración de P, Mg y Na, además de la disminución del porcentaje de saturación de aluminio y el incremento del pH a medida que la dosis de lodo aumenta.

6 RESUMEN

Los lodos orgánicos originados de la crianza intensiva de salmones, poseen características nutritivas de interés para el desarrollo de las plantas y fertilidad del suelo. Desde esta perspectiva, se plantea su uso en agricultura como fertilizante orgánico en una pradera establecida de la Décima Región. El propósito de este estudio fue evaluar la respuesta de la balllica anual (*Lolium multiflorum* L.) cv. Sabalan a la aplicación de lodos previo a su establecimiento, evaluar el efecto de distintas dosis de lodo sobre el rendimiento y compararlas con una fertilización inorgánica y evaluar el efecto residual del lodo en el suelo. Se establecieron dos ensayos, con cinco tratamientos cada uno, utilizando lodo de mar en uno y lodo de lago en el otro. Los tratamientos fueron los siguientes: un tratamiento control (0 t/ha lodo), una dosis baja de lodo (30 t/ha), una dosis media de lodo (60 t/ha), una dosis alta de lodo (90 t/ha) y un tratamiento con fertilización inorgánica. En el ensayo con lodo de mar la aplicación de lodo produjo un mayor rendimiento que el tratamiento control, pero no hubo diferencias de producción entre las distintas dosis de lodo ni entre éstas y la fertilización inorgánica. En el ensayo con lodo de lago en cambio, no hubo diferencias significativas de producción de materia seca entre las dosis de lodo y el tratamiento control, ni entre éstas y la fertilización inorgánica. La aplicación de lodo de mar produjo cambios en algunos parámetros del suelo como el aumento del nivel de P, Mg y Na, y la disminución del porcentaje de saturación de Al y el aumento del pH con el incremento de la dosis de lodo.

SUMMARY

Organic sludges from intensive salmon farming have nutritional characteristics of interest for plant development and soil fertility. From this perspective it is thought to be useful in agriculture as organic fertilizers on a established prairie in Décima Región. The aim of the present study was to evaluate the response of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.) cv Sabalan to sludges application before establishment; to evaluate the effect of different sludges doses on yield and compare them with an inorganic fertilization and, finally, to evaluate the effect of sludges on the soil. Two assays were made, with five treatments each one, using sludge from sea and sludge coming from a lake. The treatments were the following ones: control treatment (0 t/ha), low rate of sludge(30 t/ha), medium rate (60 t/ha), high rate (90 t/ha) and finally one treatment including an inorganic fertilizer application. For the sea sludge assay, the application produced higher yield than the control treatment but there were no differences in production between sludge doses and neither these and inorganic fertilizer application. For the lake sludge, however, were no significant differences in dry matter production between sludge doses and control treatment, neither these and inorganic fertilizer application. The sludge sea application produced changes in some parameters of soil as the increase of level of P, Mg and Na and the decrease of the percentage of Al saturation and the increase of pH at the increase of sludge doses.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ANRIQUE, R. 1995. Composición de alimentos para el ganado de la zona sur. Fundación Fondo de Investigación Agropecuaria. FIA. 56 p.
- AYNETO, 1997. <http://www.inia.es/sitemapa/pags/intro/resultados-7/agricola/sc94-101.pdf> (7 may 2003)
- BATEMAN, J. 1970. Nutrición Animal. Manual de Métodos Analíticos. México. Herrero. 468 p.
- CAMPOS, H. 1995. Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el Lago Rupanco, X Región. Valdivia. Instituto de Zoología. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. 302 p.
- CEPIS. (1999). Aspectos generales del manejo de lodos. <http://www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html#2.%20Aspectos> (9 abr 2003).
- CHICON, 2003. <http://usuarios.lycoss.es/ambiental/lodos.html> (15 may. 2003).
- CLAUDE M. y OPORTO, J. 2000. La ineficiencia de la salmonicultura en Chile. Aspectos sociales, económicos y ambientales. Santiago, Chile. Terram Publicaciones. 68p.
- COAG, 2003. Uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura. <http://www.ecologistasenacción.org./acción/residuos/ponencias/2-2-Ana.pdf> (25 feb. 2004)

- CHILE, 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 (30 may. 2003)
- COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA (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.=238 (12 abr. 2003).
- ESPARZA, J. 2004. Aplicación de lodos de la industria de celulosa a suelos Andisoles chilenos. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. Simposio: Residuos orgánicos y su uso en sistemas agroforestales. Boletín nº 20. 481 p.
- GUAMAN, J. 1997. Manejo integral de residuos sólidos producidos por la Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 15 p.
- HAVLIN, J. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. New Jersey, E.E.U.U. Prentice Hall Upper Saddle River. 499 p.
- HERNÁNDEZ, D. 2002. Variación estacional de la concentración de nutrientes minerales en cultivares de *Lolium perenne* L. Valdivia. Tesis Lic. Agr. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 88 p.
- HUE, N. V. 1995. Soil amendments and environmental quality. Soil and Water Science Department, University of Florida. (ed) Jack E. Rechcigl. Capítulo 6 Sewage sludge. pp: 199-235.

LIGNUM, 2003. http://www.lignum.cl/ver_noticia.php?doc=917 (2 jun. 2003)

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*. Volumen 26: 522-528.

MAZZARINO, M., 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*. Volumen 44 (1): 105-113.

MORALES, D. 2000. Rendimiento y calidad nutritiva de una pradera establecida con especies nativas y naturalizadas en su segundo año de producción. Tesis Lic. Agr. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 105 p.

NAYLOR, S. MOCCIA, R. y DURANT, G. 1999. The Chemical Composition of Setteable Solid Fish Waste (Manure) from Comercial Rainbow Trout Faros in Notario, Canada. *North American Journal of Aquaculture*. Volumen 61: 21-26.

NUÑEZ, J. y DONOSO, T. 1995. Estrategias de alimentación y evaluación de residuos en balsas jaulas en el lago Rupanco. Osorno, Chile. *Medio Ambiente*. Volumen 12 (2): 76-81.

