

EVALUACIÓN DE CORTEZA DE PINO Y RESIDUOS URBANOS COMO COMPONENTES DE SUSTRATOS DE CULTIVO

Evaluation of pine bark and urban wastes as components of plant growth media

Nelson Zapata^{1*}, Francisca Guerrero¹ y Alfredo Polo²

ABSTRACT

Composted pine (*Pinus pinea* L.) bark, alone and mixed at 15 and 30% with compost of municipal solid wastes, compost of sewage sludge from urban waste water, and granulated dehydrated sewage sludge from urban waste water, were evaluated as plant growth media. To this end, chemical, physical, hydro-physical, phytotoxic properties, as well as pollution potential of their leachates were evaluated. Composted pine bark proved to have very restrictive physical and hydro-physical properties, in order to be used as plant growth media. With the addition of compost from municipal solid wastes, physical and hydro-physical properties were improved, nevertheless, when 30% was added, high phytotoxicity and potentially polluting leachates were considerable. The addition of compost from sewage sludge substantially improved physical and hydro-physical deficiencies, furthermore, no growth inhibitory effect was observed, and reduced levels of potential polluting leachates were detected. The addition of granulated sewage sludge worsened the physical and hydro-physical properties, increased phytotoxicity, and in addition its leachates were the most polluting. According to the evaluations conducted, the substrate formulated with compost of sewage sludge, at 15 and 30%, and compost of municipal solid wastes at 15% turned out to be most recommendable.

Key words: municipal solid wastes, sewage sludge, growth media, leachates.

RESUMEN

Corteza de pino (*Pinus pinea* L.) compostada, sola y en mezcla al 15 y 30% con compost de residuos sólidos urbanos, compost de lodo de aguas residuales urbanas, y lodo granulado deshidratado de aguas residuales urbanas, fueron evaluados como sustratos de cultivo. Para estos efectos se estudiaron sus propiedades químicas, físicas, hidrofísicas y fitotóxicas, además del potencial contaminante de sus lixiviados. La corteza de pino compostada presentó propiedades físicas e hidrofísicas muy limitantes para su empleo como sustrato. Con la incorporación de compost de residuos sólidos urbanos se mejoraron las propiedades físicas e hidrofísicas del sustrato, sin embargo, cuando se adicionó al 30% se presentó elevada fitotoxicidad y lixiviados potencialmente contaminantes; la adición de compost de lodo de aguas residuales mejoró sustancialmente las deficiencias físicas e hidrofísicas, no se observó fitotoxicidad, además sus lixiviados presentaron reducido potencial de contaminación; la adición de lodo granulado de aguas residuales urbanas empeoró las propiedades físicas e hidrofísicas, presentó elevada fitotoxicidad, además sus lixiviados fueron los más contaminantes. De acuerdo con las evaluaciones efectuadas, el empleo de compost de lodo de aguas residuales urbanas al 15 y 30% y el compost de residuos sólidos urbanos al 15% resultaron ser los más recomendables.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, lodos, sustratos de cultivo, lixiviados.

¹ Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Avenida Complutense s/n. E-28040 Madrid, España. E-mail: nelson_zapata@yahoo.com

² Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Centro de Ciencias Medioambientales, Serrano 115. E-28006. Madrid, España.
Recibido: 4 de febrero de 2004. Aceptado: 25 de junio de 2004.

INTRODUCCIÓN

La investigación de nuevos materiales para formular sustratos que sirvan como medio de crecimiento vegetal se ha transformado en una actividad fundamental, debido al encarecimiento y baja disponibilidad de los ya existentes, y a su vez a la creciente demanda de sustratos cada vez más específicos. Ante este panorama, parece interesante investigar la aptitud de los subproductos o residuos generados por diferentes actividades productivas y de consumo, como componentes de sustratos, particularmente por su reducido costo.

El empleo de residuos en la formulación de sustratos tiene un elevado valor medioambiental, ya que devuelve al ciclo productivo materiales desechados, y en muchos casos su manejo resulta muy problemático y caro. A su vez, el empleo de este tipo de materiales reduce la presión de explotación sobre recursos naturales, que no resisten altos ritmos de explotación sin ocasionar un fuerte impacto en el medioambiente.

Para establecer la aptitud y utilidad de los materiales orgánicos como componentes de sustratos es fundamental conocer sus propiedades químicas, físicas e hidrofísicas (Ansorena, 1994). Adicionalmente, estos antecedentes permiten valorar posibles riesgos y restricciones de uso que se deberán considerar.

