

EFFECTOS DE LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON ESPECIAL REFERENCIAS A LA ADICIÓN DE LODOS URBANOS¹

José Cuevas B.^{1,2}, Oscar Seguel S.³, Achim Ellies Sch.², José Dörner F.⁴

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Intihuasi. Oficina Técnica Limarí. Covarrubias 185, Ovalle. Correo electrónico: jcuevas@inia.cl

² Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

³ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Depto. de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004, Santiago.

⁴ Instituto de ingeniería agraria y suelos, Universidad Austral, Casilla 567, Valdivia.

Organics amendments effect in soil physics properties with special references to sewage sludge application

Keywords: Sewage sludge, Soil physical properties, environmental soil quality.

ABSTRACT

Urban sewage sludge, most organic from water treatments have increased in the last years in Chile. This has generated the need of their final disposition. In the first instance, the sewage sludge are accumulated in a sanitary areas and later can be used as amendment on the agricultural and forestry soil. In the present work we document about the effects of sewage sludge application on physical soil properties and the need for future research. Large quantities of urban sewage sludge are added onto the soils to obtain yield response of field crops and to improve physical soil properties. However, these organic materials may modify these properties, Several works have been evaluated the soil physical parameters such as bulk density and soil porosity and demonstrated that they cause positive effects, but these are not stable for long and even, much of their effects are negatives. However, the last have been scarce evaluated when large quantities of sewage sludge are applied. But their use could be positive, when implemented for nursery plants and in fragile environmental such as shallow and sandy. Other physical parameters such as shear strength and soil precompression stress have been not studied. This leaves open for new studies in this area together with the examination of the effects of sewage sludge on soil chemical properties.

Palabra clave: lodos municipales, Propiedades físicas del suelo, calidad ambiental del suelo.

¹ Parte de este trabajo fue presentado en Simposio «Residuos Orgánicos y su Uso en Sistemas agroforestales» Temuco 2004.

² Fallecido, Septiembre de 2004

RESUMEN

Los lodos urbanos, la mayoría orgánicos, provenientes de los tratamiento de aguas servidas han aumentado en los últimos años en Chile. Esto ha generado la necesidad de su disposición final. En una primera instancia los lodos se acopian en rellenos sanitarios los cuales más tarde pueden ser utilizado como enmiendas sobre suelos agrícolas y forestales. En el presente trabajo se analiza algunos antecedentes acerca de los efectos de la aplicación de lodos sobre las propiedades físicas de suelos agrícolas y las necesidades de investigaciones futuras. Los lodos son aplicados en altas cantidades al suelo para obtener respuestas sobre el rendimiento de los cultivos y como enmiendas para mejorar las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, los lodos pueden modificar estas propiedades. Varios trabajos han evaluado los parámetros físicos del suelo tales como, la densidad aparente y porosidad, demostrándose que, aunque generan respuestas positivas, estas no son estables en el tiempo y por el contrario, muchas de sus efectos son negativos. Sin embargo, las evaluaciones de los efectos negativos han sido escasamente evaluados al aplicar grandes cantidades de lodos al suelo. Pero, su uso en pequeñas cantidades puede implementado en viveros de plantas, y si se evitara el uso de materiales orgánicos en ambientes frágiles, tales como suelos delgados o muy arenosos. Otros parámetros físicos del suelo y su influencia por la aplicación de lodos, tales como la resistencia al corte, coeficiente de precompresión, prácticamente no han sido estudiados. Esto lleva a plantear nuevos trabajos en esta área junto al examen del efecto de los lodos sobre las propiedades químicas de los suelos.

INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamientos de aguas residuales producen biosólidos, que corresponden a lodos que contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua. Según la Comisión Nacional del Medio Ambiente, los lodos cloacales se definen como acumulaciones de sólidos orgánicos sedimentables, separados en los distintos procesos de tratamiento de aguas.

Según datos señalados en el Proyecto FONDEF D01I1034 (2000), al año 1999 existían 94 plantas de tratamiento de aguas servidas en todo el país, y para la Región Metropolitana se tenía una oferta de acumulación de lodos de 2,2 millones de toneladas para el año 2000, proyectándose a 7 millones de toneladas al año 2010

(Faúndez, 2005). Los lodos son compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas servidas (Marambio y Ortega, 2003). En las últimas décadas ha aumentado notablemente la producción de lodos. Para el caso de la Comunidad Europea, desde 1980 a la fecha, la producción de estos desechos ha aumentado en forma creciente de sobre 10 millones de toneladas de lodo seco al año. Los grandes volúmenes de producción de lodo ha traído como consecuencia que estos no sean de un material de fácil manejo por lo que se han buscado distintos destinos o vías de utilización en el tiempo (Figura 1).

