

USO AGRÍCOLA DE LOS LODOS URBANOS



Gilsanz, J. C.¹, Leoni, C.¹, Aranda, S.¹, Schelotto, F.², Acuña, A.³

¹Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA.

² Instituto de Higiene, Departamento de Bacteriología y Virología, Facultad de Medicina, UdelaR

³ Instituto de Higiene, Departamento de Parasitología, Facultad de Medicina, UdelaR

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los sistemas de producción agropecuaria del Uruguay es posible detectar problemas de degradación lenta de los recursos naturales. Los suelos sometidos a sistemas de agricultura continua pierden su capacidad productiva, principalmente por la reducción de su contenido de materia orgánica (MO) a razón de un 1 a 4% anual. A nivel nacional, en sistemas agrícola-cerealeros se han estimado pérdidas del 23% de MO con respecto a su contenido inicial en el suelo después de 28 años de agricultura continua atribuida fundamentalmente a la erosión hídrica, mientras que en sistemas hortícolas las pérdidas variaron entre 31 y 44%.

Una estrategia para evitar la degradación de los suelos es la incorporación de materia orgánica producida dentro o fuera de los predios, ya que la misma es fundamental para el mantenimiento de la salud del suelo. Desechos orgánicos provenientes de plantas de trata-

miento de líquidos residuales domésticos (PTARD), denominados barros urbanos, lodos urbanos o biosólidos constituyen una fuente importante de materia orgánica con potencial uso agrícola.

La utilización de lodos urbanos en suelos agrícolas está siendo evaluada desde 1925 en países como Holanda, Dinamarca, USA y el Reino Unido, donde cerca del 45% del barro de efluentes es aprovechado en la agricultura. La aplicación en la producción agropecuaria de los lodos urbanos provee numerosos beneficios como acondicionador físico del suelo: mejora la porosidad y la infiltración, y aumenta la resistencia a la erosión.

También contribuye con el aporte de nutrientes y promueve la supresividad a fitopatógenos del suelo debido a los cambios en sus propiedades químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, etc.) y biológicas (incremento de la actividad microbiana). Sin embargo, hay que ser cuidadosos con el uso de los lodos urbanos

Cuadro 1 - Enmiendas orgánicas y fertilizante aplicados en el cultivo de lechuga en los diferentes ciclos de cultivo (en kg/hectárea).

	Ver 05-06	Inv 06	Ver 06-07
Lodo fresco	5941	41540	1340
Lodo "Compostado" ¹	11167	17331	20100
Cama de pollo ²	7593	42657	2680
Fertilizante químico ³	146	371	146

¹ Lodo "Compostado": mezcla de lodo fresco y cáscara de arroz, estacionado a campo ² Cama de pollo: mezcla de cáscara de arroz y heces producidas durante la cría de pollos en confinamiento, ³ Urea

para evitar la contaminación ambiental, por ejemplo la contaminación del agua por los excesos de nitrógeno y fósforo. Asimismo, es necesario tener en cuenta aspectos de salud humana que incluyen: patógenos, bioaerosoles, metales pesados y tóxicos orgánicos. La calidad final de los biosólidos o lodos urbanos dependerá del origen de los materiales (residencial, industrial) y del tratamiento que éstos reciban.

En Uruguay, es de particular preocupación el incremento en los volúmenes de lodos urbanos generados en las PTARD, dado que Obras Sanitarias del Estado (OSE) lleva adelante un programa de construcción de nuevas plantas en diferentes localidades del país.

Con los nuevos tratamientos se ha mejorado la calidad de los vertidos, pero ha surgido el problema del manejo y disposición final de los barros a causa de la falta de normativa y poca experiencia en el tema a nivel nacional. El lodo con disposición final inadecuada, sin ningún tratamiento, puede contaminar los recursos naturales, constituyendo una amenaza para la salud pública y ambiental, además de un problema estético. Por ello, la adecuada gestión de los lodos desde su origen, su tratamiento y destino final, no es solamente deseable, sino necesario para la sociedad.

El presente trabajo se planteó evaluar el potencial agronómico de los lodos obtenidos en las plantas de tratamiento de líquidos residuales domésticos (PTARD) de OSE para su aplicación directa como enmienda orgánica en cultivos.



MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental INIA Las Brujas (Rincón del Colorado, Canelones, Uruguay), durante las temporadas 2005-06 y 2006-07. Los lodos urbanos se obtuvieron en la planta de tratamiento de líquidos residuales domésticos de OSE de la ciudad de Florida.