NUÑEZ , M. 2000. Caracterización, Clasificación y Tratamiento de Fangos Residuales de Piscicultura Salmonidea para su Biodisponibilidad como Bioremediador y Fertilizante Orgánico. Tesis Lic. Acuic. Santiago. Universidad Nacional Andrés Bello. Facultad de Ecoligía y Recursos Naturales. 170 p.

- OLSON, G., BLAKE, J., DONALD, J. y MAGETTE, W. 1992. The use of trout manure as a fertilizer for Idaho crops. National livestock, poultry and aquaculture waste management: proceedings of the national workshop, 29-31. (Original no consultado). Compendiado en CAB Abstract AN 19931978388. pp: 198-205.
- PINOCHET, D., ARTACHO, P. y AZUA, P. 2001. Potencialidad como abono orgánico de los desechos sólidos subproductos del cultivo de especies salmonídeas. Agro Sur. (Chile) 29(1): 78-82.
- PINOCHET, D., DE ARMAS, M., SOLÍS, J. Y 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. Boletín nº 20. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 59-68.
- RIVERO, C. (s/f). Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre las propiedades químicas de dos suelos en Venezuela. <http://www.redpavfpolar.info.ve/venesuel/v031/v031a050.html> (23 ene. 2004).
- RODRÍGUEZ, J. 1992. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. 362 p.
- RODRÍGUEZ, S. 1993. Determinación cuantitativa de la carga de desechos ingresados al lago Ranco por efecto del cultivo de especies salmonídeos. Tesis Lic. Biología Marina. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias. 147 p.

- RODRÍGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 287 p.
- RODRÍGUEZ, J. 2002. Fertilizantes orgánicos. http://www.terra.es/personal/forma_xxi/cono17.htm (8 mar. 2004).
- RUIZ, N. 1996. Evaluación de diez variedades de ballica de crecimiento invernal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación La Platina. Departamento de Producción Animal. Santiago, Chile. Informe Técnico 1994/1995. pp: 23-27.
- SADZAWKA 2004. Método de Análisis de Tejidos Vegetales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 53p
- SADZAWKA 1990. Método de Análisis de Suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 62 p.
- SIEGEL S. 1956. Non parametric statistics for the behaviorsciences. Tokyo, McGraw-Hill. 312 p.
- SOKAL R. y ROHLF J. 1979. Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. España, Blume. 832 p.
- TERRAM, 2002. <http://www.Terram.cl/DocumentosTerram/An%ElisisdePol%EdticasP%Fablicas/APP-2CrecimientoInfinito,ElmitodelaSalmonicultura enChile.pdf> (7 jun. 2003).
- TEUBER, N., SALAZAR, F. y VALDEBENITO, A. 2004. Respuesta del cultivo de papa y efecto residual en ballica anual a la incorporación de diferentes dosis de lodo proveniente de la producción intensiva de salmonídeos. In:

Boletín Nº 20, Simposio Residuos orgánicos y su uso en sistemas agroforestales (ed. M. de la Luz Mora), Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile. pp:207-215.

TOSSO, J. 1985. Suelos Volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. Santiago. 726 p.

VYHMEISTER, M. 2000. Evaluación del rendimiento y calidad nutritiva de cultivares de *Lolium perenne* L. y *Lolium multiflorum* Lam., bajo las condiciones edafoclimáticas de Valdivia. Valdivia. Universidad austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 61 p.

WESTERMAN, P. 1993. Trout manure characterization and nitrogen mineralization rate. Techniques-For-Modern-Aquaculture. Wang,-J.-K.-ed. (Original no consultado). Compendiado en CAB Abstract AN 3546962

ZUNZUNEGUI R. 1990. Efectos de la Producción intensiva de peces en sistemas de agua dulce. Valdivia. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. 156 p.

ANEXOS

ANEXO 1 Evapotranspiración y precipitación mensual durante el ensayo.

Mes	Evaporación mensual (mm)		Precipitación mensual (mm)	
	2002	2003	2002	2003
Enero	173,2	143,7	16,6	24,8
Febrero	157	110,9	41,5	16,9
Marzo	73,5	111	86,5	37
Abril	38,9	53,2	113,4	86,3
Mayo	17,3	19,2	272,9	53,6
Junio	12	12,3	137,2	257,7
Julio	13	15,9	194,8	152,7
Agosto	21,7	32,0	248,5	99,7
Septiembre	33,7	41,0	126,1	173,5
Octubre	68,1	84,8	270,5	105,9
Noviembre	100,1	96,8	106,8	92,9
Diciembre	141,2	126,1	53,2	59,6

FUENTE: Estación Agrometeorológica CRI-Remehue.

ANEXO 2 Temperatura media en cobertizo y en superficie durante el ensayo.

Fecha	Temperatura media cobertizo (C°)		Temperatura media 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	14,2
Abril	10,5	10,9	9,8	*
Mayo	9,8	9,9	9,2	*
Junio	6,4	9,2	5,6	7,9
Julio	7,4	7,1	6,9	6,7
Agosto	9	8,3	8,3	7,2
Septiembre	9,1	9,5	9,6	8,7
Octubre	10,3	11,4	12	10,6
Noviembre	12,5	13,3	13,8	13,1
Diciembre	14,8	12,8	10,8	12,5

FUENTE: Estación Agrometeorológica CRI-Remehue.

* No existen registros.

ANEXO 3 Promedios históricos (últimos 27 años).

Meses	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	T° media cobertizo
Enero	48,2	156	15,6
Febrero	44,1	124,2	15,3
Marzo	61,8	86,4	13,8
Abril	108,3	40,5	11,2
Mayo	184	21,9	9,4
Junio	196,8	15,3	7,4
Julio	182,9	17,3	7,1
Agosto	147,2	27,3	8,0
Septiembre	107,2	47,8	9,2
Octubre	84,8	80,2	10,8
Noviembre	63,3	106,4	12,4
Diciembre	49,7	143	14,5

ANEXO 4 Análisis de lodos.