Uno de los materiales más ampliamente empleado para formular sustratos orgánicos es la corteza de pino compostada (Burés, 1997). Sin embargo, este material por sí solo no reúne todas las condiciones necesarias para el crecimiento vegetal, por lo que es indispensable usarlo en mezcla con otros componentes, entre los cuales se sugieren compost de residuos urbanos, compost de lodos de estaciones regeneradoras de aguas residuales, y otros residuos de amplia disponibilidad (Abad *et al.*, 1997; Burés, 1997; Guerrero *et al.*, 2002).

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la aptitud de diferentes mezclas formuladas con corteza de pino compostada y otros residuos orgánicos, para ser empleadas como sustratos para la producción de plantas ornamentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Residuos empleados para formular los sustratos
compost de residuos sólidos urbanos (RU) se elaboró

con la fracción orgánica separada de basura domiciliaria. El proceso de compostaje se realizó en pilas al aire libre, con volteos periódicos y sin añadir agente estructurante. Fue suministrado por la planta de tratamiento de residuos urbanos TGM (Valdemingomez, Madrid, España).

El compost de lodo (LC) se elaboró con lodos de aguas residuales urbanas procedentes de las estaciones regeneradoras de aguas residuales (E.R.A.R.) de Valdebebas, La China, Sur y Sur Oriental, Madrid, España. Previo a su compostaje, se extendió el lodo para reducir el contenido de humedad hasta el 50%; el proceso de compostado se efectuó en pilas al aire libre, sin mezclar con agentes estructurantes y con volteos periódicos. Fue suministrado por Beta Nutror S.A. (Madrid, España).

El lodo granulado (LT) se elaboró con lodo procedente de la E.R.A.R. Sur (Madrid, España). A un tambor rotativo que contenía lodo con 70-75% de humedad se le inyectó aire caliente a 320°C, este procedimiento permitía obtener un producto final granulado (2-3 mm) y con 5% de humedad. Fue suministrado por SUFI S.A. (Madrid, España).

La corteza de pino (*Pinus pinea* L.) compostada se elaboró con corteza previamente triturada mecánicamente; el proceso de compostado se realizó en pilas al aire libre y con volteos periódicos, se empleó fracción tamizada inferior a 8 mm.

Se establecieron siete tratamientos: corteza de pino compostada sola y mezclada al 15 y 30% (v/v) con RU, LC y LT, respectivamente:

Caracterización física y química

Se evaluó densidad aparente determinando materia seca a 105°C contenida en un volumen conocido; densidad real, estimada a partir de las cenizas (Martínez, 1992); porosidad, calculada con los dos parámetros antes señalados; materia orgánica, por calcinación en mufla a 540°C; carbono orgánico, determinado por oxidación con dicromato de potasio en medio ácido; nitrógeno total, determinado por método Kjeldahl; elementos totales, por digestión con solución ácida nítrico-perclórica y determinados por espectroscopía de emisión por plasma. En extracto de saturación se determinó: pH, conductividad eléctrica (CE), Cl⁻ por titulación con nitrato de plata, CO₃²⁻, HCO₃⁻ por titulación con ácido sulfúrico, NO₃⁻ mediante electrodo selectivo de iones, y capacidad de intercambio de

cationes con acetato de amonio 1 N a pH 7,0 (MAPA, 1986). En el Cuadro 1 se presenta la caracterización física y química de RU, LC y LT que fueron empleados para la formulación de los sustratos.

Caracterización hidrofísica

La caracterización hidrofísica de los sustratos se efectuó empleando la metodología descrita por De Boodt *et al.* (1974), Felipó *et al.* (1979) y adaptada por Guerrero (1989). Mediante dicha metodología se determinó: agua fácilmente utilizable, que corresponde al porcentaje de agua liberada del sustrato entre succiones de 10 y 50 cm de altura de columna de agua; capacidad compensadora de agua, definida como el porcentaje de agua que se libera del sustrato entre las succiones 50 y 100 cm; agua difícilmente utilizable, que corresponde al porcentaje de agua retenida a tensiones superiores a 100 cm de succión; capacidad de aireación, que comprende el volumen de aire del sustrato a una succión de 10 cm.

A partir de la curva de liberación de agua se determinó la tensión a la cual se igualan los contenidos de aire y agua en el espacio poroso (variable R, cm).

Experimento de lixiviados

En columnas de vidrio con capacidad para 500 mL se depositaron 450 mL de cada mezcla de sustrato, las columnas se saturaron con agua destilada tres

Cuadro 1. Caracterización física y química de los residuos empleados para la formulación de los sustratos.

Table 1. Physical and chemical characterization of wastes used in growth media formulation.