Se evaluaron dos ciclos anuales de producción de lechuga (primavera-verano, otoño-invierno).

El cultivo de lechuga fue elegido por ser muy sensible a la contaminación microbiológica y por nitratos, por su corto ciclo y porte rastro.

Las variedades se seleccionaron de acuerdo a los ciclos productivos (verano, invierno). Los volúmenes de las enmiendas orgánicas y fertilización química variaron con los ciclos, y se calcularon de forma de aportar 100 Unidades de N al cultivo. Las enmiendas orgánicas se aplicaron dos veces por año, representando una aplicación cada dos ciclos de lechuga (Cuadro 1).

Cuadro 2 - Composición inicial del suelo y composición promedio de las enmiendas orgánicas utilizadas

	Carbono. Orgánico (%)	N total (%)	N-NO3 (µg /g)	P (µg /g)	Na (meq/100g)	K (meq/100g)	pH en agua
Suelo		0,2	100	0,06		0,06	6,72
Lodo fresco	32.39	1.24	---	575	3.0	8.4	
Lodo "Compostado" ¹	16.78	1.21	660	884	2.3	11.2	
Cama de pollo ²	23.65	1.28	213	817	12.6	39.1	

¹ Lodo "Compostado": mezcla de lodo fresco y cáscara de arroz, estacionado a campo

² Cama de pollo: mezcla de cáscara de arroz y heces producidas durante la cría de pollos en confinamiento.

Cuadro 3 - Niveles de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), nitratos (N-NO₃), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), conductividad eléctrica (CE) y pH en el suelo para el cultivo de lechuga para los dos periodos.

Tratamiento ¹	C-Org. (%)	N total (%)	N- NO ₃ (µg /g)	P (µg /g)	K (meq/100)	Na (meq/100g)	CE (mmhos/cm)	pH (agua)
T1	1,45	0,15	14,46	27,15	0,47	0,63	0,39	6,80
T2	1,49	0,15	21,21	29,52	0,49	0,59	0,44	6,49
T3	1,53	0,15	11,52	29,06	0,49	0,61	0,34	6,80
T4	1,44	0,15	14,85	42,58	0,47	0,60	0,39	6,73
T5	1,61	0,16	23,99	44,74	0,54	0,57	0,46	6,53
T6	1,43	0,15	14,97	37,36	0,42	0,63	0,39	6,60

1_ lodo fresco, 2_ lodo fresco con mulch plástico, 3_ lodo "compostado", 4_ cama de pollo, 5_ cama de pollo con mulch plástico, 6_ fertilización química.

Se realizaron seis tratamientos: T1- agregado de lodo fresco, T2- agregado de lodo fresco y suelo cubierto con mulch plástico, T3- mezcla de lodo fresco y cáscara de arroz, estacionado a campo (Lodo "compostado"), T4- agregado de abono de pollo, T5- agregado de abono de pollo y suelo cubierto con mulch plástico, T6- fertilización química (manejo convencional). El mulch plástico consistió en un polietileno negro con una densidad de 25 micrones. El tratamiento asignado a cada parcela se mantuvo durante los dos años, para ver el efecto acumulativo de la aplicación de los lodos.

En el Cuadro 2 se aprecia la composición inicial del suelo y composición promedio de las enmiendas orgánicas utilizadas durante la investigación. Las muestras de suelos y enmiendas orgánicas se colectaron, secaron a temperatura ambiente y se enviaron al Laboratorio de Suelos de INIA La Estanzuela para su análisis.



Los análisis microbiológicos de suelos y planta, en tanto, se realizaron en el Laboratorio de Higiene de la Facultad de Medicina, Universidad de la República. Allí se analizaron muestras de lodos provenientes de diferentes PTARD del país, y de muestras de suelos, lodos y planta del experimento descrito, evaluando poblaciones de coliformes totales, coliformes fecales, Salmonella y helmintos.

A su vez, se determinó la producción en kg/ha y el contenido de nitratos en tejido vegetal, los cuales se compararon con los estándares definidos en las Normas de Producción Integrada definidas para la Unión Europea (UE).

