

BIOENSAYOS DE FITOTOXICIDAD DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LECHUGA Y BALLICA ANUAL REALIZADOS EN UN SUELO ALFISOL DEGRADADO

José Celis Hidalgo,¹ Marco Sandoval Estrada,² Mario Briones Luengo³

¹ Centro de Investigación de Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) y Departamento de Ciencias Pecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción, Chillán, Av. Vicente Méndez 595, Chillán. Correspondencia: jcelis@udec.cl

² Centro de Investigación de Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) y Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Av. Vicente Méndez 595, Chillán.

³ Departamento de Ciencias Pecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción, Chillán.

Organic wastes phytotoxicity bioessays on lettuce and annual ryegrass conducted in a degraded Alfisol soil

Keywords: Salmon sludge, sewage sludge, organic fertiliser, biosolids.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the phytotoxicity of different organic wastes. The germination index (IG), radicle/hypocotyl length of lettuce and the biomass of annual ryegrass were evaluated on a degraded granitic soil (Alfisol). The organic wastes were: Municipal sludge (LM), salmon manure from pisciculture (LPT), and salmon manure from lake-cage farming (LSL). Five doses of these materials (sludge/soil) were prepared: 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹. A control without addition was also included. Results indicated that the IG, as well as radicle and hypocotyl length of lettuce was not significantly affected when sludge/soil ratio ranged between 25 to 100 t ha⁻¹. Regarding annual ryegrass all treatments organically amended at dose between 25 and 50 t ha⁻¹ produced significantly ($p \leq 0.05$) more aboveground biomass than the control.

Palabra clave: residuos de salmonicultura, lodo urbano, fertilizante orgánico, biosólidos.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar la fitotoxicidad de distintos residuos orgánicos. Se midió el índice de germinación (IG), la longitud de radícula/hipocotilo de la lechuga y la biomasa de ballica anual en un suelo granítico degradado (Alfisol). Los residuos orgánicos fueron: lodo municipal (LM), lodo de piscicultura salmonídea terrestre (LPT), y lodo de salmonicultura lacustre (LSL). Cinco dosis de estos materiales (lodo/suelo) fueron preparadas: 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹. Un control sin adición también fue incluido. Los resultados indicaron que el IG, así como la longitud de radícula y del hipocotilo de la lechuga no se afectaron significativamente cuando la tasa lodo/suelo varió entre 25 a 100 t ha⁻¹. Con respecto a ballica anual, todos los tratamientos de enmiendas orgánicas en dosis entre 25 y 50 t ha⁻¹ produjeron significativamente ($p \leq 0,05$) más biomasa aérea que el control.

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han demostrado el impacto que tienen los abonos orgánicos en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos contribuyendo a la sustentabilidad de los agroecosistemas (Teuber *et al.*, 2005; Cuevas *et al.*, 2006). La aplicación de medidas que eviten la incorporación de materiales sintéticos, garantizan la presencia de microorganismos benéficos que mejoran la fertilidad y propiedades del suelo (Millaleo *et al.*, 2006). En Chile, son escasos los estudios con lodos municipales y biosólidos de salmonicultura en suelos degradados, aún cuando estos materiales orgánicos han aumentado notablemente en el país durante los últimos años, y todo indica que su generación seguirá creciendo, a riesgo de que pueden constituir un riesgo a la salud, y ocasionar serios problemas de contaminación ambiental si son mal manejados. A través de pruebas de germinación se puede evaluar el efecto de la adición de lodo a suelos agrícolas, pues estos ensayos son indicadores confiables de la madurez del biosólido para ser aplicado al suelo (Zucconi *et al.*, 1981). Celis *et al.* (2006) en un estudio similar al del presente trabajo, pero usando un suelo patagónico (Entisol) encontraron fitotoxicidad a los lodos municipales y de salmonicultura usados en altas dosis (150 t ha⁻¹).