	Material caracterizado		
	RU	LC	LT
Propiedades físicas			
Densidad aparente, g cm ⁻³	0,46	0,51	0,69
Densidad real, g cm ⁻³	2,21	2,35	2,46
Porosidad, %	81,41	77,26	64,70
Propiedades químicas			
pH (extracto de saturación)	8,23	7,23	8,11
CE dS m ⁻¹ (extracto de saturación)	9,13	3,01	7,45
N, %	1,77	2,53	4,05
MO, %	52,47	41,12	46,33
C/N	15,51	8,83	7,30

RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado.

MO: materia orgánica; C/N: relación carbono/nitrógeno.

veces por semana hasta completar un total de 15 riegos. En todos los lixiviados recogidos después de cada riego se determinó pH y CE. En las primeras nueve recogidas se cuantificó: Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ y NO₃⁻. También se determinaron Zn, Pb, Cu, Cd, Ni y Cr por espectrofotometría de absorción atómica. Se decidió analizar aniones y metales pesados sólo en las nueve primeras recogidas, debido a la baja concentración detectada y descenso progresivo con el transcurso de los riegos.

Experimento de fitotoxicidad

Basado en la metodología empleada por Zucconi *et al.* (1981b) se obtuvo un extracto acuoso mezclando sustrato y agua destilada en proporción 1:10, se agitó durante 30 min a 60°C, se centrifugó a 5.000 rpm por 15 min y finalmente se filtró el sobrenadante.

En una placa Petri de 9 cm de diámetro se dispuso un disco de papel filtro Watman Nº 3, sobre éste se distribuyeron 10 semillas de berro (*Lepidium sativum* L.) y se adicionaron 5 mL del extracto acuoso filtrado. Las placas permanecieron durante 48 h en cámara de germinación oscura; finalmente se calculó el índice de germinación (IG) = %G x Lm/Lc, donde: %G: porcentaje de germinación; Lm: longitud media de las raíces (mm) de la muestra y Lc: longitud media (mm) de las raíces del control.

Estadística

En cada experimento los tratamientos se repitieron cuatro veces y se distribuyeron al azar. Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y prueba estadística LSD para comparar sus medias ($P \leq 0,05$), utilizando el programa estadístico Statgraphics (STSC, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas

En el Cuadro 2 se presentan las propiedades químicas iniciales de los diferentes sustratos formulados. No se detectaron diferencias en el contenido de materia orgánica, en cambio la relación C/N se redujo de manera importante y particularmente con la adición de LT, debido a su alto contenido de N. La mezcla de corteza de pino compostada con los diferentes residuos orgánicos incrementó consistentemente la CE del sustrato, en particular con la adición de RU y LT se superó el nivel óptimo (Abad *et al.*, 1993), es decir, podrían perjudicar el desarrollo vegetal (Bunt, 1988). Es

importante tener en consideración que una parte importante de las sales se arrastra fácilmente en el agua de drenaje cuando se proporcionan riegos, siendo posible corregir o prevenir una elevada salinidad mediante lixiviación controlada (Abad y Noguera, 1998). En concordancia con lo antes mencionado, los mayores valores de pH se registraron con la adición de RU y LT al 30%.

La capacidad de intercambio de cationes fue alta, incluso en el tratamiento que contenía sólo corteza de pino compostada (Cuadro 2), propio de este tipo de materiales, esto asegura un depósito de reserva de nutrientes disponibles y garantiza alta capacidad tampón frente a cambios de pH (Abad *et al.*, 1993). Las concentraciones de aniones medidos en el extracto de saturación registraron aumentos importantes con la adición de residuos, especialmente el contenido de NO_3^- en la mezcla

con LT. No se detectó presencia de CO_3^{2-} en los sustratos estudiados.

Una de las principales limitantes del empleo de residuos orgánicos urbanos es su potencial contaminante, debido a su elevado contenido de metales pesados (Guerrero *et al.*, 1998), sin embargo, en este caso los materiales empleados cumplían con la normativa vigente para España (MAPA, 1998). Además, al mezclar este tipo de residuos con corteza de pino compostada se logra un efecto de dilución de los elementos contaminantes (Guerrero *et al.*, 1998). En efecto, en este estudio el contenido inicial de metales pesados presentes en la corteza de pino compostada era muy reducido, pero al mezclarse ésta con los diferentes residuos orgánicos el contenido de metales se incrementó, dependiendo de la proporción y tipo de residuo adicionado (Cuadro 3).

Cuadro 2. Caracterización química de los diferentes sustratos formulados.

Table 2. Chemical characteristics of the different substrate formulations.

