

Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago¹

Carmen Paz Castro², Olivia Henríquez³, Rodolfo Freres⁴

RESUMEN

Uno de los impactos medioambientales más negativos que ha tenido el crecimiento explosivo de la Región Metropolitana de Santiago en las últimas décadas, ha sido la contaminación de los cursos de agua por el vertimiento de aguas servidas. En la actualidad, las aguas servidas a nivel nacional son sometidas a tratamientos, lo que implica un aporte al mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos en general. Un subproducto de este tratamiento es la generación biosólidos, que alcanzan actualmente la cifra de 75.555 ton día⁻¹ en la Región. Si bien estos lodos tienen propiedades que permitirían mejorar las características físicas y productivas de los suelos, también contienen elementos traza metálicos y algunos patógenos, que pueden ocasionar daños a la salud humana. En virtud de lo anterior se analizan aquellos suelos que pueden ser receptores de estos lodos sin convertirse en agentes de contaminación, y que a su vez tengan un uso y habitabilidad compatibles.

Palabras Clave: Biosólidos; suelos, BARU's (Unidades Homogéneas de Respuesta a la Aplicación de Biosólidos).

ABSTRACT

One of the most negative environmental impacts that have had an explosive growth of Santiago's Metropolitan Region in the last decades, has been the pollution of water courses caused by effluents of waste waters. As a consequence, waste waters are being now treated at national and urban scales, substantially improving their environmental quality. However, treatment processes generate, like a byproduct, residual sludge or bio-solids that reach already 75.555 ton day⁻¹ in the Santiago region. It is expected an increasing amount of sludge as a consequence of the growth of the number of treatments plants in the near future. Although, these sludge have properties that would allow the improvement of the physical features and productive of the silvoagropecuarian lands, they also contain elements like metallic traces and some pathogens, that can cause damages on the human health. This paper analyzes soils than can be adequate receptors for water treaties sludge, non pollutants and compatible in terms land use and habitability.

Key Words: Biosolids, soils, BARU's (Biosolids Application Response Units).

¹ Proyecto Fondecyt N° 1050726 y N° 7050158. Artículo recibido el 10 de marzo de 2006 y aceptado el 9 de noviembre de 2006.

² Departamento de Geografía, Universidad de Chile (Chile). E-mail: cpcastro@uchile.cl

³ Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), (Chile). E-mail: olivia.henriquez@sag.gob.cl

⁴ Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), (Chile). E-mail: rodolfo.freres@sag.gob.cl

Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el tratamiento de aguas servidas. Esto incluye, pero no se limita, a sólidos removidos en tratamientos primarios, secundarios o terciarios y material derivado de lodos sanitarios.

Según sus características sanitarias se clasifican de la siguiente manera: *lodos clase A*, aquellos sin restricciones sanitarias para su aplicación benéfica al suelo (coli fecales < 1.000 NMP/g lodo) y *lodos clase B*, aquellos aptos para aplicación benéfica al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos (coli fecales < 2.000.000 NMP/g lodo). En términos generales, se entiende por lodos no peligrosos aquellos generados por plantas de tratamiento biológico de aguas servidas y de residuos industriales líquidos de tipo orgánicos, aportados por empresas con un código CIUU entre 3111 y 3199 o lodos que no presenten ninguna característica de toxicidad, reactividad, inflamabilidad o corrosividad.

Se puede señalar que hasta el momento los lodos han sido depositados en rellenos sanitarios, receptáculos que con el transcurrir del tiempo se han tornado insuficientes, producto de los crecientes volúmenes generados, siendo por lo tanto, necesaria la búsqueda urgente de alternativas de destino y

de reutilización, los que podrían constituirse en opciones de mejoramiento de recursos degradados, como es el caso de los suelos.

Existen antecedentes de que los lodos residuales tienen valor fertilizante (Proyecto INIA-AGUAS ANDINAS, 2001) y pueden actuar también en el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos por su elevado contenido de materia orgánica. La dosis de aplicación se suele calcular en función de los requerimientos de los cultivos en N y P (Nitrógeno y Fósforo, respectivamente). Resultado de ello es que la productividad del suelo aumenta frecuentemente a causa del llamado *efecto de la materia orgánica*, que se produce después de la aplicación de lodos.