Dado que no hay estudios de aplicación de biosólidos en suelos graníticos degradados

chilenos, resulta importante investigar la disposición de estos residuos y sus efectos en la aplicación en este tipo de suelos. Los suelos graníticos de la Cordillera de la Costa corresponden en su mayoría a los órdenes Alfisoles entre la regiones Quinta y Octava (Pérez y González, 2001). Estas son las regiones de Chile más afectadas por erosión, donde se estima que alrededor de dos millones de hectáreas (63 %) están fuertemente erosionadas (UCHILE, 1999). Esto implica un enorme potencial de suelos que podrían ser destinados como reservorios para el reciclaje de estos residuos mediante algún uso agrícola o forestal. Frente a la enorme cantidad de residuos orgánicos que se generan es necesario realizar estudios referidos a las características químicas, tanto del biosólido mismo, como de la matriz del suelo después de la aplicación. La caracterización de materiales orgánicos definirá la calidad de éstos y por lo tanto la posibilidad de usarlos como recuperadores de suelos degradados. Como consecuencia, de éstas características dependerá el manejo del medio de crecimiento.

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes dosis de extractos de biosólidos municipales y de salmonicultura en un suelo granítico degradado de la Octava Región, sobre la germinación de semillas de lechuga y sobre la biomasa y absorción de nutrientes en ballica anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos del suelo Alfisol se hicieron en un sector perteneciente a la comuna de Quillón (36°40' S y 72°27' W), Región del Biobío. Las muestras del suelo estudiado, fueron obtenidas a 20 cm de profundidad en un suelo granítico de la serie Cauquenes. De acuerdo a los parámetros climáticos y edáficos, estos suelos corresponden a un Ultic Palexeralf, cuya principal característica es que son suelos degradados de textura arcillosa, con fuertes pendientes (>15%), y densidad aparente 1,4 g cm⁻³ (Stolpe, 2005). La zona del muestreo corresponde al secano costero, ubicada en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, con vegetación matorral costero arborescente. El clima es mediterráneo con una estación seca prolongada (seis meses), seguida por un período húmedo con una precipitación promedio anual de 1.100 mm.

Las características del Alfisol muestreado son las siguientes: pH 5,6; materia orgánica 2,6%; N-NH₄ 3,3 mg kg⁻¹; P Olsen 5,4 mg kg⁻¹; K disponible 129,8 mg kg⁻¹; Suma de bases 8,92 cmol kg⁻¹; Al intercambio 0,02 cmol kg⁻¹; CIC_e 5,49 cmol kg⁻¹; Fe 8,3 mg kg⁻¹; Mn 7,6 mg kg⁻¹; Zn 1,0 mg kg⁻¹; Cu 2,0 mg kg⁻¹.

Los antecedentes detallados sobre los biosólidos utilizados (lodo municipal, lodo de piscicultura salmonídea terrestre y lodo de salmonicultura lacustre), así como la preparación de las muestras y combinaciones de las mezclas biosólido/suelo han sido publicados anteriormente en esta revista (Celis *et al.*, 2006). Los tratamientos consistieron en una mezcla de biosólidos y suelo con dosis crecientes de enmiendas orgánicas equivalentes a 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹ de biosólido. Un testigo, sin aplicación también fue incluido. Luego las muestras de biosólidos/suelo fueron incubadas en bolsas de polietileno por un período de 15 días, en cámara de crecimiento a temperatura de 25 ± 2°C y 60-70% de humedad a capacidad de campo.

Los bioensayos de germinación, se realizaron después de la incubación y se hicieron sobre extractos 1:10 (50 g mezcla: 500 ml agua destilada) siguiendo la metodología de Sobrero y Ronco (2004).

A través de la prueba de germinación se evaluó el efecto de la adición de biosólidos al suelo sobre el índice de germinación (IG) de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y la longitud de la radícula y del hipocotilo de cada una de las plántulas. La determinación de las características químicas se realizó mediante muestras compuestas generadas de las repeticiones para cada tratamiento de suelo, mediante la metodología de Sadzawka *et al.* (2006), mientras que para los biosólidos se usó la metodología correspondiente a muestras compostadas (Sadzawka *et al.*, 2005). Las concentraciones (mg kg⁻¹) de los microelementos Fe, Mn, Zn y Cu fueron determinados para los diferentes tratamientos después de las incubaciones en laboratorio. La biomasa de ballica cosechada (materia seca) fue molida y analizada para N, P, Na y K (Sadzawka *et al.*, 2004).