RESULTADOS

Efectos de las enmiendas orgánicas en las propiedades químicas del suelo

El uso de las enmiendas orgánicas y el mulch plástico resultó en mayores niveles de nitratos, fósforo, potasio y conductividad eléctrica. (Cuadro 3). Las variaciones en los niveles de amonio se asocian a las estaciones de crecimiento y a las temperaturas adecuadas para la actividad biológica y la mineralización, de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Producción y calidad de lechuga

Los rendimientos obtenidos están acordes a lo esperado para el cultivo. Los mejores rendimientos corresponden a los manejos que emplearon mulch plástico independientemente de la enmienda (Cuadro 4). Las temperaturas del suelo a 10 cm de profundidad cuando se emplea mulch plástico pueden ser entre 5 a 10 °C superiores en el verano, y 1 a 2 °C en el invierno.

Este efecto de la temperatura sumado al riego localizado contribuye a una mayor mineralización de la materia orgánica del suelo y ofrece mejores condiciones para el desarrollo del cultivo. Por otra parte, la enmienda con lodo fresco sin mulch no se diferenció de la cama de pollo sin mulch ni del agregado de fertilización química, tratamientos que pueden ser considerados "convencionales" en la producción de lechuga a campo.

Cuadro 4 - Rendimiento de lechuga (kg/ha) y nitratos en hoja (mg/kg en base fresca) en los dos períodos.

Tratamiento ¹	Rendimiento kg/ha	Nitratos Hoja (mg /kg en base fresca)
T1	12486	29,36
T2	15485	67,96
T3	11220	16,15
T4	13290	30,93
T5	16167	78,46
T6	12162	9,16

1_ lodo fresco, 2_ lodo fresco con mulch plástico, 3_ lodo "compostado", 4_ cama de pollo, 5_ cama de pollo con mulch plástico, 6_ fertilización química.

Igualmente, en todos los ciclos evaluados, los niveles más altos de nitratos en hojas se registraron en los tratamientos con mulch plástico, tanto para el lodo fresco como para la cama de pollo (Cuadro 4), debido a una mayor disponibilidad de nitratos en el suelo.

Entre los ciclos, las variaciones están ligadas a los procesos de mineralización y a las condiciones imperantes para que ésta se produzca.

Según las normas de la UE, los valores permitidos de nitratos en hojas para el consumo directo de los cultivos de lechuga realizados a campo son de 2.500 mg NO₃/kg de materia fresca (M.F.) para los de primavera - verano, y de 4500 mg NO₃ /kg M.F. para los de invierno, valores que no se alcanzaron en ninguno de los manejos evaluados en los diferentes ciclos productivos.

Análisis Microbiológicos

Los análisis microbiológicos de 13 muestras de lodos de distintas PTARD revelaron contenidos de bacterias coliformes entre 120.000 y 2.000.000 NMP (número más probable)/g, y de coliformes fecales entre <20 y >160.000 NMP/g dependiendo de su tiempo de estacionamiento y grado de humedad. En siete de esas muestras se encontraron bacterias del género *Salmonella*, especie *Salmonella entérica*, en concentraciones variables entre 3 y 150 NMP/g, y los serotipos encontrados fueron Enteritidis, Panama, Bredeney, Agona, Typhimurium y San Diego. Solamente una de las muestras contenía huevos de *Ascaris*, *Ancylostoma*, *Hymenolepis* y *Trichuris*; mientras que las demás fueron negativas para helmintos.

Los análisis microbiológicos de los lodos compostados (3 muestras) revelaron contenidos de bacterias coliformes entre <180 y 35.000 NMP/g y de coliformes fecales entre <180 y 200 NMP/g. No se recuperó *Salmonella* de estas muestras, pero la primera muestra reveló la presencia de huevos de *Ascaris*. Las muestras de cama

de pollo analizadas revelaron contenidos microbianos menores que los mencionados.

Los suelos analizados contenían bacterias coliformes entre 200 y 54.000 NMP/g. Los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con fertilización química, y los más altos a la cama de pollo y lodos frescos. Las concentraciones de coliformes fecales estaban entre <180 y 4.800 NMP/g. No se recuperó *Salmonella* de suelos, y tampoco huevos de helmintos.

Las lechugas analizadas portaban entre 240 y >160.000 bacterias coliformes NMP/g, con una mediana de 5.000 NMP/g, y las cargas de coliformes fecales iban de <1,8 a 20.000 NMP/g. Si bien las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los niveles de contaminación microbiológica más altos correspondieron a las lechugas cultivadas en suelos con fertilización química. No se encontraron huevos de helmintos en las muestras de lechuga analizadas.