Sustratos	MO %	N %	C/N	CIC $\text{cmol}_{\text{c}} \text{kg}^{-1}$	CE $\text{dS m}^{-1}, 25^\circ\text{C}$	pH	HCO_3^- $\text{cmol}_{\text{c}} \text{L}^{-1}$	Cl^- L^{-1}	NO_3^- mg kg^{-1}
CO + 15% RU	55 a	0,58 b	51,90 d	51,41ab	4,14 c	6,8 c	3,7 c	10,5 c	72 b
CO + 30% RU	54 a	0,82 b	35,00 c	57,22 b	7,26 e	7,3 d	8,2 e	37,7 e	156 c
CO + 15% LC	46 a	0,64 b	40,56 c	51,71 ab	2,11 b	6,4 b	1,3 a	3,2 a	20 a
CO + 30% LC	46 a	1,11 c	23,37 b	54,73 ab	2,68 b	6,6 b	1,9 b	5,3 b	435 d
CO + 15% LT	56 a	1,47 c	20,76 b	57,92 b	5,69 d	6,9 c	5,7 d	4,4 ab	479 d
CO + 30% LT	51 a	2,23 d	13,61 a	56,12 ab	6,33 d	7,0 c	11,7 f	13,0 d	1161 e
CO	57 a	0,26 a	111,38 e	49,46 a	0,85 a	5,6 a	1,3 a	1,8 a	19 a
Nivel óptimo ¹	>80		20-40		0,75-3,49	5,2-6,3			100-199

¹ Abad *et al.*, 1993.

CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado; MO: materia orgánica; C/N: relación carbono/nitrógeno; CIC: capacidad de intercambio catiónico; CE: conductividad eléctrica; HCO_3^- : bicarbonatos; Cl^- : cloruros; NO_3^- : nitratos. Letras distintas en la misma columna indican que existe diferencia significativa, según test LSD ($P \leq 0,05$).

Cuadro 3. Contenido inicial total de metales pesados en los sustratos formulados.

Table 3. Total initial heavy metal content of the formulated substrates.

Sustratos	Cd $\mu\text{g kg}^{-1}$	Zn mg kg^{-1}	Pb mg kg^{-1}	Cu mg kg^{-1}	Cr mg kg^{-1}	Ni mg kg^{-1}
CO + 15% RU	5 a	116 b	22 b	50 b	209 d	95 c
CO + 30% RU	5 a	170 c	38 b	83 bc	226 de	108 c
CO + 15% LC	227 c	364 d	72 c	129 d	147 b	38 a
CO + 30% LC	482 e	475 e	93 c	221 e	243 e	65 b
CO + 15% LT	120 b	496 e	126 d	106 cd	175 c	78 b
CO + 30% LT	365 d	575 f	326 e	189 e	247 e	97 c
CO	5 a	31 a	3 a	8 a	39 a	21 a

CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado. Letras distintas en la misma columna indican que existe diferencia significativa, según test LSD ($P \leq 0,05$).

Propiedades físicas e hidrofísicas

Es muy importante conocer las propiedades físicas de los sustratos antes de su utilización, debido a que una vez que se encuentre en el contenedor y la planta esté creciendo en él no es posible modificar sus características físicas básicas (Abad y Noguera, 1998). En particular, la densidad aparente juega un papel muy relevante, ya que los sustratos y contenedores se transportan durante su manejo y manipulación. Además, define el adecuado anclaje de las plantas; de este modo, mientras más alta es la planta, de mayor densidad deberá ser el sustrato (Abad y Noguera, 1998). En el Cuadro 4 y Figura 1 se muestran los resultados de las propiedades físicas e hidrofísicas evaluadas, en ellos se puede observar que la densidad aparente estuvo en un rango adecuado (Abad *et al.*, 1993) en prácticamente todos los tratamientos a excepción del tratamiento que contenía LT al 30%, en el cual fue levemente superior.

La mezcla de los diferentes residuos orgánicos con la corteza de pino compostada, redujo la porosidad bajo el nivel mínimo óptimo indicado por Abad *et al.* (1993), particularmente cuando se empleó LT (Cuadro 4). Esto se explica por la mayor densidad de este material, que a su vez presentaba una alta homogeneidad y reducida granulometría (98% entre 2 y 3 mm).

En todos los tratamientos el porcentaje de agua fácilmente utilizable estuvo bajo el nivel óptimo (De Boodt y Verdonck, 1972; Abad *et al.*, 1993), es decir, la mezcla de la corteza de pino compostada con los diferentes residuos orgánicos no mejora esta

propiedad (Cuadro 4). En este sentido, Bunt (1988) señala que un sustrato puede tener baja capacidad de retención de agua fácilmente utilizable, debido a su baja porosidad o porque sus poros son grandes y la mayor parte del agua se pierde por gravedad, o por una combinación de las situaciones anteriores.