Si bien durante la década del 80 el principal destino era el relleno sanitario, el aumento del volumen de producción generó

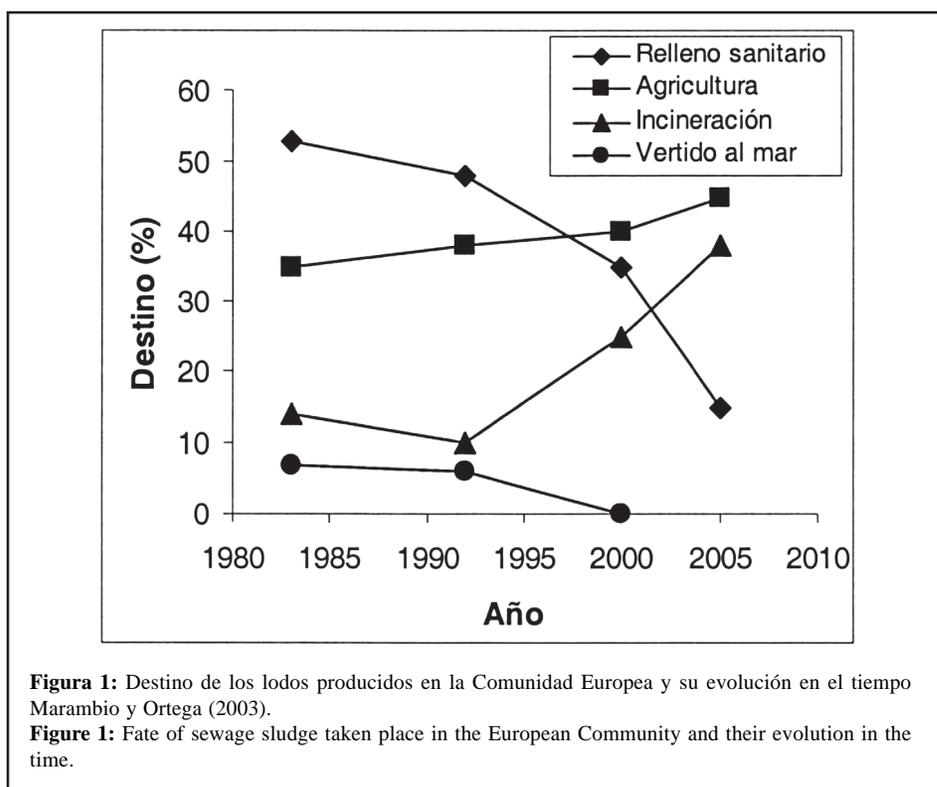
la necesidad de dispersar los lodos en el ambiente, donde el suelo actúa como compartimiento final de esta disposición. Esto se realizó vía incineración o usándolos en la agricultura, resultando esta actividad una buena alternativa para países como Chile, en donde el tratamiento de aguas servidas aún no llega a su capacidad máxima, ni de producción de lodos como de los depósitos de estos.

La aplicación de lodos al suelo parece ser un buen método para reciclar estos desechos, ya que un 80% del material es reutilizable, además de generar mejoras en la productividad y recuperación de suelos degradados (Marambio y Ortega, 2003). Sin embargo, su utilización en la agricultura ha sido cuestionada por el aporte de metales pesados (Nriagu y Pacyna, 1988). Por otra parte, existe el riesgo de generación de

problemas de salud. En particular resulta riesgoso cuando se aplica un material fresco, pudiendo causar desde irritaciones hasta infecciones respiratorias de carácter biológico (Lewis *et al.*, 2002).

Los países en vías de desarrollo poseen escasos estudios sistemáticos de la composición y efecto del uso de lodos. Considerando los menores riesgos dependientes de la presencia de metales pesados, resulta interesante estudiar otras componentes ambientales en la utilización de los lodos.