Debido a los bajos niveles de patógenos presentes en los lodos empleados en el experimento, la inclusión del mulch plástico como barrera física a la contaminación microbiológica de las lechugas no fue estadísticamente diferente de los tratamientos con suelo desnudo.

CONCLUSIONES

Durante los dos años de experimentación, las aplicaciones de los lodos frescos o compostados no afectaron negativamente las propiedades químicas del suelo. Esto estaría indicando que la aplicación de lodos al suelo como fuente de materia orgánica es una opción posible. Sin embargo, la utilización repetida podría llevar a la acu-



mulación de P en el suelo, y se ven las tendencias en el presente trabajo (Cuadro 3). Si bien aquí no se observaron variaciones significativas en el pH de suelo, son necesarias evaluaciones a más largo plazo. En particular, cuando se emplean lodos estabilizados con cal, los riesgos de un aumento en el pH del suelo son mayores.

Los lodos son una fuente importante de N, y su mineralización (30% en promedio para lodos de origen aerobio) libera cantidades significativas de nitratos y amonio, de modo que un uso responsable de este material se debe establecer en base a la capacidad de extracción de N por parte del cultivo.

Una forma indirecta de evaluar el exceso de nitratos en el suelo es mediante el contenido de nitratos en el tejido vegetal cosechado. En el presente trabajo, los niveles de nitratos en hojas de lechuga no superaron los niveles máximos permitidos y considerados riesgosos para la salud humana.

A su vez, el aporte de N fue suficiente para permitir un correcto desarrollo del cultivo, con rendimientos semejantes a los obtenidos mediante fertilización convencional (Cuadro 4). La respuesta positiva de los cultivos al agregado de lodos ha sido ampliamente reportada para varios cultivos y bajo diferentes sistemas productivos, y dichas respuestas se explican no solo por el aporte de nutrientes sino también por las mejoras en las condiciones físicas del suelo.

Independientemente del potencial de los lodos como mejorador del suelo, la definición final del uso agrícola de los lodos dependerá principalmente de los niveles de patógenos humanos (helminthos, Salmonella, Coliformes fecales y totales) así como de los niveles de metales pesados presentes en las partidas de lodos que se quieran emplear. La verificación de estos rangos o límites, en el caso de los patógenos, no requiere el análisis exhaustivo para cada uno de ellos, sino los exámenes de presencia y concentración de organismos indicadores que por su ubicuidad y labilidad son aptos como marcadores indirectos de la potencial presencia de los primeros.

Si bien no hay estándares nacionales que regulen la aplicación de los lodos, se podrían emplear los niveles establecidos en otros países con tradición en el uso agrícola de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas, como Argentina y Brasil: E. coli < 1000 NMP/g lodo seco; Salmonella < 3 NMP /4 g lodo seco, Huevos de Helminthos < 1 / 4 g lodo seco.

Cabe resaltar, que además de la carga de patógenos y metales pesados, para un correcto uso de los lodos se deben respetar los tiempos mínimos entre su aplicación y cosecha. Por ejemplo, en el Reino Unido se deben esperar 30 meses entre la aplicación de los lodos y la instalación del cultivo, mientras que en Argentina los tiempos de espera son de 14 meses para cultivos hortícolas y de 6 meses para los cultivos frutícolas.

Estos tiempos se establecen en base a las estimaciones de supervivencia de los patógenos en el suelo, los cuales varían según las condiciones locales de tipo de suelo (tipo de arcilla, pH, contenido de materia orgánica) y clima. En el presente trabajo, si bien no se respetaron los tiempos de espera posteriores a la aplicación de los lodos, no se observó contaminación por patógenos en los vegetales cultivados en el suelo fertilizado con lodo fresco o compostado.

La seguridad en el empleo de los biosólidos como fuente de materia orgánica para la producción de alimentos no solo dependerá de su calidad inicial (niveles máximos permitidos de patógenos humanos y metales pesados) y de su manejo (transporte, disposición y tiempo de espera), sino también de un correcto manejo de la cosecha y de la desinfección y lavado postcosecha y preconsumo de los alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de INIA - Las Brujas por su colaboración en los trabajos de campo realizados. Al personal de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de OSE - Florida por proveernos de los biosólidos para el estudio. Al Programa de Desarrollo Tecnológico del Uruguay por la financiación del proyecto (Proyecto PDT 32-12).