Sin embargo, como se señaló, estos biosólidos pueden contener un gran número de metales pesados y de elementos trazas debido a la variedad de orígenes de las descargas de efluentes que se evacúan en los sistemas de alcantarillado (Allaway, 1990). Estos incluyen productos de excreción de seres humanos, sustancias químicas domésticas, combustibles de automóviles, lubricantes y productos de limpieza, además de otro tipo de riles que descargan a estos sistemas de evacuación, de modo que su reglamentación considera las concentraciones máximas permitidas para disminuir los riesgos (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS PERMITIDA EN LODOS

ETM	Concentración permitida por país (mg/kg de lodo en base a materia seca)					
	Chile		España	Francia	UE	Argentina
Cd	8	40	20 - 40	20	40	20
Cr	-	-	1.500	1.000	-	1.000
Cu	1.000	1.500	1.000 - 1.750	1.000	1.750	1.000
Hg	4	20	16 - 25	10	25	16
Ni	80	420	300 - 400	200	400	300
Pb	300	400	750 - 1.200	800	1.200	750
Zn	2.000	2.800	2.500 - 4.000	3.000	4.000	2.500
Fuente	CONAMA (2000)		Labrador (1996)	Kaemmerer (2001)	Mazzarino (2003)	

Existen diversas alternativas para la disposición de lodos, desde depositarlos en rellenos sanitarios, incinerarlos, hasta utilizarlos provechosamente en producción vegetal, sin embargo, hay limitaciones para su utilización en agricultura debido a que pueden presentar una alta carga patogénica y presencia de elementos traza metálicos que pueden afectar a la cadena trófica a través de los cultivos y/o contaminar las aguas freáticas (Legret *et al.*, 1988; Gennaro *et al.*, 1991; Barbarick *et al.*, 2004). De allí, que la metodología de aplicación correcta debe orientarse por criterios sanitarios, agronómicos y el contenido de metales pesados, tanto de los lodos como de los suelos receptores.

En este sentido, resulta importante considerar el concepto de *calidad de suelos*, que es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de límites ecosistémicos naturales o manejados, para sostener la productividad vegetal y animal, mantener la calidad del aire y del agua, la vida animal y vegetal, ser filtro y *buffer* de contaminantes, soporte físico de estructuras, además de participar en el ciclo de nutrientes. En esencia, la *calidad del suelo* puede ser entendida como una extensión de la ciencia de la pedología, con foco en el carácter dinámico del suelo y la influencia de un uso humano intensivo (Norfleet *et al.*, 2003; Karlen *et al.*, 1997).

En Francia, más del 60% (850.000 toneladas de materia seca) de los lodos fueron incorporados al 2% de los suelos agrícolas en 1999 y se esperaba que esto aumentara para el 2005 a 1,3 millón, siendo utilizados fundamentalmente como fertilizantes. En Estados Unidos, el año 1989 ya se incorporaba el 42% de los biosólidos a los suelos agrícolas (Epstein, 2003).

Otros estudios han mostrado efectos positivos de la adición de biosólidos en zonas montañosas de Nuevo México (Fresquez & Dennis, 1990) y en Colorado (Harris-Pierce, 1994). En Estados Unidos (Barbarick *et al.*, 2004) experimentaron durante seis años con aplicaciones de biosólidos en suelos de praderas y de arbustos, concluyendo que el suelo tratado mostró un aumento de la respiración (CO₂), de la mineralización de N, de las asociaciones mycorrizal, y de la biomasa

activa, al compararlos con los suelos no tratados. De esta manera, los biosólidos pueden contribuir a mejorar la calidad del suelo relacionada a la actividad microbiana.

Según la normativa chilena, en trámite de aprobación, el manejo de los lodos no peligrosos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas –como aplicación benéfica al suelo y por tanto, mejorador de sus propiedades físicas– tiene por objeto proteger la salud de la población y evitar la degradación de los recursos naturales. La potencialidad para ser aplicados depende tanto de las propiedades de los lodos como de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Dicha normativa establece dos macrozonas geográficas en el país, en las cuales la aplicación de los biosólidos debe ser diferenciada. La *macrozona norte* comprende desde la I Región a la Región Metropolitana de Santiago y la *macrozona sur* desde la VI a la XII Región. Sin embargo, esta distinción parece extremadamente genérica si se considera la alta variación espacial del suelo y de las condiciones climáticas, por lo que se hace necesario una división territorial de mayor detalle para seleccionar las zonas de mejor adaptabilidad a la incorporación de lodos.