En el presente trabajo se analiza algunos antecedentes acerca de los efectos de la aplicación de lodos sobre las propiedades físicas de suelos agrícolas, las estrategias de utilización de éstos para minimizar los impactos negativos y las necesidades de investigaciones futuras.



Efectos sobre las propiedades físicas del suelo.

Los lodos obtenidos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a un material con un alto componente de materia orgánica. Es por esto que los efectos de la aplicación de lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación. Por la composición de los lodos urbanos es esperable que los efectos físicos sobre el suelo sean similares a los obtenidos con las aplicaciones de otros tipos de materiales orgánicos, generando cambios en la estructura y en el sistema poroso.

La aplicación de lodo fresco genera, en el corto plazo, un aumento de la macroporosidad, en comparación con un compost de residuos agrícolas, que provoca un aumento de la microporosidad. Si el lodo es compostado, no existen mayores diferencias con el lodo fresco, pero en ambos casos existe un aumento de la microagregación (Bouanani *et al.*, 2002). Por otro lado la incorporación de estos residuos debiera generar una mejor condición física, que dejarlos esparcidos sobre el suelo, lo que podría acarrear efectos negativos ya que por ejemplo, algunos materiales orgánicos muestran repelencia al agua, y se provocaría un sello superficial, con aumento de la escorrentía de estos materiales y contaminación de sectores vecinos.

Aplicaciones de compost de lodo en dosis crecientes de hasta 37,5 ton ha⁻¹ provocaron un aumento de la conductividad hidráulica saturada (Trelo-Ges y Chuasavathi, 2002). Sin embargo, con dosis mayores (hasta 80 ton ha⁻¹) se han observado la formación de un sello superficial Macedo *et al.* (2002).

La densidad aparente sufre disminuciones con dosis mayores a 30 ton ha⁻¹, pero si la aplicación de la enmienda se asocia con un cultivo de gramíneas, basta 25 ton ha⁻¹ para obtener resultados significativos (Trelo-Ges y Chuasavathi, 2002). Por otra parte, Nordcliff (1998), trabajando con aplicaciones crecientes de lodo compostado, estudió el efecto de la profundidad de incorporación, lo que es un antecedente interesante, ya que lo que más influye en el efecto de estas enmiendas en el corto plazo, es su localización en lugares estratégicos a nivel de agregados del suelo, siendo los cambios en los valores de densidad aparente en la matriz de suelo que rodea a los agregados los que más influyen sobre las condiciones generales del suelo observadas por este autor (Cuadro 1).

La menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado. Mayores cantidades de compost adicionados generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total. Sin embargo la persistencia del efecto del material compostado sobre el suelo en el tiempo es baja (Cuadro 2). Esto puede explicarse asociando la incorporación de residuos con la protección física de la materia orgánica a nivel de agregados, si no existe esta protección la materia orgánica rápidamente se mineraliza y deja de generar este efecto de aumento de la porosidad, incluso cuando se incorpora a mayores profundidades.

Si bien el aumento en el porcentaje de macroporos es importante respecto al control, resulta riesgoso realizar aplicaciones de 100 ton ha⁻¹ si al cabo de un año desaparece el efecto (Nordcliff, 1988). Es válido entonces preguntarse por que se provoca esta disminución en los valores de la densidad aparente,

Cuadro 1: Efecto de la profundidad de incorporación sobre la densidad aparente del suelo para dosis crecientes de compost de lodo. Fuente: Nordcliff (1998)

Table 1: Effect of the incorporation depth on the soil bulk density for growing quantities of sewage sludge compost.

Tasa de aplicación (t compost de lodo ha ⁻¹)	Profundidad de incorporación (cm)	Densidad aparente (Mg m ⁻³)
0 Control	-	1,24
25	5	1,21
25	15	1,19
50	5	1,16
50	15	1,15
100	15	1,09
200	15	0,99

Cuadro 2: Porcentaje de macroporos y su variación en el tiempo para dosis crecientes de compost de lodo. Fuente: Nordcliff (1998)

Table 2: Macropores percentage and their variation in time for growing quantities of sewage sludge compost.