La capacidad de aireación o espacio de aire que se muestra en el Cuadro 4 se vio favorecida al mezclar los diferentes componentes orgánicos con la corteza de pino compostada, y permitió situar todas las mezclas dentro de un nivel adecuado (De Boodt y Verdonck, 1972; Abad *et al.*, 1993). Sin embargo, la adición de residuos no favoreció la capacidad compensadora de agua y en todos los casos fue inferior al rango señalado como óptimo por Abad *et al.* (1993).

El porcentaje de agua difícilmente utilizable, resultó ser inferior al rango óptimo indicado por Abad *et al.* (1993) en el tratamiento que contenía sólo corteza de pino compostada (Cuadro 4). En cambio, en las mezclas efectuadas con los materiales orgánicos se observaron valores dentro del rango óptimo, excepto en la mezcla que contenía LT al 30% que superó el 38%, lo que demuestra la escasa capacidad de este material para liberar el agua absorbida. Según Ansorena (1994) esta característica hace poco recomendable a éstos como componente de sustratos.

Sólo los tratamientos que incluían RU y LC mostraron valores de R que estuvieron dentro del rango 10 y 30 cm (Cuadro 4), considerado adecuado para la coexistencia del agua y aire disponibles en el espacio poroso (Felipó *et al.*, 1979; Abad *et al.*,

Cuadro 4. Propiedades físicas e hidrofísicas de los sustratos formulados.
Table 4. Physical and hydro-physical properties of the vegetal growth media.

Sustratos	Da (g cm ⁻³)	Dr (g cm ⁻³)	Porosidad	AFU	CA %	CCA	ADU	R (cm)
CO + 15% RU	0,30 b	1,96 b	85 c	12,4 b	27,0 c	2,6 b	26,9 b	10 a
CO + 30% RU	0,31 b	1,98 c	84 bc	12,3 b	28,0 c	2,4 b	28,0 c	11 a
CO + 15% LC	0,31 b	2,08 d	85 c	12,4 b	21,6 b	2,5 b	25,0 b	9 a
CO + 30% LC	0,35 c	2,08 d	83 b	10,6 b	20,6 b	2,5 b	28,0 c	10 a
CO + 15% LT	0,35 c	1,95 b	82 ab	8,6 a	23,0 b	2,0 a	30,4 c	11 a
CO + 30% LT	0,42 d	2,01 d	79 a	5,8 a	19,6 b	1,7 a	38,8 d	75 b
CO	0,25 a	1,93 a	87 d	13,5 b	11,8 a	2,3 b	22,7 a	6 a
Nivel óptimo ¹	< 0,4	1,45-2,65	> 85	20-30	20-30	4-10	25-31	10-30

¹Abad *et al.*, 1993.

CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado; Da: densidad aparente; Dr: densidad real; AFU: agua fácilmente utilizable; CA: capacidad de aireación; CCA: capacidad compensadora de agua; ADU: agua difícilmente utilizable; R: parámetro R. Letras distintas en la misma columna indican que existe diferencia significativa, según test LSD ($P \leq 0,05$).