Esto adquiere relevancia debido a que el estudio se centra en la Región Metropolitana de Santiago, por la alta generación de lodos y por la necesidad de evaluar el territorio ya que se trata de suelos urbanos y suburbanos, que han sido manejados intensivamente y que se encuentran en gran parte disturbados, sin que se conozca a fondo su dinámica. Por lo tanto, el estudio busca identificar y tipificar unidades espaciales potenciales de recibir lodos, tomando como caso de estudio la zona norte de dicha Región.

El contexto chileno

En Chile, en un escenario en que en todo el país se están construyendo o están en operación Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), se hace especialmente relevante analizar los posibles destinos que tendrán los lodos residuales. En la actualidad existen 176 localidades pobladas cuyas aguas están sien-

do tratadas por plantas autorizadas (Cuadro N° 2). En el caso de la Región Metropolitana, son catorce las localidades atendidas por las empresas Aguas Santiago Poniente, Aguas Andinas S.A., ESSA, Manquehue, AP Melipilla Norte y Servicomunal (SISS, 2004).

Las PTAs han ido aumentando la producción de lodos, tal como ha ocurrido con El Trenal y La Farfana, que han incrementado su producción desde 21.535 tondía⁻¹ de materia seca en 2001 a 75.555 tondía⁻¹ en

2004, esperándose que para el año 2009, la cifra llegue a 111.690 tondía⁻¹, al entrar en operación la PTA, Los Nogales (Aguas Andinas, 2004).

El Reglamento de Lodos No peligrosos (CONAMA, 2000), en trámite de aprobación, establece los límites obligatorios para las concentraciones de metales pesados en los lodos residuales que se pueden aplicar a los suelos, a objeto de prevenir riesgos de contaminación (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 2
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS AUTORIZADOS EN CHILE. ABRIL 2004

Región	Empresa Sanitaria	Tipo de tratamiento	Localidades
I	ESSAT	ES/LA	5
II	ESSAN	ES/LoAc	5
III	EMSSAT	LA	6
IV	ESSCO	ES/LA/LoAc/Lag.Est	21
V	ESVAL COOPAGUA	ES/LA/LoAc/Lag.Est/FQ/SBR	27
RM	Aguas Santiago Poniente Aguas Andinas ESSA Manquehue AP Melipilla NORTEGUAS Santiago Poniente SERVICOMUNAL	ES/LA/LoAc/Lag.Est/FQ/ SBR/BF	14
VI	ESSEL S.A.	LA/LoAc/Lag.Est	20
VII	Aguas Nuevo Sur S.A.	LA/LoAc	14
VIII	ESSBIO S.A.	ES/LA/LoAc/Lag.Est	23
IX	ESSAR S.A. ESSI	LA/LoAc/Lag.Est	15
X	ESSAL S.A. Aguas Décima	ES/LA/LoAc/Trat.1º	20
XI	EMSSA S.A.	Zox/LoAc	5
XII	ESMAG S.A.	Zox	1
Total			178

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2004.

Cuadro N° 3
CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE METALES EN LODOS PARA SU APLICACIÓN AL SUELO

Metal	Concentración máxima en mg/kg. de lodo (base materia seca) ⁵	
	Suelos con severas limitaciones para su aptitud frutal natural y/o en suelos forestales	Suelos degradados
Arsénico	20	40
Cadmio	8	40
Cobre	1.000	1.200
Mercurio	10	20
Níquel	80	420
Plomo	300	400
Selenio	50	100
Zinc	2.000	2.800

El reglamento en trámite de aprobación prohíbe la aplicación de lodos en suelos de pH igual o inferior a 5; de texturas arenosas (85% o más de arena); hidromorfos; con napa freática a menos de 1 m de profundidad, con riesgos de inundación, existencia de acuíferos vulnerables o fuentes superficiales de captación de agua potable y lechos de ríos. La carga metálica de los lodos tiene especial relevancia ya que esta tiene un componente muy diferente según su fuente, el tipo de suelo y las condiciones climáticas predominantes. Además, para lodos con limitaciones sanitarias debe fijarse un área de restricción alrededor de establecimientos tales como escuelas, hospitales, viviendas, entre otras.