Parámetros	Repetición	Lodo de mar	lodo de lago
MS (%)	1	15,5	11,5
	2	17,7	11,5
	3	15,1	11,3
	4	14,8	11,4
Cenizas (%)	1	85,7	78
	2	85,5	77,8
	3	85,1	77,7
	4	85	77,9
MO (%)	1	14,3	22
	2	14,5	22,2
	3	14,9	22,3
	4	15	22,1
N total (%)	1	0,12	0,19
	2	0,14	0,19
	3	0,13	0,19
	4	0,13	0,19
N-NH ₃ fresco (%)	1	0,008	0,068
	2	0,009	0,074
	3	0,008	0,073
	4	0,008	0,068
C (%)	1	7,95	12,2
	2	8,08	12,34
	3	8,3	12,38
	4	8,32	12,31
Relación C/N	1	10,11	7,31
	2	9,93	7,31
	3	9,41	7,53
	4	9,67	7,3
pH	1	7,78	7,1
	2	7,85	7,08
	3	7,89	7,1
	4	7,8	7,1
P seco (%)	1	1,67	0,86
	2	1,7	0,84
	3	1,53	0,83
	4	1,54	0,84

(Continúa)

Continuación Anexo 4.

Parámetros	Repetición	Lodo de mar	lodo de lago
Ca seco (%)	1	4,23	2,75
	2	4,55	2,77
	3	4,2	2,75
	4	4,16	2,76
Mg seco (%)	1	1,18	0,36
	2	1,15	0,37
	3	1,23	0,36
	4	1,27	0,37
Na seco (%)	1	4,9	0,15
	2	4,53	0,14
	3	5,33	0,15
	4	5,43	0,16
K seco (%)	1	0,36	0,07
	2	0,36	0,06
	3	0,41	0,05
	4	0,42	0,07
Zn seco (ppm)	1	283	328,3
	2	276,2	332,6
	3	285,6	337
	4	273,4	326,2
Fe seco (ppm)	1	15949	24096
	2	16628	25091
	3	17325	24394
	4	16746	25128
Mn seco (ppm)	1	173	288
	2	162	297
	3	181	310
	4	173	299
Cu seco (ppm)	1	95,7	37,7
	2	108,2	41
	3	85,7	43,4
	4	132,3	39,5
Al seco (ppm)	1	25439	36822
	2	29651	35555
	3	27145	39534
	4	27516	37348
Densidad (l/kg)	1	1,076	*
	2	1,096	*
	3	1,079	*
	4	1,077	*

* No se midió

ANEXO 5 Producción del 1^{er} corte (17-10-2002) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	202	24,00	81
	2	110	25,09	46
	3	1253	17,35	362
	4	489	19,65	160
	Promedio	514	22	162
Lodo lago 30	1	1713	16,15	461
	2	1380	17,75	408
	3	1073	19,4	347
	4	1143	18,75	357
	Promedio	1327	18	393
Lodo lago 60	1	3197	17,55	935
	2	3907	14,85	967
	3	3441	15,9	912
	4	2273	16,85	638
	Promedio	3205	16	863
Lodo lago 90	1	3107	16,45	852
	2	5269	14,95	1313
	3	6725	15,3	1715
	4	2528	17,45	735
	Promedio	4407	16	1154
Fertilización inorgánica	1	2977	16,6	824
	2	6460	14,35	1545
	3	4641	15,95	1234
	4	5948	14,85	1472
	Promedio	5007	15	1269

ANEXO 6 Producción del 2º corte (14-01-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	4250	16,95	1201
	2	1950	19,2	624
	3	8000	17	2267
	4	4100	18	1230
	Promedio	4575	18	1331
Lodo lago 30	1	7600	16,75	2122
	2	4100	18,75	1281
	3	5400	17,25	1553
	4	4700	18,75	1469
	Promedio	5450	18	1606
Lodo lago 60	1	8150	17,2	2336
	2	10750	16,05	2876
	3	9650	17,1	2750
	4	5400	18,4	1656
	Promedio	8488	17	2405
Lodo lago 90	1	5000	17,9	1492
	2	9350	16,9	2634
	3	8550	17,7	2522
	4	6000	18,95	1895
	Promedio	7225	18	2136
Fertilización inorgánica	1	10100	15,55	2618
	2	10350	15,5	2674
	3	8600	16,25	2329
	4	10300	15,45	2652
	Promedio	9838	16	2568

ANEXO 7 Producción del 3^{er} corte (17-02-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	4400	19,9	1459
	2	3000	21,75	1088
	3	3200	21,1	1125
	4	3600	22,3	1338
	Promedio	3550	21	1253
Lodo lago 30	1	2600	20,95	908
	2	1800	23,55	707
	3	3100	20,4	1054
	4	3100	22,2	1147
	Promedio	2650	22	954
Lodo lago 60	1	2500	20,5	854
	2	5400	18,6	1674
	3	5200	19,9	1725
	4	3100	21,05	1088
	Promedio	4050	20	1335
Lodo lago 90	1	2700	20,05	902
	2	4800	18,55	1484
	3	2600	15,15	657
	4	2600	21,05	912
	Promedio	3175	19	989
Fertilización inorgánica	1	4900	19,9	1625
	2	2200	21,55	790
	3	3400	18,75	1063
	4	4200	21,6	1512
	Promedio	3675	20	1248

ANEXO 8 Producción del 4º corte (07-05-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	998	20,8	346
	2	607	20,5	208
	3	1199	21,3	425
	4	684	20,9	238
	Promedio	872	21	304
Lodo lago 30	1	882	20,7	304
	2	536	21,1	188
	3	729	20,3	247
	4	784	20,9	273
	Promedio	733	21	253
Lodo lago 60	1	1034	20,3	350
	2	1672	20,7	577
	3	1601	21,1	563
	4	723	20,5	247
	Promedio	1258	21	434
Lodo lago 90	1	1109	19,5	360
	2	1635	20,4	556
	3	922	21,1	324
	4	873	20,3	295
	Promedio	1135	20	384
Fertilización inorgánica	1	1556	20,6	534
	2	862	21,3	306
	3	1319	21,2	466
	4	1253	21,3	445
	Promedio	1248	21	438

ANEXO 9 Producción del 5º corte (23-09-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	482	20,75	167
	2	538	18,95	170
	3	1532	18,6	475
	4	984	19,6	321
	Promedio	884	19	283
Lodo lago 30	1	1610	19,55	525
	2	517	20,8	179
	3	459	20,85	160
	4	547	20,6	188
	Promedio	783	20	263
Lodo lago 60	1	2764	19	875
	2	2283	18,6	708
	3	2277	16,9	641
	4	695	19,9	231
	Promedio	2005	19	614
Lodo lago 90	1	494	20,2	166
	2	3093	17,5	902
	3	2071	18,5	639
	4	819	19,65	268
	Promedio	1619	19	494
Fertilización inorgánica	1	1710	19,5	556
	2	2424	18,8	760
	3	1222	20	407
	4	2781	19,35	897
	Promedio	2034	19	655