Tasa de aplicación compost de lodo (t ha ⁻¹)	5 semanas	17 semanas	38 semanas	73 semanas
Control (0)	32,5	29,7	29,6	27,6
25	25,0	32,3	31,9	28,2
50	36,8	35,0	32,3	31,7
100	38,4	33,1	33,0	33,0
200	43,4	40,7	38,1	37,2

probablemente las aplicaciones de compost aumentan la agregación por tanto las porosidades mas finas y la capacidad de retención de humedad del suelo analizado, si esta nueva porosidad no muestra un nivel adecuado de continuidad y funcionalidad, al realizar los análisis de laboratorio para determinar la porosidad, el agua que queda atrapada en un sistema poroso discontinuo, tenderá a provocar una sobreestimación de los valores iniciales de porosidades mas gruesas, en la medida que estos materiales se van agregando van mostrando valores de porosidades mas reales. Es fundamental determinar cuales son los efectos, tanto cuali como cuantitativamente de las aplicaciones de lodos sobre propiedades físico mecánicas de los suelos, para determinar los montos de las aplicaciones sin generar mayores problemas, como por ejemplo escurrimiento de componentes orgánicos y metales pesados.

En cuanto a la agregación, las aplicaciones de lodo generan un aumento en la estabilidad de los agregados. Aportes de hasta un 5% (base masa seca) de lodos urbanos generaron aumentos de hasta un 78% de la estabilidad de agregados respecto a la condición inicial de un suelo con $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ de materia orgánica (Guerrero *et al.*, 2001), lo que asegura un potencial de

protección del suelo ante la erosión (Roldán *et al.*, 1996). La mayor estabilidad se traduciría en un aumento del diámetro medio de los agregados, favoreciendo el movimiento del agua y del aire (Treló-Ges y Chuasavathi, 2002). Además la redistribución del sistema poroso tendría efectos positivos sobre la capacidad de retención de agua (Figura 2) (Muñoz *et al.*, 1999).

Un factor importante a considerar es el sistema de labranza, que relaciona el método de incorporación del lodo con la efectividad espacial y temporal de éste. Marx *et al.* (1995) proponen la incorporación de estos a través de subsolados profundos (hasta 90 cm), lo que se traduce en un mayor desarrollo de especies forestales respecto a la incorporación mediante discos. Sin embargo, cuando el lodo presenta altos contenidos de metales pesados y no se dispone de un método de fijación biológica eficiente a nivel del suelo, la mejor alternativa es la cero labranza, la que asegura una mayor sorción dentro de los primeros centímetros del suelo (Hoss *et al.*, 2001). Que al no provocar mezclas de horizontes o estratas de suelo, previene la aparición de zonas compactadas que se asocian a zonas de escurrimiento y contaminación de otros sitios.

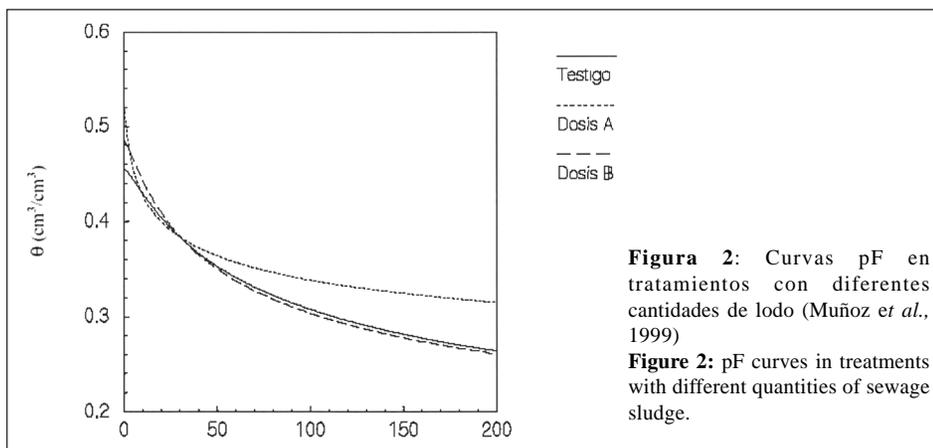


Figura 2: Curvas pF en tratamientos con diferentes cantidades de lodo (Muñoz *et al.*, 1999)

Figure 2: pF curves in treatments with different quantities of sewage sludge.