La hipótesis que subyace en la presente investigación admite que la variabilidad espacial de los suelos de la provincia de Chacabuco es altamente dependiente de la variabilidad geológica y geomorfológica, por lo que permite suponer que existen diferentes tipos de suelos que presentan por tanto, una respuesta disímil a la aplicación de lodos o biosólidos.

Por las características de los suelos de la zona norte de la RM y el uso actual, referido especialmente a una fuerte expansión urbana, es posible que la superficie de suelos que presentan aptitud como receptores sea muy restringida.

Metodología

Análisis de los suelos de la provincia de Chacabuco

Se seleccionó la provincia de Chacabuco por una serie de criterios, entre ellos, la inferior calidad de sus suelos, debido a sus condiciones de formación y evolución, el manejo histórico caracterizado por un uso intensivo, la conectividad de la provincia, cercanía de las áreas receptoras a las PTAS y condiciones climáticas favorables, lo que permitiría disponer de un amplio territorio para la aplicación de lodos residuales, considerando su aptitud como mejorador de suelos.

Se consideró como información base el Proyecto Maipo de CIREN CORFO (1996), generándose la cartografía temática necesaria para la caracterización de los suelos. El sistema de información geográfica diseñado, con apoyo del software *Arc View 3.2*, permitió seleccionar aquellos suelos con aptitud para la aplicación de biosólidos, en función del cumplimiento de la normativa en trámite, excluyéndose de esta forma, aquellas zonas

⁵ Concentraciones expresadas como contenidos totales.

que podrían ser riesgosas en función de la pendiente, textura, contenido de materia orgánica, profundidad de la napa freática, uso del suelo y capacidad de uso (Figura N° 1).

Muestreo de suelos

Se efectuaron tres campañas de terreno, donde la primera tuvo como objetivo el reconocimiento general de la provincia en lo que respecta a suelos, uso actual y vías de acceso, apoyado por la información cartográfica, cartas IGM y ortofotos. Se identificaron las series de suelos en función de la cartografía existente y de información obtenida en terreno. Luego de esta actividad, se seleccionaron los puntos de muestreo en función de la exclusión señalada anteriormente.

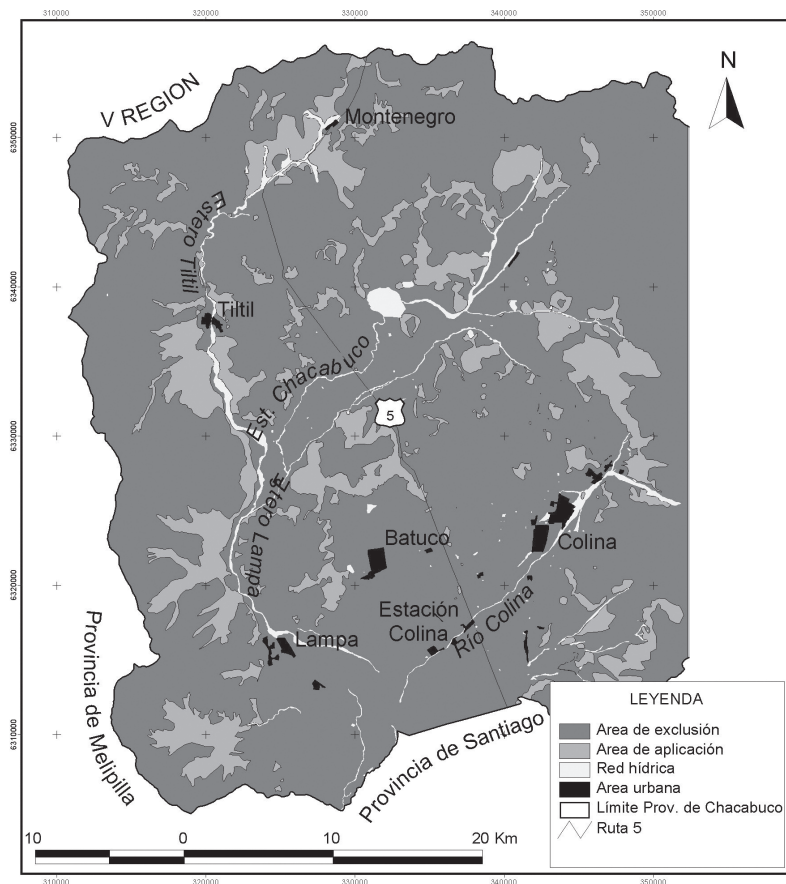
Se tomaron muestras compuestas de suelos de los primeros 20 cm (capa arable), las que fueron georreferenciadas con el uso de GPS tipo *Garmin*. Las muestras fueron identificadas y llevadas al laboratorio del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para su análisis químico.