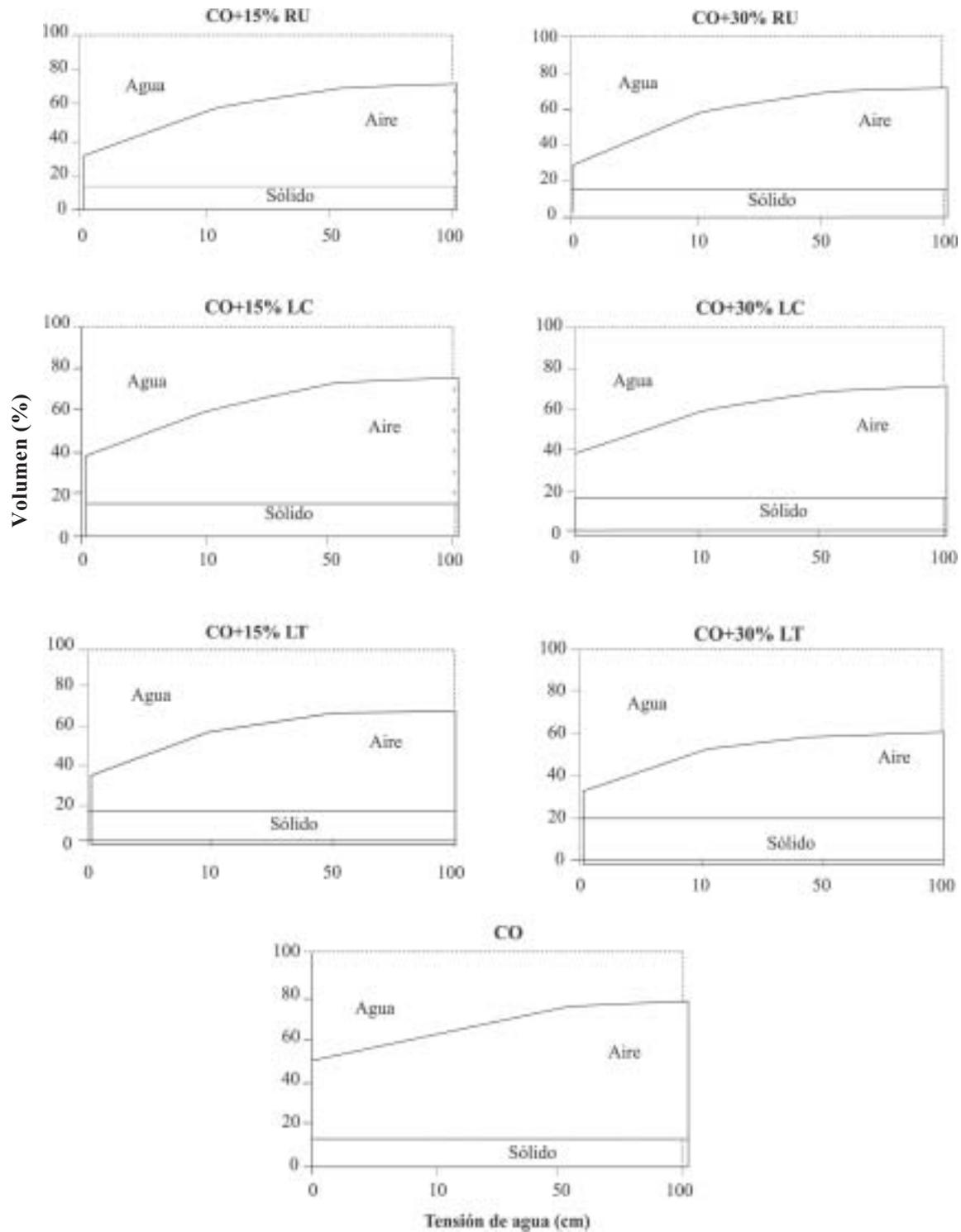


Figura 1. Curva característica de retención de humedad a bajas succiones, según sustrato evaluado. CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado.

Figure 1. Characteristic humidity retention curves at low suction, according to substrate evaluated. CO: pine bark compost; RU: municipal solid waste compost; LC: sewage sludge compost; LT: granulated sewage sludge.

1993). Al emplear lodo granulado al 30% se obtuvo un R de 75 cm, lo cual indica que el contenido de aire sería una severa limitante en el sustrato, pudiendo producir asfixia radicular (Ansorena, 1994). Cuando se utilizó sólo corteza de pino compostada el parámetro R fue 6 cm, en este caso el sustrato estaría demasiado aireado y apenas se dispondría de agua fácilmente utilizable, lo que implicaría tener que efectuar riegos muy frecuentes (Ansorena, 1994).

Evaluación de los lixiviados

Los valores de pH de los lixiviados recogidos (Figura 2) presentaron escasa variación entre tratamientos y fueron prácticamente constantes a través del tiempo. En cambio, la CE inicialmente fue muy elevada y variable entre los tratamientos. Cuando se agregó LT al 30%, la CE se incrementó durante los primeros tres lixiviados recogidos debido a la lenta capacidad de hidratación de este material. Posteriormente, fue disminuyendo con los