Factores físico-mecánicos que requieren mayor estudio

Las investigaciones que evalúan los efectos de la aplicación de lodos sobre las propiedades físicas de suelo se centran en conceptos clásicos y básicos, como la densidad aparente o la retención de agua, cuyo comportamiento es similar a cualquier otro experimento donde se utilizan residuos orgánicos. Sin embargo, existen otras propiedades que integran estos conceptos básicos, y explican el comportamiento del suelo en un grado de mayor complejidad al hacer aplicaciones orgánicas en grandes cantidades.

Uno de los efectos importantes dice relación con el nivel de hidrofobicidad del suelo, ya que dependiendo del tipo de materia orgánica contenida en el lodo, el resultado sobre la estabilidad de agregados y erodabilidad del suelo será distinto. La tasa de entrada del agua en el agregado (v) está dada por (1):

$$v = \frac{r\gamma\cos\theta}{4\eta z} \quad (1)$$

Donde r es el radio del poro, γ es la tensión superficial, θ es el ángulo de contacto, η es la viscosidad del agua y z es la distancia de penetración en el poro (Cheng *et al.*, 2000). Un incremento en el ángulo de contacto del agua sobre la fase sólida de 16 a 58° genera una disminución de la tasa de entrada de agua de un 45%, lo que asegura una menor susceptibilidad a la destrucción del agregados por la presión capilar ejercida por el humedecimiento rápido (Chenu *et al.*, 2000).

En cuanto a la conductividad hidráulica, como ya se señaló, la idea general es que esta aumenta con mayores montos de aplicación de lodos. Sin embargo, Muñoz *et al.* (1999) encontraron, para suelos francos con escaso contenido de materia orgánica, una disminución en los valores

de conductividad hidráulica saturada. Podría pensarse entonces que aplicaciones en suelos con alto contenido de materia orgánica, pueden provocar una repelencia excesiva al agua, lo que se traduce en una menor tasa de infiltración, y sumado a esta menor conductividad hidráulica, se produciría una mayor escorrentía superficial.

Los medios porosos, como el suelo, no son tan sólo evaluados por su volumen total o por la distribución que estos tienen, sino que también por la capacidad de transmitir fluidos como el agua o el aire (Dörner y Horn, 2006). La permeabilidad del suelo, ya sea al agua o aire, corresponde a la función de los poros que depende exclusivamente de las características del material. Por lo tanto, la permeabilidad es una exclusiva propiedad del medio poroso y su geometría (Hillel, 1998). Los factores geométricos que gobiernan la capacidad de transmitir fluidos en el sistema poroso son la porosidad total, la distribución de los poros, la forma del sistema poroso, la continuidad y tortuosidad de los poros (Bear, 1972). Estos factores pueden ser descritos apropiadamente por la permeabilidad de aire del suelo (Corey, 1986) y es por esto que esta propiedad es una de las más utilizadas para evaluar el efecto del manejo sobre la función de los poros en el suelo (Groenevelt *et al.*, 1984; Ball *et al.*, 1988, Dörner, 2005). Los factores geométricos del sistema poroso están estrechamente ligados con la estructura de suelo (Dörner y Horn, 2006) y esta última con los ciclos de humedecimiento (hinchamiento) y secado (contracción) del suelo y la acción de la materia orgánica (Horn y Smucker, 2005). Es por esto, que mediciones de permeabilidad de aire, que permiten estimar parámetros de continuidad o de organización de los poros, constituyen una muy buena herramienta para evaluar el

efecto de la aplicación de lodos sobre el suelo.

Del punto de vista de los cambios en las características mecánicas de los suelos, con aplicaciones de este tipo de enmiendas existe poca investigación. Es indudable que la materia orgánica del suelo aumenta la resistencia mecánica de estos, ya que actúa como ligante entre las partículas, aumentando los valores de ángulo de fricción (Hartge y Horn, 1992). Por lo tanto una aplicación de materia orgánica aumentaría el grado de resistencia mecánica de los suelos frente a acciones antrópicas (laboreo) o naturales como el efecto del golpe de la gota de lluvia sobre los agregados de suelo cuando estos están desnudos. Evidencias de esto se presentan en estudios con aplicaciones de residuos orgánicos (Hartge, 1975; Zhang *et al.*, 1997). Sin embargo, dosis excesivas en algunos suelos podrían provocar un efecto contrario, vale decir, actuar como lubricantes entre las partículas de suelo, sin generar ligazones que favorecieran la agregación, por lo que es válido preguntarse cuales son las tasas adecuadas de aplicación de lodos, para determinados tipos de suelo del punto de vista físico-químico.