Los análisis efectuados corresponden a pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (%MO), N, P, K disponibles y capacidad de intercambio catiónica (CIC).

Resultados

Los suelos de la provincia de Chacabuco presentan diversos orígenes y varían en posi-

Figura N° 1
ÁREAS DE EXCLUSIÓN PRIMARIAS PARA LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS



Fuente: Elaboración propia.

ción y pendiente. Aquellos ubicados en sectores de *pedmont*, en general no presentan una aptitud agrícola, por lo que su uso se restringe a la producción de tipo ganadero-forestal. Estos abarcan áreas con pendientes en rangos de un 15-18%, disectados con buen drenaje, una permeabilidad moderadamente lenta a lenta y un escurrimiento superficial rápido. La mayor proporción de estos suelos se encuentra en la categoría de no arables.

Los suelos de origen aluvio-coluvial se ubican en pendiente simples y en algunos casos suavemente inclinados, pudiendo descansar sobre un substrato de arenas, gravas y piedras por debajo de los 150 cm de profundidad. En general, presentan buen drenaje y un escurrimiento superficial rápido. En su mayor proporción estos suelos han sido habilitados para el uso agrícola y se encuentran normalmente bajo riego.

En términos generales, es posible distinguir suelos de mejor calidad en el fondo de valle, asociados a las terrazas fluviales y al cono de deyección regular del río Colina, en donde presentan clases de capacidad de uso (CUS): I, II y III en la parte norte, empobreciéndose hacia el sur, desde un punto de vista de fertilidad natural, en el *glacis* de ahogamiento del mismo río. Los sectores de *pedmont* sin tecnologías apropiadas, no tienen capacidad de uso agrícola y en general se trata de zonas degradadas por la desforestación. Los suelos que presentan un origen aluvio-coluvial, pero que descansan sobre un *substratum* de arenas, gravas y piedras por debajo de 150 cm de profundidad, tienen un buen drenaje y escurrimiento superficial rápido.

Al aplicar la normativa vigente y al descartar los suelos donde la aplicación de lodos podría ser riesgosa, los suelos potenciales resultantes, son escasos y se localizan preferentemente en el *pedmont* de la cordillera de la Costa (Figura N° 1).

Análisis de muestras de suelo

Los suelos muestreados se clasificaron de acuerdo a la "Pauta para Estudios de Suelos" (2001) del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Ministerio de Agricultura. Según los

resultados de los análisis es posible señalar lo siguiente:

Respecto de los valores de pH, en general se presentan en rangos desde ligeramente ácidos a neutros vale decir, entre 6,1 a 7,8, tal como se señala en el Cuadro N° 4. El suelo de la muestra identificada como P13 se encuentra en un nivel de ligera acidez con un valor de pH de 5,9.

La conductividad eléctrica media muestra que los suelos se encuentran en condiciones no salinas (0-2 mmhos/cm), por lo cual no tienen ningún grado de limitación y pueden sustentar cualquier tipo de vegetación.

Respecto de la materia orgánica (MO), los suelos muestran diferencias en sus contenidos los que fluctúan entre un valor máximo de 5,1% de MO para la muestra identificada como P19 hasta un valor mínimo de 1,6% para el suelo identificado como P16. El contenido de materia orgánica se considera bajo en el 50% de los suelos muestreados, es decir, en el rango de 1,6 a 2,4%.

Los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio disponibles, que en su conjunto establecen la fertilidad de los suelos, dan cuenta que en la muestra P10 se presentan valores de concentración de N, P, K significativamente mayores, situación similar a la encontrada en la muestra de suelos P21. En general, la mayor parte de las muestras analizadas presentan bajas concentraciones de nitrógeno disponible, tal como la muestra P17 que presentó un contenido de 2 mgkg⁻¹ considerado bajo.