Todos los datos fueron analizados mediante procedimiento estándar ANDEVA para un diseño estadístico completamente al azar. Usando el software estadístico SAS versión 8.0, el efecto de las medias fue analizado mediante test de Tukey. Toda diferencia discutida es significativa al nivel de probabilidad p<0,05. Los valores porcentuales fueron normalizados según la fórmula $\arcsen(X)^{0.5}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distintas enmiendas permitieron al suelo modificar sus niveles nutricionales durante el periodo de incubación (Cuadro 1). Los lodos salmonícolas presentaron niveles inferiores para nitrógeno que el lodo municipal, especialmente el lodo de lago,

Cuadro 1: Características químicas del suelo Alfisol (0-20 cm) enmendado con biosólidos a distintas dosis (0, 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹), después de las incubaciones en laboratorio.

Table 1: Chemical characteristics of the Alfisol soil (0-20 cm) emended with biosolids at different dose (0, 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹), after incubations in laboratory.

	pH	%MO	^s N-NH ₄	^s P Olsen	^s K	^v Σ bases	^v CICE
T (0)	5,5	2,0	43,7	1,6	31,0	4,89	4,97
LM							
25	5,8	2,2	294,4	6,3	30,0	4,76	4,77
50	6,1	2,4	921,3	10,1	29,0	4,67	4,68
75	6,3	2,3	1307,8	13,8	31,0	5,07	5,09
100	6,6	2,4	1469,5	18,5	31,9	5,41	5,42
150	6,9	2,5	1716,7	25,7	33,9	5,10	5,12
LPT							
25	5,7	2,2	46,2	8,0	30,0	4,56	4,60
50	5,9	2,3	61,8	11,8	28,0	4,58	4,62
75	6,1	2,5	73,1	16,3	30,0	5,00	5,04
100	6,5	2,7	102,2	17,7	28,0	4,87	4,91
150	6,5	2,5	180,9	22,7	26,0	4,92	4,97
LSL							
25	5,4	2,1	28,5	10,8	31,0	4,84	4,91
50	5,5	2,1	60,7	19,1	31,0	5,02	5,08
75	5,6	2,7	111,2	24,0	30,0	5,60	5,66
100	5,6	3,0	112,3	33,1	30,0	5,52	5,58
150	5,6	3,1	155,0	41,0	29,0	5,88	5,95

^sMateria orgánica (%); ^smg kg⁻¹; ^vcmol kg⁻¹; T es el testigo; LM es lodo municipal; LPT es lodo de piscicultura en tierra; LSL es lodo de salmicultura lacustre.

y aunque estos datos no se analizaron estadísticamente, concuerdan con lo reportado por Pinochet *et al.* (2004). De acuerdo con la Figura 1, se observa que los niveles de los micronutrientes Mn, Zn y Cu fueron más altos en los tratamientos con lodo municipal, aumentando a medida que se incrementó la dosis, en cuyo caso a una dosis de 150 t ha⁻¹ el Mn llegó a 110, el Zn a 23,6 y el Cu a 8,2 mg kg⁻¹, respectivamente. En el caso del Fe, el aumento de las concentraciones de lodos, municipal y de salmicultura, no mostró variaciones, manteniéndose en niveles de 40 mg kg⁻¹. No obstante, el lodo de salmicultura lacustre generó un fuerte incremento de Fe a medida que se incrementó la dosis enmendada, pasando de 50 a 160 mg kg⁻¹, con dosis de

25 y 150 t ha⁻¹, respectivamente. Esto se explica por la mayor concentración de Fe en el lodo lacustre, donde la concentración dobló la del lodo municipal y triplicó la del lodo de piscicultura (Celis *et al.*, 2006). En cambio, los tratamientos con lodo de piscicultura en tierra no presentaron un marcado aumento ante dosis crecientes del biosólido, con excepción del Zn. Exceptuando la MO, los resultados son similares a los reportados por Celis *et al.* (2006) en suelo patagónico (Entisol), quienes encontraron las mismas tendencias, aunque los niveles de concentración en el suelo Entisol fueron más altos, diferencias que pueden ser explicadas debido al avanzado grado de deterioro que presentan los suelos graníticos (Alfisol), en este caso.