Si bien es cierto que la materia orgánica actúa con un elemento ligante entre las partículas de suelo, se modifica el rango de friabilidad de estos, es decir el rango de humedad en que el suelo muestra adecuadas características mecánicas para el laboreo. Si las aplicaciones son muy frecuentes o se sobrepasa el nivel permitido dependiente de características propias del suelo, puede generarse una cierta inestabilidad mecánica. Al considerar los mecanismos de incorporación, es muy probable que el suelo, en el corto plazo, posea una menor capacidad de soporte, pudiendo producirse nuevos procesos de compactación en el mediano plazo.

Es conocido que los suelos muestran una cierta resistencia mecánica tanto a la compresión como a la tracción, sin estas resistencias el suelo se desmorona, esto ocurre cuando se provocan asentamientos, o los colapsos de material en pendientes que terminan en la formación de cárcavas. Esta resistencia mecánica tiene un registro histórico, que se mide con la curva de precompresión. Si se supera esta resistencia, el suelo se deforma a nivel de su sistema poroso. Estas deformaciones implican cambios en el volumen a expensas del sistema poroso, con reducciones en los montos totales y redistribuciones negativas del sistema poroso, disminuyendo la porosidad gruesa y aumentando la fina, con efectos colaterales como pérdida en la conducción de aire, o de agua. Estos procesos tienen efectos sobre la calidad ambiental del suelo. Ahora, la resistencia mecánica natural del suelo esta dada por la aparición de puntos de contacto entre las partículas, la presencia de materia orgánica recubriendo a las partículas de suelo, formando films alrededor de estos, aumenta estos puntos de contacto y a través de uniones órgano minerales permite la estabilización de estas partículas en agregados de suelo, por otro lado, la presencia de sistemas radicales extendidos forma canastillos alrededor de agrupaciones de partículas y a través de la exudación de compuestos orgánicos promueve también la agregación, es posible pensar que aplicaciones excesivas de materiales orgánicos al suelo, pudieran provocar el efecto "lubricante" entre las partículas de suelo mencionado anteriormente, y esto aumentar la cantidad de planos de falla en el suelo, con la consiguiente disminución de la capacidad de soporte,.

CONSIDERACIONES FINALES

Actualmente existen en el país, una alta cantidad de plantas de tratamiento primario de residuos domiciliarios, las que incluso deberían aumentar en el corto y mediano plazo (CONAMA, 1999). El objetivo de estas plantas es separar los componentes sólidos de las aguas servidas provenientes de alcantarillados urbanos, y eliminar las aguas, con una alta carga de nutrientes y componentes orgánicos sobre masas de agua, ya sean estas ríos, lagos o directamente al mar. En cuanto a los residuos sólidos, estos se acumulan en depósitos autorizados. Los principales problemas asociados a la depositación de estos residuos en un gran volumen son la alta acumulación de percolados de origen orgánico, con las consiguientes cargas microbiológicas que pueden contaminar los suelos y aguas subterráneas sobre los cuales están siendo depositados. Otra forma de disposición final es la quema de estos residuos, sin embargo, esto podría estar concentrando cantidades de metales pesados en las cenizas resultantes, las que al acumularse en depósitos, crearían zonas con altas cargas de dichos elementos, que invariablemente causan contaminaciones en los sitios de disposición final y/o en lugares vecinos. Se han utilizado en muchos lugares alrededor del mundo como enmienda orgánica en suelos degradados, ya que presentan componentes que mejoran algunas características de los suelos donde son aplicados, por ejemplo cambios en los valores de Densidad aparente, sin embargo, no se conoce a ciencia cierta el efecto de estos en el largo plazo y cual es el alcance máximo de estos cambios. No se han analizado los cambios de estas enmiendas sobre la funcionalidad del sistema poroso.

En este sentido la investigación en el uso de lodos municipales, o de algún otro tipo de enmienda orgánica necesariamente

debe plantearse como objetivo fundamental el análisis del efecto en el largo plazo y si favorece o no a la aparición de sistemas porosos primarios vía formación de agregados. Si existen procesos mecánicos asociados al uso de lodos sobre el suelo. Cuanto favorece a la agregación del suelo.