Los contenidos de potasio en los suelos varían normalmente entre 0,5 a 2,5% siendo 1,2% un valor normal, rango en que se encuentran todos los suelos muestreados. En relación al fósforo, se señala que en suelos de la zona central se han determinado valores entre 730 y 1.290 mgkg⁻¹, los resultados analíticos del área de estudio arrojan valores muy bajos.

El análisis de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), determinó resultados que establecen que las muestras de suelos

en su mayoría tienen alta capacidad, lo que tiene relación con un buen índice de fertilidad, exceptuándose 3 muestras (P12, P13 y P17) que tienen valores inferiores a 10 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$.

Discusión

La provincia de Chacabuco fue seleccionada para este análisis ya que, de acuerdo a sus características morfoedafológicas, presentaría las mejores condiciones para la recepción de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Sin embargo, luego del análisis y consideración de la normativa actualmente en trámite final de aprobación, se obtuvo como resultado que existe una escasa superficie de suelos apta para recibir biosólidos, debido por una parte, a la gran cantidad de suelos de aptitud agrícola existentes que deben ser excluidos para esta aplicación, y por otra, al desarrollo urbano creciente y disperso que caracteriza actualmente a la provincia, y a las zonificaciones

establecidas en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), que en muchos casos son incompatibles con la normativa de disposición de estos productos.

En general, los suelos que presentan mejor aptitud como receptores de biosólidos en la provincia, corresponden a aquellos de origen coluvial y aluvio-coluvial (de escaso contenido de materia orgánica, texturas finas, pendientes inferiores al 15% y buen drenaje), áreas asociadas fundamentalmente al borde oriental de la cordillera de la Costa.

Con respecto al análisis del contenido de metales pesados y elementos traza metales, fundamentales para tomar la decisión de la aplicación, se contó con la escasa información secundaria existente, complementada con datos recientes generados por la empresa sanitaria Aguas Andinas y por esta investigación. Según estos antecedentes no existirían limitantes significativas en la provincia ni en la Región Metropolitana de Santiago a este respecto, debido a que los niveles de metales

Cuadro N° 4
ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUÍMICOS DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE CHACABUCO, REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

Punto	Serie de Suelo	pH	C. E. MS/cm	M. O. %	Nitrógeno Disponibile (mgkg^{-1})	Fósforo Disponibile (mgkg^{-1})	Potasio Disponibile (mgkg^{-1})	CIC ($\text{cmol}+$ kg^{-1})
P 10	<i>Piedmont</i> Cuesta Barriga	6,3	0,58	4,6	28	28	454	18,5
P 11	<i>Piedmont</i> Cuesta Barriga	6,7	0,55	3,5	6	35	678	21,1
P 12	Chicauma	6,1	0,35	2,4	7	12	172	9,0
P 13	Chicauma	5,9	0,32	2,2	4	12	146	8,0
P 14	Asoc. Mansel	6,3	0,54	4,7	14	13	250	12,8
P 15	N/R	6,5	0,43	4,6	16	20	485	30,9
P 16	Lo Vásquez	6,2	0,10	1,6	4	21	144	11,2
P 17	Lo Vásquez	6,2	0,10	1,8	2	21	90	9,6
P 18	Quilapilún	7,8	0,59	2,1	15	6	510	41,0
P 19	Quilapilún	6,8	0,65	5,1	15	47	654	37,2
P 20	Quilapilún	7,2	0,45	3,0	12	19	464	32,6
P 21	Rungue	6,9	0,64	4,2	38	26	860	35,0

N/R: no reconocido

Fuente: Proyecto Fondecyt N° 1050726 y N° 7050158. Análisis Laboratorio de Diagnóstico INIA-CRI La Platina (febrero, 2006).