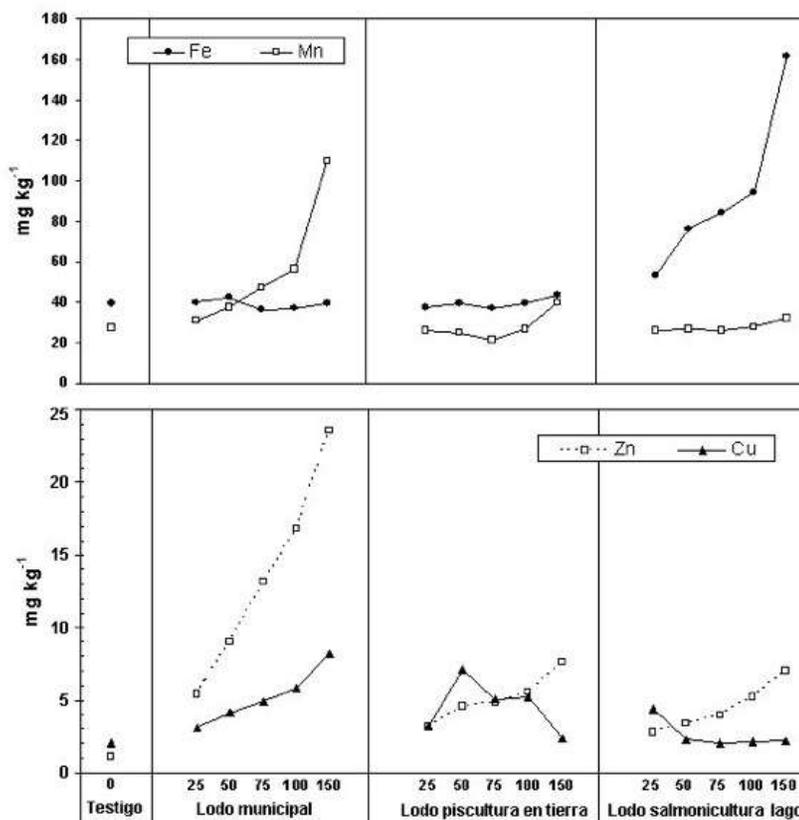


Figura 1: Micronutrientes del suelo Alfisol (0-20 cm) enmendado con biosólidos a distintas dosis: 0, 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹ después de las incubaciones en laboratorio.

Figure 1: Micronutrients of the Alfisol soil (0-20 cm) emended with biosolids at different dose: 0, 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹ after incubations in laboratory.

En la figura 2 se observa que el IG de lechuga fue superior al 80 % y no varió significativamente con extractos de lodos municipales en dosis entre 0 a 100 t ha⁻¹ y lodos de salmonicultura entre 0 a 150 t ha⁻¹, indicando que no hubo fitotoxicidad con la aplicación de estos lodos a esos niveles. Los resultados de estos bioensayos con lodos de salmonicultura en lechuga son similares a los obtenidos por Bustos *et al.* (2003) en ballica anual y por Teuber *et al.* (2004) en papa, quienes tampoco encontraron efectos adversos en la capacidad de germinación ante distintas dosis de lodo salmonícola. Sin embargo, el tratamiento con extracto de lodo municipal enmendado a 150 t ha⁻¹, mostró una alta toxicidad en

lechuga, con un IG cercano a 17 %, valor inferior a 50 % considerado como el límite inferior fitotóxico en ensayos con semillas (Emino y Warman, 2004). Este resultado concuerda con lo encontrado por Wu *et al.* (2000) quienes determinaron que la germinación de las semillas se inhibía a medida que aumentaba la concentración del lodo urbano, debido a sus mayores contenidos de amonio, cobre y zinc (Celis *et al.*, 2006). Adicionalmente, algunos extractos con lodos municipales han mostrado una elevada acción supresora del IG en semillas de berro debido a su elevado contenido de nitrógeno (Zapata *et al.*, 2005), lo que podría restringir las enmiendas a tasas superiores a 100 t ha⁻¹. En la figura 3