ANEXO 10 Producción del 6º corte (30-10-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/3m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	1016	18,1	613
	2	418	20,6	287
	3	1101	16,7	613
	4	1378	17,55	806
	Promedio	978	18	580
Lodo lago 30	1	1170	16,35	638
	2	425	20,7	293
	3	777	18,45	478
	4	1073	19,5	697
	Promedio	861	19	527
Lodo lago 60	1	1694	18,65	1053
	2	1372	17,25	789
	3	2009	15,95	1068
	4	957	18,65	595
	Promedio	1508	18	876
Lodo lago 90	1	484	19,15	309
	2	1718	16	916
	3	1932	18,2	1172
	4	790	18,2	479
	Promedio	1231	18	719
Fertilización inorgánica	1	1117	17,45	650
	2	1314	18,75	821
	3	987	18,55	610
	4	1510	18,25	919
	Promedio	1232	18	750

ANEXO 11 Composición botánica del 4º corte a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de lago.

Tratamientos	Repetición	Ballica		Material muerto	
		peso seco	%	peso seco	%
Testigo	1	7	71,7	2,8	28,3
	2	6,8	67	3,3	33
	3	6,9	66,3	3,5	33,7
	4	6,5	65,8	3,4	34,2
	Promedio	6,8	67,7	3,3	32,3
Lodo lago 30	1	6,2	63,4	3,6	36,6
	2	6,6	68,2	3,1	31,8
	3	6,9	71,4	2,8	28,6
	4	7,4	75,3	2,4	24,7
	Promedio	6,8	69,6	3,0	30,4
Lodo lago 60	1	6,9	69,9	3	30,1
	2	6,7	68,8	3	31,2
	3	7,6	75,6	2,5	24,4
	4	6,7	70,1	2,9	29,9
	Promedio	7,0	71,1	2,9	28,9
Lodo lago 90	1	5,7	61	3,7	39
	2	7,3	74,5	2,5	25,5
	3	7,1	72	2,8	28
	4	6,3	64,7	3,4	35,3
	Promedio	6,6	68,1	3,1	32,0
Fertilización inorgánica	1	5,9	62,1	3,6	37,9
	2	7,7	78	2,2	22
	3	6,1	61,7	3,8	38,3
	4	6,7	67,8	3,2	32,2
	Promedio	6,6	67,4	3,2	32,6

ANEXO 12 Producción del 1º corte (17-02-2002) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	59	30,84	30
	2	128	23,43	50
	3	75	34,13	43
	4	301	22,25	112
	Promedio	141	28	59
Lodo mar 30	1	4827	14,55	1171
	2	3858	16,5	1061
	3	4413	16,05	1180
	4	2698	18,9	850
	Promedio	3949	17	1066
Lodo mar 60	1	6719	14	1568
	2	6981	14,05	1635
	3	4923	16,15	1325
	4	6768	15,15	1709
	Promedio	6348	15	1559
Lodo mar 90	1	6162	15,05	1546
	2	5431	15,85	1435
	3	6024	17	1707
	4	10337	13,1	2257
	Promedio	6989	15	1736
Fertilización inorgánica	1	3773	16,5	1038
	2	3494	14,8	862
	3	3279	16,5	902
	4	3679	19,1	1171
	Promedio	3556	17	993

ANEXO 13 Producción del 2º corte (14-01-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	1500	20,85	521
	2	3100	20,5	1059
	3	1400	21,65	505
	4	2200	22,6	829
	Promedio	2050	21	729
Lodo mar 30	1	7700	14,5	1861
	2	7100	18,75	2219
	3	9250	16,4	2528
	4	3400	20,45	1159
	Promedio	6863	18	1942
Lodo mar 60	1	7200	17,3	2076
	2	7700	16	2053
	3	3650	21	1278
	4	5800	17,4	1682
	Promedio	6088	18	1772
Lodo mar 90	1	6700	17,1	1910
	2	5050	18,85	1587
	3	5750	18,65	1787
	4	11100	14,95	2766
	Promedio	7150	17	2013
Fertilización inorgánica	1	5250	18,85	1649
	2	8000	18	2400
	3	6450	19,5	2096
	4	4200	20,4	1428
	Promedio	5975	19	1893

**ANEXO 14 Producción del 3º corte (17-02-2003) a la pradera en el ensayo
de evaluación de lodo de mar.**

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	2400	24,35	974
	2	4400	20,75	1522
	3	1800	23,65	710
	4	3100	20,85	1077
	Promedio	2925	22	1071
Lodo mar 30	1	2800	19,65	917
	2	2600	20,45	886
	3	3900	19,4	1261
	4	2400	21,3	852
	Promedio	2925	20	979
Lodo mar 60	1	2500	19	792
	2	3400	20,05	1136
	3	2000	20,95	698
	4	2200	19,9	730
	Promedio	2525	20	839
Lodo mar 90	1	3600	18,5	1110
	2	2900	19,8	957
	3	3100	19,45	1005
	4	5000	18,9	1575
	Promedio	3650	19	1162
Fertilización inorgánica	1	3200	20,25	1080
	2	2900	21,7	1049
	3	2200	21,95	805
	4	3100	20,96	1080
	Promedio	2850	21	1004

ANEXO 15 Producción del 4º corte (07-05-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	601	21,7	217
	2	917	20,3	310
	3	584	23,1	225
	4	558	21,4	199
	Promedio	665	22	238
Lodo mar 30	1	994	21,4	354
	2	745	21,4	266
	3	1360	21,7	469
	4	626	22,5	235
	Promedio	931	22	331
Lodo mar 60	1	1248	22,6	470
	2	1004	22,1	370
	3	943	21,5	338
	4	907	20,7	313
	Promedio	1026	22	373
Lodo mar 90	1	1608	21,4	573
	2	891	21,7	322
	3	1350	22,7	511
	4	1636	20,8	567
	Promedio	1371	22	493
Fertilización inorgánica	1	945	21,3	336
	2	844	22,5	316
	3	871	21,9	318
	4	737	21,7	267
	Promedio	849	22	309

ANEXO 16 Producción del 5º corte (23-09-2003) a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar.