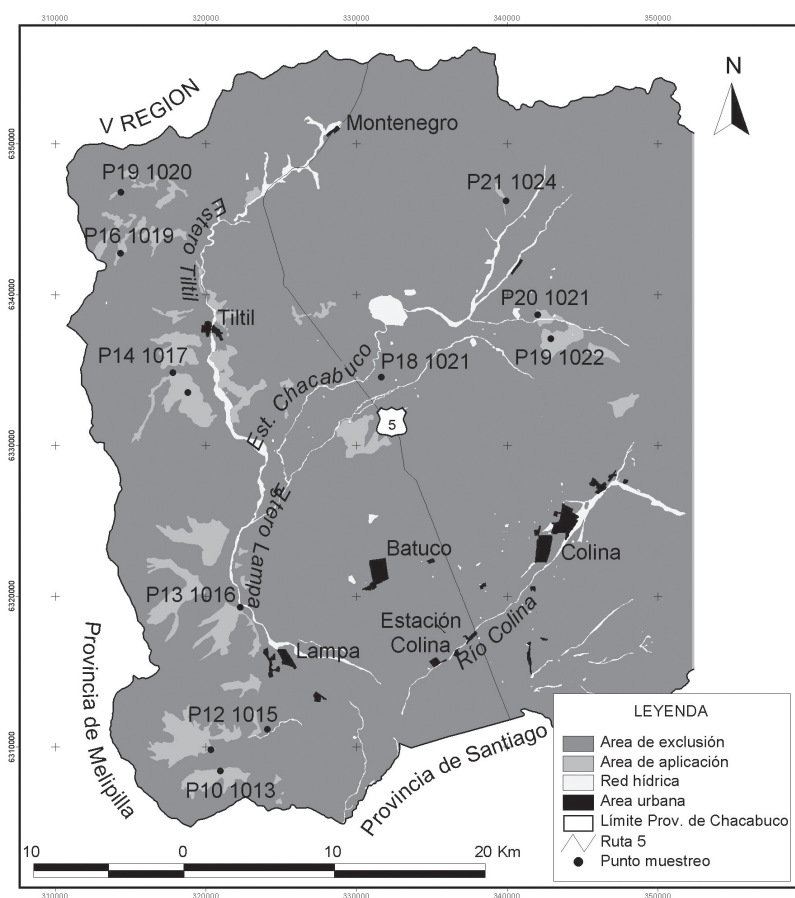
encontrados no exceden en general, la norma chilena en trámite, que es bastante estricta si comparada con normas internacionales. Solo se encontró algunos valores altos de cobre y zinc, en la provincia analizada.

Por otro lado, el actual desarrollo urbano e industrial de la provincia de Chacabuco se convierte también en un importante impedimento para la disposición de lodos y las modificaciones a los instrumentos de planificación dejan ver el surgimiento de nuevas zonas urbanas aprobadas que disminuyen aún más las potencialidades de aplicación.

Dentro de la provincia, la comuna que presenta una mayor potencialidad es la de

Lampa, donde existe una superficie de 3.679,8 ha aptas, ubicadas en conos aluviales de carácter torrencial en los alvéolos de Lipangue y Chicauma, con suelos delgados de textura francoarenosa y condición geodinámica activa. La comuna de Tiltill presenta 3.031,2 ha aptas, localizadas principalmente en vertientes activas de la cordillera de la Costa, de condición geodinámica muy activa. La comuna de Colina presenta las menores aptitudes con solo 1.151 ha aptas, localizadas en el cono aluvial y *glacis* asociados al estero Quilapilún, que presentan bajas pendientes y una condición geodinámica moderadamente activa a activa. Así, el área de aptitud de la provincia alcanza a 7.861,9 ha (4,6% de la superficie total), de las cuales, 1.290,5 ha de-

Figura N°2
ÁREAS DE MUESTREO Y UNIDADES DE APLICACIÓN (BARUS'S)



Fuente: Elaboración propia.

ben descartarse por incompatibilidad con la zonificación del PRMS.

Esto demuestra que la aplicación de biosólidos como mejoramiento de suelos agrícolas es actualmente poco factible y exige análisis a nivel local. Por este motivo, actualmente los lodos deberían disponerse fundamentalmente para recuperación de suelos degradados.

Conclusiones

La provincia de Chacabuco, de acuerdo a las características de los suelos, presenta buenas condiciones para la recepción de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Sin embargo, al aplicar la normativa actualmente en trámite, al desarrollo urbano disperso (parcelas de agrado y ZODUCs) y a la zonificación permitida por las modificaciones del Plan Regulador Metropolitano de Santiago, se obtiene como resultado una notable disminución de la superficie de suelos apta para recibir biosólidos.