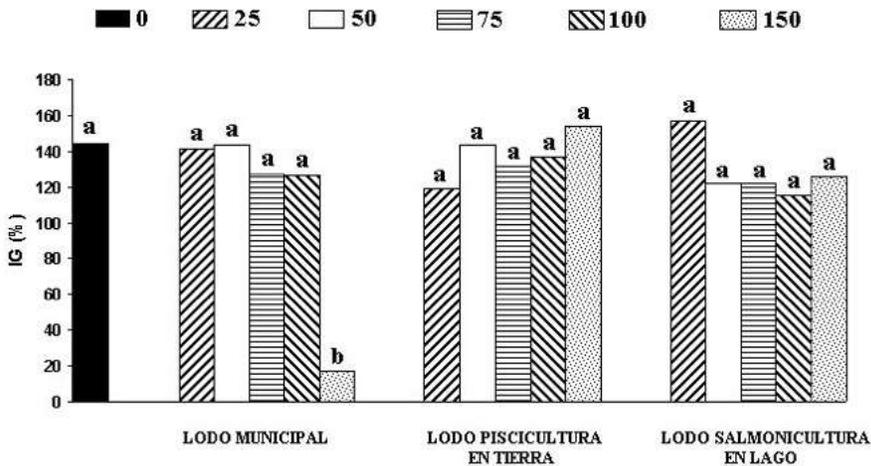


Figura 2: Efecto de la adición de distintos biosólidos en un Alfisol, con dosis de 0, 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹ sobre el índice de germinación (IG) de semillas de *Lactuca sativa* L. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

Figure 2: Effect of different biosolids addition in Alfisol with dose 0, 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹ on germination index (IG) for *Lactuca sativa* L. seeds. Bars with the same letter did not differ significantly ($p < 0.05$).

se presentan los resultados del crecimiento de la radícula y el hipocotilo. Se puede ver que las aplicaciones de lodos no producen un efecto significativamente adverso en el crecimiento tanto de la radícula como del hipocotilo a medida que se incrementa la dosis. Sin embargo, al aumentar la dosis de lodo municipal a 150 t ha⁻¹ se observó que las semillas presentaron radículas pequeñas de no más de 4,5 mm de largo, no llegando a desarrollar estructura del hipocotilo, de manera similar a lo observado por Celis *et al.* (2006) en extractos preparados con suelo Entisol. Por el contrario, los biosólidos de piscicultura en tierra tuvieron un efecto positivo sobre el desarrollo de la radícula e hipocotilo, incrementándose a partir de las dosis de 100 t ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). No hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos de biosólidos lacustres, con excepción de la dosis 150 t ha⁻¹, donde se registró un menor crecimiento de la radícula y del hipocotilo, aunque no estadísticamente significativo ($p > 0,05$). En general, si se comparan los resultados en lechuga obtenidos en estos suelos

graníticos degradados (Alfisol) con aquellos obtenidos en suelos patagónicos degradados (Entisol) con anterioridad (Celis *et al.*, 2006), puede decirse que la aplicación de lodos es más compleja en los primeros. Probablemente se deba a la lenta tasa de mineralización de la materia orgánica como consecuencia de una menor actividad microbológica, que se explica por el avanzado deterioro físico-químico-biológico que presentan los suelos graníticos de la Cordillera de la Costa, lo que lleva a pensar que la aplicación de biosólidos en estos suelos debe ser materia de estudios más profundos.