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/6m ²)	Materia seca (g/100g)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	221	20,95	77
	2	705	19,80	233
	3	353	20,85	123
	4	341	19,95	113
	Promedio	405	20	136
Lodo mar 30	1	2045	19,25	656
	2	1647	20,45	561
	3	2121	18,30	647
	4	434	20,80	150
	Promedio	1562	20	504
Lodo mar 60	1	2503	18,85	786
	2	1948	20,10	653
	3	412	20,85	143
	4	1683	19,85	557
	Promedio	1637	20	535
Lodo mar 90	1	1296	19,30	417
	2	725	20,05	242
	3	2763	19,20	884
	4	3864	18,10	1166
	Promedio	2162	19	677
Fertilización inorgánica	1	3002	20,25	1013
	2	1009	20,65	347
	3	1159	20,20	390
	4	767	21,00	268
	Promedio	1484	21	505

**ANEXO 17 Producción del 6º corte (30-10-2003) a la pradera en el ensayo
de evaluación de lodo de mar.**

Tratamientos	Repetición	Materia verde (g/3m ²)	Materia seca (%)	Producción (kg MS/ha)
Testigo	1	826	19,95	549
	2	1178		0
	3	766	20,05	512
	4	926	18,15	560
	Promedio	924	19	405
Lodo mar 30	1	1433	18,05	862
	2	1255	17,9	749
	3	1708	16	911
	4	635	19,15	405
	Promedio	1258	18	732
Lodo mar 60	1	1479	17,55	865
	2	1546	18,15	935
	3	775	18,95	490
	4	1477	17,05	839
	Promedio	1319	18	782
Lodo mar 90	1	1067	19	676
	2	595	20,45	406
	3	1730	16,8	969
	4	1736	16,05	929
	Promedio	1282	18	745
Fertilización inorgánica	1	1244	18,35	761
	2	1214	19,2	777
	3	806	19,55	525
	4	850	18,45	523
	Promedio	1029	19	647

ANEXO 18 Composición botánica del 4º corte a la pradera en el ensayo de evaluación de lodo de mar.

Tratamientos	Repetición	Ballica		Material muerto	
		peso seco	%	peso seco	%
Testigo	1	6,1	60,4	4	39,6
	2	7,4	76,3	2,3	23,7
	3	6,4	59,3	4,4	40,7
	4	7,8	76,5	23,5	23,5
	Promedio	7	68	9	32
Lodo mar 30	1	7,2	70,3	29,7	29,7
	2	7	72,2	27,8	27,8
	3	7,1	70,3	29,7	29,7
	4	7,4	69,2	30,8	30,8
	Promedio	7	71	30	30
Lodo mar 60	1	6,6	61,1	38,9	38,9
	2	7,8	74,3	25,7	25,7
	3	7,1	68,3	31,7	31,7
	4	6,7	68,4	31,6	31,6
	Promedio	7	68	32	32
Lodo mar 90	1	7,1	69,6	30,4	30,4
	2	7,4	72,5	27,5	27,5
	3	7,8	73,6	26,4	26,4
	4	7,4	76,3	23,7	23,7
	Promedio	7,4	73	27	27
Fertilización inorgánica	1	6,8	66,7	33,3	33,3
	2	7,3	67,3	32,7	32,7
	3	7	68	32	32
	4	7,8	74,3	25,7	25,7
	Promedio	7	69	31	31

ANEXO 19 Análisis Bromatológico.

IDENTIFICACION	M.S.	Cen	Prot	N	P	Na	K
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Siembra ballica lodo mar 101 17/12/02	93,3	10,9	23,1	3,70	0,13	0,04	2,30
Siembra ballica lodo mar 102	94,1	12,2	21,8	3,48	0,23	0,23	2,33
Siembra ballica lodo mar 103	93,3	12,0	21,2	3,39	0,24	0,34	4,51
Siembra ballica lodo mar 104	93,7	11,9	18,0	2,87	0,24	0,42	3,22
Siembra ballica lodo mar 105	94,1	9,6	18,5	2,95	0,20	0,23	3,12
Siembra ballica lodo mar 201	93,5	11,1	16,4	2,63	0,22	0,37	2,91
Siembra ballica lodo mar 202	93,7	11,5	16,3	2,61	0,24	0,67	2,33
Siembra ballica lodo mar 203	93,3	11,0	19,2	3,07	0,15	0,20	2,35
Siembra ballica lodo mar 204	93,8	12,7	19,5	3,12	0,24	0,26	2,32
Siembra ballica lodo mar 205	93,2	16,4	20,1	3,22	0,18	0,09	3,57
Siembra ballica lodo mar 301	94,7	11,6	15,8	2,53	0,25	0,85	2,48
Siembra ballica lodo mar 302	93,6	14,7	20,6	3,30	0,18	0,15	2,74
Siembra ballica lodo mar 303	94,1	12,9	17,3	2,76	0,30	0,62	2,43
Siembra ballica lodo mar 304	94,7	10,9	21,2	3,40	0,21	0,23	3,11
Siembra ballica lodo mar 305	94,1	11,0	20,5	3,28	0,20	0,37	3,29
Siembra ballica lodo mar 401	94,5	9,8	13,8	2,20	0,20	0,24	2,57
Siembra ballica lodo mar 402	94,1	11,5	17,1	2,74	0,19	0,16	3,03
Siembra ballica lodo mar 403	93,9	12,0	21,5	3,44	0,15	0,11	2,24
Siembra ballica lodo mar 404	93,6	10,8	15,5	2,48	0,25	0,69	2,88
Siembra ballica lodo mar 405	94,0	12,5	20,9	3,35	0,25	0,71	3,79

(Continúa)