Una alternativa para evaluar el efecto sobre la formación de sistema poroso es a través de la Conductividad de aire a diferentes tensiones de agua, de manera de evaluar el monto de poros bloqueados, y eliminar el sesgo de la curva de retención de humedad al existir angostamientos o ensanchamientos del sistema poroso del suelo.

Del punto de vista ambiental, el uso de sustratos para invernaderos como por ejemplo “tierra de hoja” ha provocado la destrucción de los ecosistemas en sectores precordilleranos de la zona central, al eliminar las capas de suelo orgánico formado bajo el bosque nativo local. Por otra parte se ha utilizado con iguales objetivos y en forma indiscriminada a la especie *Sphagnum moss* conocida localmente como Ponpon especialmente de la décima región y la turba de Magallanes (*Sphagnum white peat* o *Sphagnum black peat*). Todas las labores de retiros de estas capas desde la superficie de estos ecosistemas causan la destrucción de estos de manera irreversible. Una alternativa debiera ser desarrollar tecnología para reutilizar los lodos municipales como sustrato para invernaderos y viveros de plantas. Estos materiales tienen un “valor ecológico” bajo, con un impacto altamente positivo de su reutilización, ya que se evita su acumulación y contaminación de dichos sitios, y se desincentiva la depredación que sufren algunos sectores cercanos a ciudades, donde se han deforestado amplios sectores para extraer estos materiales orgánicos, o la destrucción de humedales para la extracción del Ponpón, o las turberas

de Magallanes que son irrecuperables a escala humana. Otro objetivo que a juicio de los autores debe perseguirse, es la determinación para diferentes condiciones de suelo, los montos máximos y mínimos que provocarán efectos positivos, y las formas de aplicación. Al respecto, aplicaciones bajo el nivel mínimo necesario, pueden generar efectos transientes, y dosis muy altas, entre otros efectos negativos, disminución excesiva de la capacidad de soporte y de la resistencia al corte de los suelos, o un sellado superficial de estos, con el consiguiente escurrimiento superficial y contaminación de otros agroecosistemas.

Los trabajos realizados en varias partes del mundo (Nordcliff, 1998; Zhang *et al.*, 2002), han demostrado que la aplicación de materia orgánica provoca efectos positivos en algunas propiedades físico mecánicas de suelo, como la densidad aparente y la porosidad gruesa (estructural), sin embargo, en estos trabajos se apunta a determinaciones que no evalúan efectos en el largo plazo, ya que los cambios en las propiedades físicas del suelo al aplicar residuos orgánicos se atenúan rápidamente en el tiempo y con el manejo. Además no se consideran efectos sobre la agregación de suelos y las propiedades mecánicas de estos. De tal modo que aplicaciones en cantidades excesivas de materiales orgánicos, o aplicaciones en suelos con un alto contenido de materia orgánica, pueden provocar hidrofobia, y aparición de sellado superficial y flujos preferenciales, una menor tasa de infiltración y una mayor escorrentía superficial.

En este sentido, considerando las altas dosis que se están aplicando, es necesaria una mayor investigación del efecto de la incorporación de lodo urbano sobre las propiedades mecánicas del suelo. Planteándose que el uso de indicadores de características físico mecánicas de suelo,

son necesarias para determinar los montos y formas de aplicación en suelos degradados, un parámetro adecuado a juicio de los autores es la permeabilidad de aire, que puede ser ajustada en función de las cantidades aplicadas, el tiempo y tipo de manejo y el tiempo de duración del efecto sobre el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- BALL, B.C., O'SULLIVAN, M.F. and HUNTER, R. 1988. Gas diffusion, fluid flow and derived pore continuity indices in relation to vehicle traffic and tillage. *J. Soil Sci.* 39, 327–339.
- BEAR, J. 1972. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Elsevier, New York, p. 764.
- CONAMA, CHILE. 1999. Anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. Santiago, Chile. 24p.
- COREY, A.T. 1986. Air Permeability. In: A. Klute (Editor), *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 319–330.
- DÖRNER, J.M. and HORN, R. 2006. Anisotropy of pore functions in structured stagnic luvisols in the weichselian moraine region in Northern Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169: 213-220.
- DÖRNER, J.M. 2005. Anisotropie von Bodenstrukturen und Porenfunktionen in Böden und deren Auswirkungen auf Transportprozesse im gesättigten und ungesättigten Zustand. Ph. D. Thesis. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian Albrechts University, Kiel, Germany, Nr. 68, 182 S. ISBN: 0933-680 X.