En el Cuadro 2 se puede observar que, en general, todos los tratamientos produjeron mayor biomasa aérea que el testigo (sin fertilizar). Entre ellos el que resultó con mayor producción de materia seca fue el suelo enmendado con biosólido de salmonicultura lacustre a 25 t ha⁻¹, que es un 69 % mayor que lo obtenido por el testigo. Todas las enmiendas orgánicas en dosis entre 25 y 50 t ha⁻¹ produjeron significativamente ($p \leq 0,05$) más biomasa

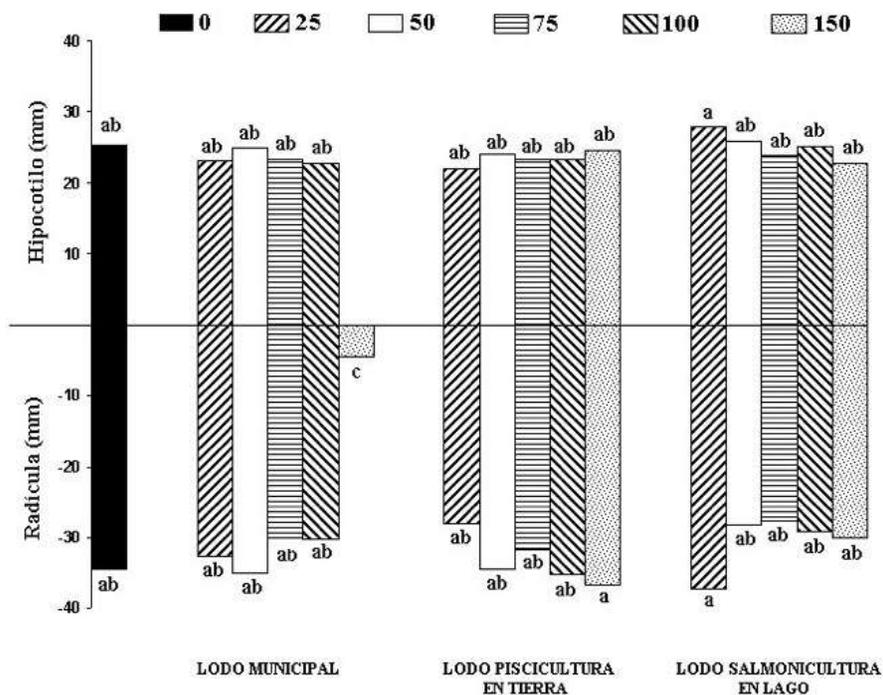


Figura 3: Efecto de la adición de distintos biosólidos en un Alfisol, con dosis de 0, 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹ sobre la longitud del hipocotilo y de la radícula en semillas de *Lactuca sativa* L. con los distintos tratamientos aplicados. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0,05$).

Figure 3: Effect of different biosolids addition in Alfisol with dose 0, 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹ on hypocotyl and radicle length for *Lactuca sativa* L. seeds. Bars with the same letter did not differ significantly ($p < 0.05$).

aérea que las enmiendas a 0, 75, 100 y 150 t ha⁻¹, lo cual significa que estos residuos no afectaron negativamente el establecimiento de la ballica anual en estos suelos graníticos. Similares respuestas en suelos volcánicos chilenos han sido reportados por Teuber *et al.* (2005).

Las mayores dosis de biosólidos resultaron con más altas concentraciones de N, P y K en las partes aéreas de las plantas ($p \leq 0,05$). Por otra parte, no hubo diferencias significativas para el Na ante aumentos progresivos de las enmiendas. La aplicación de estos lodos, ricos en N, P y K, produjo un efecto positivo y significativo de estos

nutrientes en las partes aéreas de la ballica, lo cual indica que no habría una excesiva lixiviación de estos macronutrientes en el suelo. La escasa respuesta del sodio ante aumentos progresivos de la dosis de lodos enmendada puede ser explicada debido a que las plantas absorben preferentemente el ión K⁺ en lugar del ion Na⁺, fenómeno típico en suelos con baja fertilidad (Sampaio *et al.*, 2006). Al parecer la ballica presenta mecanismos excluyentes de la absorción del sodio que evitarían su transporte hacia las partes fotosintéticas de la planta, como ocurre con algunos ecotipos de maíz en el norte de Chile (Bastías, 2006).