Continuación Anexo 19

IDENTIFICACION	M.S.	Cen	Prot	N	P	Na	K
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Siembra ballica lodo mar 101 14/01/03	92,6	9,5	18,3	2,92	0,15	0,21	2,77
Siembra ballica lodo mar 102	93,3	12,5	16,4	2,62	0,20	0,72	3,86
Siembra ballica lodo mar 103	93,7	11,4	12,7	2,04	0,25	0,58	2,84
Siembra ballica lodo mar 104	92,0	12,7	13,4	2,14	0,27	0,43	3,23
Siembra ballica lodo mar 105	91,7	11,6	13,0	2,08	0,23	0,21	3,48
Siembra ballica lodo mar 201	92,7	11,4	11,7	1,87	0,33	0,81	2,17
Siembra ballica lodo mar 202	92,6	12,1	13,5	2,15	0,25	0,98	2,36
Siembra ballica lodo mar 203	92,4	10,9	14,9	2,38	0,22	0,61	2,85
Siembra ballica lodo mar 204	92,5	11,0	12,5	2,00	0,21	0,63	2,40
Siembra ballica lodo mar 205	92,4	9,8	17,1	2,74	0,17	0,24	2,88
Siembra ballica lodo mar 301	92,6	11,3	11,7	1,88	0,24	0,46	1,91
Siembra ballica lodo mar 302	92,6	9,9	16,9	2,70	0,14	0,38	1,93
Siembra ballica lodo mar 303	93,0	12,2	12,0	1,92	0,31	0,55	3,08
Siembra ballica lodo mar 304	92,9	10,4	14,6	2,34	0,20	0,43	2,96
Siembra ballica lodo mar 305	92,1	11,4	14,0	2,25	0,22	0,78	2,91
Siembra ballica lodo mar 401	92,7	11,7	12,1	1,94	0,22	0,30	2,84
Siembra ballica lodo mar 402	92,7	9,9	11,5	1,85	0,17	0,36	2,43
Siembra ballica lodo mar 403	92,6	9,7	15,8	2,52	0,17	0,45	2,10
Siembra ballica lodo mar 404	94,0	12,3	12,5	2,01	0,30	0,50	3,32
Siembra ballica lodo mar 405	92,1	12,5	12,9	2,07	0,26	1,25	2,24

(Continúa)

Continuación Anexo 19

IDENTIFICACION	M.S.	Cen	Prot	N	P	Na	K
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Siembra ballica lodo mar 101 compuesta	93,4	8,5	11,5	1,84	0,13	0,21	1,82
Siembra ballica lodo mar 102	93,2	10,2	12,3	1,97	0,23	0,44	1,68
Siembra ballica lodo mar 103	90,3	7,8	12,8	2,05	0,26	0,60	1,32
Siembra ballica lodo mar 104	93,1	10,8	11,6	1,86	0,27	0,51	1,59
Siembra ballica lodo mar 105	93,6	9,5	12,0	1,93	0,22	0,29	1,77
Siembra ballica lodo mar 201	92,5	10,3	10,7	1,72	0,26	0,51	1,42
Siembra ballica lodo mar 202	92,0	10,5	12,3	1,97	0,27	0,72	1,33
Siembra ballica lodo mar 203	92,7	9,6	11,6	1,86	0,17	0,27	2,12
Siembra ballica lodo mar 204	93,0	9,7	11,4	1,83	0,23	0,42	1,81
Siembra ballica lodo mar 205	92,8	9,1	12,3	1,96	0,17	0,39	1,92
Siembra ballica lodo mar 301	92,1	10,7	11,5	1,84	0,26	0,47	1,34
Siembra ballica lodo mar 302	92,2	9,1	11,7	1,87	0,14	0,43	1,36
Siembra ballica lodo mar 303	92,7	10,8	12,4	1,99	0,28	0,60	1,71
Siembra ballica lodo mar 304	92,5	10,3	12,1	1,94	0,19	0,18	1,94
Siembra ballica lodo mar 305	92,6	10,3	12,8	2,05	0,24	0,56	1,70
Siembra ballica lodo mar 401	91,8	10,8	11,1	1,78	0,23	0,28	1,87
Siembra ballica lodo mar 402	91,7	10,5	11,3	1,81	0,20	0,18	2,20
Siembra ballica lodo mar 403	92,6	9,7	12,8	2,05	0,18	0,43	1,66
Siembra ballica lodo mar 404	92,1	10,3	12,2	1,96	0,27	0,49	1,54
Siembra ballica lodo mar 405	91,9	10,9	12,6	2,01	0,29	0,76	1,28

ANEXO 20 Análisis inicial de suelo (ensayo con lodo de lago).

Muestra	P	pH	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	Sat. Al
	ppm	H ₂ O	CaCl ₂	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(%)
1	3,7	5,9	5,0	2,7	0,6	0,4	0,1	0,2	4,5
2	3,7	5,6	5,0	2,7	0,6	0,5	0,2	0,2	5,8
3	4,0	5,8	5,0	3,2	0,8	0,5	0,2	0,2	4,8
4	3,7	5,8	5,0	3,0	0,7	0,4	0,2	0,2	4,9
Promedio	3,8	5,8	5,0	2,9	0,7	0,4	0,2	0,2	5,0

ANEXO 21 Análisis inicial de suelo (ensayo con lodo de mar).

Muestra	P	pH	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	Sat. Al
	ppm	H ₂ O	CaCl ₂	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(cmol ₍₊₎ /Kg)	(%)
1	3,9	5,8	5,0	2,6	0,7	0,4	0,2	0,2	5,0
2	3,9	5,9	5,0	3,6	0,8	0,4	0,2	0,2	3,8
3	3,6	5,9	5,0	3,3	0,7	0,4	0,2	0,2	3,9
4	3	5,8	5,1	3,0	0,6	0,4	0,2	0,1	3,2
Promedio	3,6	5,8	5,0	3,1	0,7	0,4	0,2	0,2	4,0

ANEXO 22 Análisis final de suelo (ensayo con lodo de lago).