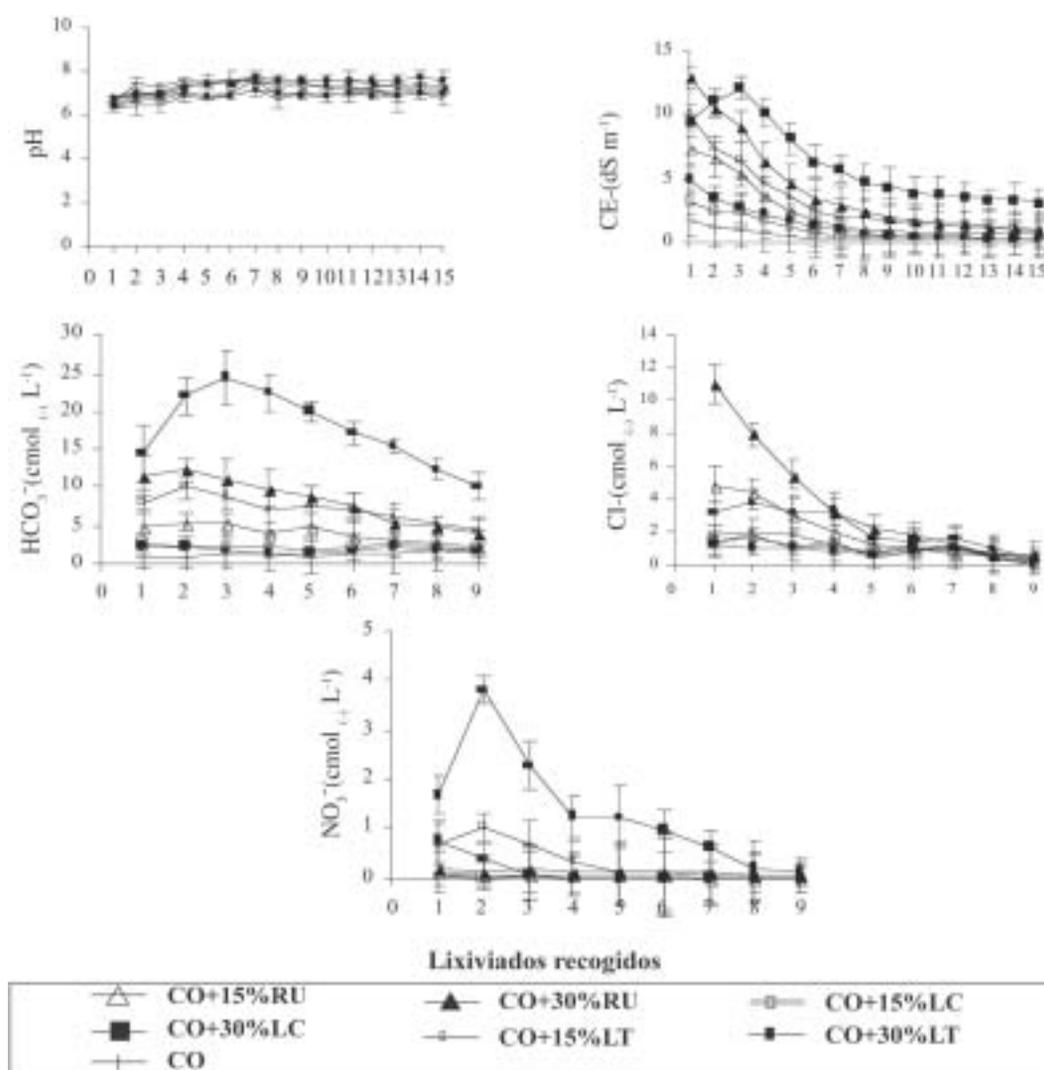


Figura 2. Evolución del pH, conductividad eléctrica (CE), HCO₃⁻, Cl⁻ y NO₃⁻ en los lixiviados recogidos, según sustrato evaluado. CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado. Valores expresados como promedio ± error estándar.

Figure 2. Evolution of pH, electrical conductivity (CE), HCO₃⁻, Cl⁻ y NO₃⁻ in leachates collected, according to substrate evaluated. CO: pine bark compost; RU: municipal solid waste compost; LC: sewage sludge compost; LT: granulated sewage sludge. Data are expressed as mean ± standard error.

riegos hasta situarse por debajo de los 2 mS m^{-1} , excepto en el tratamiento con 30% de LT, cuya disminución fue más moderada llegando sólo hasta los 4 mS m^{-1} .

Los tratamientos que contenían LT y RU al 30% mostraron las mayores concentraciones iniciales de NO_3^- y HCO_3^- (Figura 2), las que disminuyeron a medida que sucedieron los riegos. La concentración de NO_3^- alcanzó su valor más alto al segundo riego, para luego descender moderadamente; esto podría

deberse a la lenta capacidad de hidratación del material durante el experimento. La concentración inicial de Cl^- en los lixiviados fue más alta cuando se empleó RU, posteriormente descendió aceleradamente con el aumento del número de riegos (Figura 2). No se detectó presencia de CO_3^{2-} en los lixiviados estudiados.

Cuantitativamente, la concentración de metales pesados presentes en los lixiviados (Figura 3) fue