- FAÚNDEZ, P. 2005 Actividad microbiológica global en suelos acondicionados con biosólidos cloacales frescos y compostados con residuos forestales. Tesis Ing. Agronomo, Universidad de Chile. 61 p. In: www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/faundez_p/sources/faundez_p.pdf
- GROENEVELT, P.H., Kay, B.D. and GRANT, C.D. 1984. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. *Geoderma* 34, 101-114.
- HARTGE, K.H. and HORN, R. 1992. Die physikalische Untersuchung von Böden. Ferdinand Enke Verlag, 3. Auflage, Stuttgart, p. 177.
- HILLEL, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic press, London, p. 771.
- BOUANANI, F., DOMEIZEL, M. AND PRONE, A. 2002. Field study and controlled conditions experiments of nitrogen mineralization and changes of a soil physical properties, after spreading of organic matters coming from agricultural and municipal wastes. P 209. In: Abstracts 17th World Congress of Soil Science, 14 – 17 agosto 2002, Bangkok, Thailand.
- CHENU, C., LE BISSONNAIS, Y. AND ARROUAYS, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1479-1486.
- GUERRERO, C., MATAIX - SOLERA, J., NAVARRO - PEDREÑO, J., GARCÍA - ORENES, F. AND GÓMEZ, I. 2001. Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils. *Arid Land Research and Management* 15: 163-171.
- HARTGE, K. H. 1975. Organic matter contribution to stability of soil structure. pp: 103-110. In: *Soil conditioners*. SSSA Spec. Publ. 7. Madison WI.
- HOSS, T., DÜRING, R. A. AND GÄTH, S. 2001. Use of compost and sewage sludge with different tillage treatments for sustained soil protection. pp: 440-446. In: Stott, D. E., Mohtar, R. H. and Steinhardt, G. C. (eds.). *Sustaining the global farm*. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held.
- LEWIS, D. L., GATTIE, D. K., NOVAK, M. E., SÁNCHEZ, S. AND PUMPHREY, C. 2002. Interactions of pathogens and irritant chemicals in land-applied sewage sludges (biosolids). *BMC Public Health* 2: 11-18. In: <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/2/11>
- MACEDO, J. R., PIRES, L. F., REICHARDT, K., DORNELAS, M., BACCHI, O. S. S. AND MENEQUELLI, N. A. 2002. Organic residual management and soil physical properties. P 1800. In: Abstracts 17th World Congress of Soil Science, 14 – 17 agosto 2002, Bangkok, Thailand.
- MARAMBIO, C. Y ORTEGA, R. 2003. Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. *Revista Agronomía y Forestal UC* 20: 20-23
- MARX, D. H., BERRY, C. R. AND KORMANIK, P. P. 1995. Application of municipal sewage sludge to forest and degraded land. pp: 275-295. *Agricultural utilization urban and industrial by-products*. ASA Special Publication N°58. Madison WI 53711, USA.

- MUÑOZ, F.; POLO M.; GIRADLES, J. 1999. modificación física de algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Guadalquivir enmendado con lodos de depuradora, en Estudios de la zona no saturada del suelo, pp115-121. Muñoz, R., Ritter, A., Tascón, C. (eds.) ICIA. Tenerife.
- NORDCLIFF, S. 1998. The use of composted Municipal solid waste in land restoration. P 396. In: Abstracts 16th World Congress of Soil Science, 20 – 26 agosto 1998, Montpellier, France.
- NRIAGU, J. AND PACYNA, M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333: 134-139.
- ROLDÁN, A., ALBADALEJO, J. AND THORNES, J. B. 1996. Aggregate stability changes in a semiarid soil after treatment with different organic amendments. Arid Soil Research Rehabilitation 10: 139-148.
- TRELO-GES, V. AND CHUASAVATHI, T. 2002. Effect of municipal waste and grass cultivation on physical properties of a sandy soil of northeast Thailand. P 924. In: Abstracts 17th World Congress of Soil Science, 14 – 17 agosto 2002, Bangkok, Thailand.
- ZHANG, H., HARTGE, K. H. and RINGE, H. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:239-245.