Tratamientos	P	pH	pH	Saturación Al
	ppm	H ₂ O	CaCl ₂	%
Testigo	4,9	5,8	4,9	6,47
	4,3	5,8	5,0	4,53
	5,2	5,8	5,0	5,12
	4,4	5,8	5,0	5,03
Lodo 30	5,3	5,7	5,0	5,42
	4,9	5,9	5,1	3,65
	4,1	5,8	5,0	6,22
	5,0	5,7	4,9	6,76
Lodo 60	5,7	5,8	5,0	3,79
	4,9	5,7	4,9	7,73
	5,7	5,7	5,0	4,27
	4,3	5,8	5,1	4,44
Lodo 90	5,3	5,8	5,0	4,49
	5,3	5,7	5,0	5,24
	4,3	5,7	4,9	7,14
	5,2	5,8	5,0	5,03
Fertilización inorgánica	5,6	5,9	5,1	3,21
	5,0	5,8	5,0	5,34
	5,7	5,8	5,0	4,00
	6,0	5,8	5,0	4,51

(Continúa)

Continuación Anexo 22.

Tratamientos	Ca (cmol(+)/Kg)	Mg (cmol(+)/Kg)	K (cmol(+)/Kg)	Na (cmol(+)/Kg)	Al (cmol(+)/Kg)
Testigo	3,17	0,89	0,36	0,20	0,3
	2,62	0,63	0,3	0,16	0,2
	3,53	0,98	0,33	0,11	0,3
	3,21	0,85	0,28	0,13	0,2
Lodo 30	3,7	0,95	0,38	0,16	0,3
	3,32	0,85	0,32	0,17	0,2
	2,51	0,67	0,26	0,12	0,2
Lodo 60	2,98	0,76	0,28	0,18	0,3
	4,42	1,13	0,33	0,15	0,2
	2,87	0,69	0,35	0,11	0,3
	4,03	1,07	0,35	0,15	0,3
Lodo 90	3,18	0,73	0,29	0,17	0,2
	3,49	0,8	0,33	0,19	0,2
	3,67	0,92	0,32	0,13	0,3
	2,65	0,65	0,26	0,09	0,3
Fertilización inorgánica	3,09	0,72	0,28	0,12	0,2
	3,5	0,9	0,42	0,17	0,2
	3,28	0,87	0,31	0,13	0,3
	3,84	1,04	0,37	0,17	0,2
	3,67	0,97	0,31	0,16	0,2

ANEXO 23 Análisis final de suelo (ensayo con lodo de mar).

tamientos	P ppm	pH H₂O	pH CaCl₂	Saturación Al %
Testigo	4,6	5,8	5,0	4,5
	3,9	5,8	5,0	4,1
	3,6	5,8	5,0	5,3
	3,9	5,9	5,1	3,1
Lodo 30	5,5	5,9	5,0	4,2
	4,5	5,9	5,0	3,5
	6,1	6,0	5,1	3,0
	4,6	5,9	5,0	5,0
Lodo 60	6,4	6,0	5,1	2,8
	5,5	6,0	5,1	3,5
	5,2	6,0	5,0	4,2
	5,8	6,1	5,2	1,8
Lodo 90	7,0	6,1	5,1	2,7
	8,3	6,1	5,2	1,8
	6,7	6,0	5,1	2,7
	7,7	6,0	5,2	1,8
Fertilización inorgánica	6,2	5,8	5,0	3,7
	5,2	5,8	5,0	5,0
	5,8	5,9	5,0	4,0
	4,0	5,9	5,0	3,5

Continuación Anexo 23

Tratamientos	Ca	Mg	K	Na	Al
	(cmol(+)/Kg)	(cmol(+)/Kg)	(cmol(+)/Kg)	(cmol(+)/Kg)	(cmol(+)/Kg)
Testigo	3,13	0,80	0,29	0,15	0,21
	3,25	0,82	0,38	0,16	0,20
	3,24	0,69	0,27	0,17	0,25
	3,74	0,77	0,30	0,23	0,16
Lodo 30	3,16	0,88	0,28	0,40	0,21
	3,47	0,95	0,26	0,39	0,18
	3,94	1,07	0,31	0,37	0,17
Lodo 60	3,00	0,76	0,28	0,35	0,23
	3,90	1,18	0,28	0,55	0,17
	3,26	0,95	0,24	0,52	0,18
	3,15	0,90	0,21	0,50	0,21
Lodo 90	4,49	1,25	0,30	0,62	0,12
	3,38	1,09	0,27	0,69	0,15
	4,02	1,30	0,25	0,66	0,12
	3,76	1,02	0,25	0,57	0,16
Fertilización inorgánica	5,00	1,49	0,35	0,58	0,13
	3,76	0,99	0,36	0,16	0,20
	3,35	0,85	0,32	0,19	0,25
	3,54	0,85	0,34	0,21	0,20
	3,54	0,79	0,31	0,22	0,18

ANEXO 24 Concentración de nutrientes en la planta (Ensayo lodo de lago).

Tratamientos	Repetición	N (g/100g)	P (g/100g)	K (g/100g)
Testigo	1	2,88	1,29	2,56
	2	2,79	1,24	2,82
	3	3,25	1,53	2,62
	4	3,05	1,49	2,61
	Promedio	2,99	1,39	2,65
Lodo 30	1	2,87	0,17	1,90
	2	2,57	0,22	2,18
	3	2,61	0,19	1,96
	4	2,67	0,18	1,98
	Promedio	2,68	0,19	2,01
Lodo 60	1	2,88	0,20	1,83
	2	3,17	0,21	2,65
	3	2,93	0,21	3,57
	4	2,77	0,20	1,75
	Promedio	2,94	0,21	2,45
Lodo 90	1	2,28	0,19	2,06
	2	2,94	0,21	2,13
	3	2,60	0,23	2,19
	4	2,57	0,23	1,82
	Promedio	2,60	0,22	2,05
Fertilización inorgánica	1	2,69	0,18	2,62
	2	2,81	0,22	2,40
	3	2,51	0,18	2,61
	4	2,75	0,20	2,30
	Promedio	2,69	0,20	2,48

ANEXO 25 Concentración de nutrientes en la planta (Ensayo lodo de mar).