Cuadro 2: Biomasa aérea y absorción de nutrientes de ballica debido a la adición de distintos biosólidos en un Alfisol, con dosis de 0, 25, 50, 75, 100 y 150 t ha⁻¹. Letras distintas en columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Table 2: Aboveground biomass and nutrient uptake of ryegrass due to different biosolids addition in Alfisol with dose 0, 25, 50, 75, 100 and 150 t ha⁻¹. Different letters in columns indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

	Biomasa¹	N (%)	P (%)	K (%)	Na (%)
T (0)	407 ± 42 b	4,61 ± 0,48 b	0,28 ± 0,055 f	6,15 ± 0,62 b	0,12 ± 0,02 b
LM					
25	553 ± 43 a	4,49 ± 0,38 b	0,35 ± 0,057 e	5,77 ± 0,43 c	0,15 ± 0,02 b
50	547 ± 140 a	4,76 ± 0,43 b	0,41 ± 0,068 c	5,78 ± 0,41 c	0,12 ± 0,01 b
75	473 ± 48 b	4,72 ± 0,43 b	0,48 ± 0,044 b	6,72 ± 0,54 a	0,12 ± 0,01 b
100	440 ± 72 b	5,12 ± 0,43 a	0,47 ± 0,062 b	6,55 ± 0,54 a	0,14 ± 0,01 b
150	420 ± 53 b	5,43 ± 0,45 a	0,55 ± 0,058 a	6,49 ± 0,46 a	0,14 ± 0,01 b
LPT					
25	527 ± 31 a	4,51 ± 0,37 b	0,35 ± 0,051 e	5,55 ± 0,42 c	0,14 ± 0,01 b
50	580 ± 87 a	4,47 ± 0,29 b	0,44 ± 0,063 c	5,71 ± 0,56 c	0,13 ± 0,01 b
75	453 ± 50 b	4,61 ± 0,33 b	0,50 ± 0,063 b	6,69 ± 0,49 a	0,14 ± 0,01 b
100	553 ± 42 b	5,24 ± 0,42 a	0,47 ± 0,062 b	6,57 ± 0,47 a	0,14 ± 0,01 b
150	540 ± 95 b	4,56 ± 0,31 b	0,52 ± 0,059 b	6,78 ± 0,41 a	0,13 ± 0,01 b
LSL					
25	687 ± 58 a	4,54 ± 0,29 b	0,38 ± 0,057 d	5,38 ± 0,54 c	0,14 ± 0,01 b
50	520 ± 21 a	4,09 ± 0,31 c	0,48 ± 0,061 b	5,06 ± 0,44 d	0,15 ± 0,02 b
75	420 ± 69 b	4,49 ± 0,30 b	0,51 ± 0,058 b	4,95 ± 0,47 d	0,14 ± 0,01 b
100	447 ± 50 b	4,08 ± 0,32 c	0,58 ± 0,063 a	5,42 ± 0,41 c	0,14 ± 0,01 b
150	474 ± 46 b	4,37 ± 0,30 c	0,56 ± 0,065 a	5,45 ± 0,48 c	0,12 ± 0,01 b

CONCLUSIONES

Las enmiendas orgánicas en el suelo granítico (Ultic Palexeralf) practicadas con el lodo municipal, así como los biosólidos de salmonicultura provenientes de la piscicultura en tierra y de jaulas en lago, no afectaron significativamente la capacidad

de germinación y desarrollo de las semillas de lechuga, ni la capacidad de producción de biomasa aérea de ballica anual, cuando la dosis aplicada no superó las 100 toneladas de lodo seco por hectárea.

El reciclaje de estos residuos en suelos

graníticos degradados se presenta como una alternativa factible, pero se requieren mayores estudios relacionados a su complementación con fertilizantes sintéticos y el posible efecto negativo al enmendar con altas dosis en un mismo sitio por años sucesivos.