Con dichas consideraciones, el modelamiento de unidades homogéneas potenciales de aplicación en la provincia de Chacabuco, demostró la existencia de un área muy restringida que puede ser utilizada con estos fines, que se condice con la hipótesis planteada y que presenta un escenario pesimista sobre las reales posibilidades de disposición de biosólidos en los suelos de la Región Metropolitana de Santiago.

Los antecedentes actuales con que se cuenta en términos de cartografía de suelos oficial, no permiten concluir en forma definitiva sobre las unidades espaciales de posible aplicación de lodos, ya que el análisis de terreno y laboratorio realizado en esta investigación, verificó diferencias que apuntan a una disminución de la calidad de los suelos en esta provincia, que difieren de los entregados por estudios anteriores. Esto debe ser corroborado con mayores análisis y puntos de muestreo.

En general los suelos que presentan mejor aptitud como receptores de biosólidos en

la provincia, corresponden a los de origen coluviales y aluvio-coluviales (de escaso contenido de materia orgánica, texturas finas, pendientes inferiores al 15%, y con buen drenaje), áreas asociadas fundamentalmente al borde oriental de la cordillera de la Costa.

Por las características de topografía, textura superficial y uso actual del suelo, entre otras, se concluye que existen suelos degradados que pueden ser receptores de biosólidos, pero su aplicación conlleva un manejo técnico que debe ser considerado para evitar riesgos ambientales.

Referencias bibliográficas

AGUAS ANDINAS. *Comunicación personal del Departamento de Medio Ambiente*. Santiago, 2004.

ALLAWAY, B. *Heavy metals in soils*. New York: Springer-Verlag, 1995.

BARBARICK, K.; DOXTADER, K.; RENDENTE, E. & BROBST, R. Biosolids effects on microbial activity in shrubland and grassland soils. *Soil Science*, 2004, Vol. 169, N° 3, p. 176-187.

CIREN CORFO. *Estudio agrológico de la Región Metropolitana*. Tomos I y II. Publicación 115, Santiago: CIREN-CORFO, 1996.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). *Versión 2000 del Anteproyecto de Reglamento de Lodos No Peligrosos*. Santiago: CONAMA, 2000.

EPSTEIN, J. *Land application of sewerage sludge and biosolids*. Colorado, United States of America, Lewis Publishers, 2003.

FRESQUEZ, P. & DENNIS, G. Composition and fungal groups associated with sewage shedged grassland soils. *Journal Arid Soil Residual Rehabil*, 1990, N° 4, p. 19-32.

GENNARO, M.; VANNI, A.; FERRARA, E.; PETRONIO, B.; PETRUZZELLI, G. & LIBERATORI, A. A characterization study of organic matter in municipal treatment sludges by

reversed-phase HPLC chromatography. *Journal of Environmental Science and Health*, 1991, A 26, N° 7, p. 1115-1138.

HARRIS-PIERCE. *The effects of biosolids application on native rangeland soils and vegetation*. Colorado: M.S. thesis, Colorado State University Fort Collins, 1994.

KAEMMERER, M. Curso de aplicación benéfica de biosólidos a suelos. Santiago: Aguas Andinas. 2001.

KARLEN, D.; MAUSBACH, J.; DORAN, R.; CLINE, R.; HARRIS & SCHUMAN, G. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Society America*, 1997, N° 61, p. 4-10.

LABRADOR, J. La materia orgánica en los agrosistemas. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996.

LEGRET, M.; DIVET, L. & JUSTE, C. Migration et speciation des métaux lourds dans

un sol soumis à des épandages de boues de station d'épuration à très forte charge. *Nickel Water Residual*, 1988, Vol. 22 N° 8, p. 953-959.

MAZZARINO, M. Uso agrícola de biosólidos en Argentina, la experiencia de Bariloche. *Noticias del Agua y Medio Ambiente* (Buenos Aires), 2003.

NORFLEET, M.; DITZLER, C.; PUCKET, W.; GROSSMAN, R. & SHAW, J. Soil quality and its relationship to pedology. *Soil Science*, 2003, Vol. 168, N° 3, p. 149-155.

PROYECTO INIA - AGUAS ANDINAS. Uso de lodos provenientes de las aguas de tratamiento como fertilizantes agrícolas. Santiago: INIA/AGUAS ANDINAS, 2004.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG). Pauta de Suelos. Santiago: SAG, 2001.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. *Comunicación personal*, 2004.