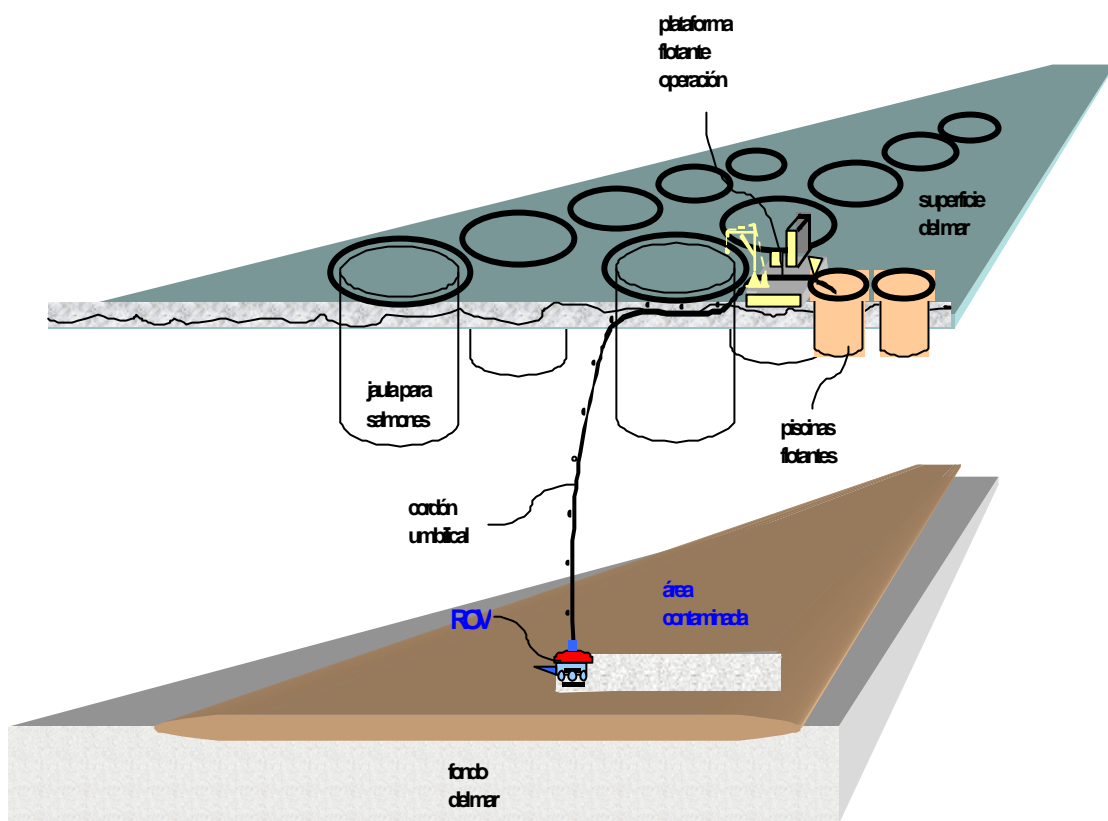
Tratamientos	Repetición	N (g/100g)	P (g/100g)	K (g/100g)
Testigo	1	2,82	0,14	2,30
	2	2,64	0,17	2,79
	3	2,62	0,15	2,01
	4	2,67	0,17	2,00
	Promedio	2,69	0,16	2,28
Lodo 30	1	2,69	0,22	2,62
	2	2,32	0,23	2,18
	3	2,53	0,22	2,63
	4	1,97	0,22	2,43
	Promedio	2,38	0,22	2,47
Lodo 60	1	2,49	0,25	2,89
	2	2,24	0,25	2,01
	3	2,08	0,25	1,91
	4	2,15	0,27	2,58
	Promedio	2,24	0,26	2,35
Lodo 90	1	2,29	0,26	2,68
	2	2,07	0,27	2,17
	3	2,22	0,30	2,41
	4	2,48	0,27	2,44
	Promedio	2,27	0,28	2,43
Fertilización inorgánica	1	2,32	0,22	2,79
	2	2,44	0,18	2,44
	3	2,56	0,20	2,67
	4	2,13	0,19	2,55
	Promedio	2,36	0,20	2,61

ANEXO 26 Absorción de nutrientes en ballica (Ensayo de lago).

Tratamientos	Repetición	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Testigo	1	104,8	5,8	77,2
	2	63,1	3,8	55,3
	3	159,2	6,4	105,3
	4	116,7	6,0	90,9
	Promedio	111,0	5,5	82,2
Lodo lago 30	1	132,7	8,0	88,0
	2	72,9	6,2	61,9
	3	93,4	6,9	70,2
	4	102,3	6,9	75,6
	Promedio	100,3	7,0	74,0
Lodo lago 60	1	172,3	12,2	109,8
	2	223,9	14,6	186,7
	3	208,8	15,2	254,1
	4	114,6	8,1	72,4
	Promedio	179,9	12,5	155,7
Lodo lago 90	1	87,1	7,4	58,9
	2	211,7	14,9	153,6
	3	170,1	15,1	143,3
	4	109,6	10,0	77,8
	Promedio	144,6	11,8	108,4
Fertilización inorgánica	1	170,9	11,2	166,2
	2	122,7	13,9	153,6
	3	143,2	10,1	148,7
	4	202,0	14,9	168,5
	Promedio	159,7	12,5	159,2

ANEXO 27 Absorción de nutrientes en ballica (Ensayo de mar).

Tratamientos	Repetición	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Testigo	1	62,2	3,0	50,6
	2	77,8	5,1	82,2
	3	51,6	3,0	39,5
	4	71,8	4,5	53,8
	Promedio	65,8	3,9	56,5
Lodo mar 30	1	146,5	12,0	142,8
	2	123,9	12,1	116,4
	3	164,3	14,3	171,2
	4	67,0	7,4	82,4
	Promedio	125,4	11,4	128,2
Lodo mar 60	1	151,1	15,2	175,2
	2	141,1	15,9	126,2
	3	82,9	9,9	76,0
	4	116,9	14,9	140,2
	Promedio	123,0	14,0	129,4
Lodo mar 90	1	132,6	15,1	155,2
	2	95,3	12,4	99,6
	3	142,3	19,0	154,1
	4	212,5	22,9	209,1
	Promedio	145,7	17,3	154,5
Fertilización inorgánica	1	127,0	11,9	152,7
	2	130,0	9,6	130,2
	3	120,4	9,4	125,5
	4	93,8	8,2	112,3
	Promedio	117,8	9,8	130,2

ANEXO 28 Diseño del equipo colector automático (ROV).

FUENTE: Marco Salamanca Universidad de Concepción