AGRADECIMIENTOS

Investigación financiada por proyecto 205.153.017-1SP de la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción. También es una contribución del Centro de Investigación de Ecosistemas de la Patagonia (CIEP).

BIBLIOGRAFIA

BASTIAS, E. 2006. Manejo de la tolerancia a la salinidad y al exceso de boro del ecotipo *Zea mays* L. amylacea originario del Valle de Lluta, in E. Doussoulin: Memorias del Simposio Internacional Manejo de Suelos y Aguas en Zonas Áridas, Arica, Chile. p. 207-222.

BUSTOS, C., TEUBER, N., SALAZAR, F., PINOCHET, D., VALDEBENITO, A. 2003. Efecto de diferentes dosis y origen de lodo de salmón en el establecimiento de ballica anual, in XXVIII Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal, Talca, Chile. p. 35-36.

CELIS, J., SANDOVAL, M., ZAGAL, E., BRIONES, M. 2006. Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo Patagónico. Rev. Ciencia Suelo Nutr. Veg. 6 (3): 13-25.

CUEVAS, J., SEGUEL, O., ELLIES, A., DÖRNER, J. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. Rev. Ciencia Suelo Nutr. Veg. 6 (2): 1-12.

EMINO, E., WARMAN, P. 2004. Biological assay for compost quality. Compost Science & Utilization 12 (4): 342-348.

MILLALEO, R., MONTECINOS, C., RUBIO, R., CONTRERAS, A., BORIE, F. 2006. Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrícicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. Rev. Ciencia Suelo Nutr. Veg. 6 (3): 26-39.

PÉREZ C, GONZÁLEZ J. 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Quilimapu, Chillán. 196 p.

PINOCHET, D., DE ARMAS, M., SOLIS, J., AYMANS, D. 2004. Tasas de mineralización para nitrógeno y fósforo en lodos de salmonicultura y sanitarios, in M. Mora: Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales, Boletín N°20, Temuco, Chile. p: 59-68.

SADZAWKA, A., GREZ, CARRASCO, R., MORA, M. 2004. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de Normalización y Acreditación Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile.

SADZAWKA, A., CARRASCO, M., GREZ, R., MORA, M. 2005. Métodos de análisis de compost. Centro Regional de Investigación La Platina, Serie No34, Santiago, Chile. 142p.

- SADZAWKA, A., CARRASCO, M., GREZ, R., MORA, M., FLORES, H., NEAMAN, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Centro Regional de Investigación La Platina, Serie N°30, Santiago, Chile. 164 p.
- SAMPAIO, J. GAROFALO, L., CARVALLO, H. 2006. Macro y micronutrientes en la hoja del cocotero enano (*Cocos nucifera* L.) después de un año de fertirrigación con NK. Agricultura Técnica 66 (3): 324-330.
- SOBRERO, M.C., RONCO, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). p: 71-79. En: Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas, G. Castillo, Ed., Ottawa, Canadá.
- STOLPE, N. B. 2005. Descripción de los principales suelos de VIII región de Chile. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán. 84 p.
- TEUBER, N., ALFARO, M., SALAZAR, F., BUSTOS, C. 2005. Sea salmon sludge as fertilizer: effects on a volcanic soil and annual ryegrass yield and quality. Soil Use Manag. 21: 32-434.
- TEUBER, N., SALAZAR, F., VALDEVENITO, 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 M. Mora: Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas Agroforestales. Simposio de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Boletín N°20, Temuco, Chile. p. 207-215.
- UCHILE. 2000. Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile-1999. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile, LOM Ediciones, Santiago. 433 p.
- WU, L., MA, L., MARTINEZ, G. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. Journal Environ. Quality 29: 424-429.
- ZAPATA, N., GUERRERO, F., POLO, A. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. Agric. Téc. (Chile) 65: 387-387.
- ZUCCONI, F., PERAM, A., FORTE, M., DE BERTOLIDI, M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. Biocycle 22: 54-56.