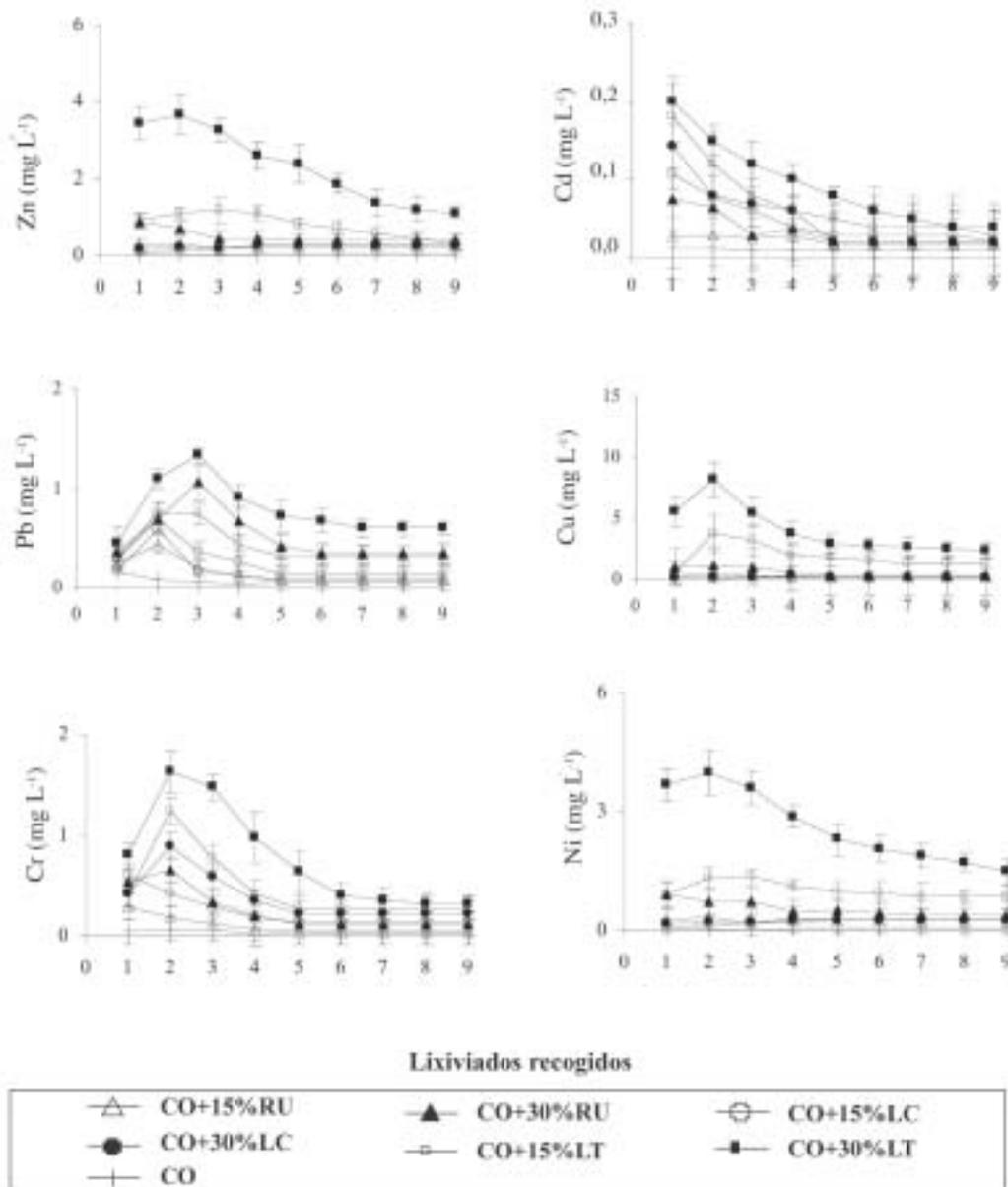


Figura 3. Concentración de Zn, Cd, Pb, Cu, Cr y Ni en los lixiviados recogidos, según sustrato evaluado. CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado. Valores expresados como media \pm error estándar.

Figure 3. Content of Zn, Cd, Pb, Cu, Cr and Ni in leachates collected, according to substrate evaluated. CO: pine bark compost; RU: municipal solid waste compost; LC: sewage sludge compost; LT: granulated sewage sludge. Data are expressed as mean \pm standard error.

muy reducida (MAPA, 1998), lo cual indica que sólo una pequeña parte del contenido inicial de estos elementos fue susceptible de ser lixiviada. Esto concuerda con lo informado por Gascó *et al.* (2003), quienes empleando mezclas de suelo y lodo contenidas en columnas, reportaron escasa movilidad, y en consecuencia bajo riesgo de contaminación por lixiviado de metales pesados. En el presente experimento, la mayor tasa de lixiviación de metales pesados ocurrió durante los primeros tres riegos, posteriormente disminuyó desigualmente, siendo los tratamientos que contenían LT los que continuaron generando el mayor contenido. Esto podría ser atribuible, en parte, a la paulatina desintegración del gránulo, que posteriormente fue arrastrado en el agua de drenaje, según lo observado durante el experimento.

Evaluación de fitotoxicidad

Algunos sustratos contienen compuestos fitotóxicos que pueden afectar negativamente el desarrollo vegetal, es por ello que deben evaluarse previamente; en este sentido los bioensayos de germinación son una buena alternativa (Zuconi *et al.*, 1981a; Moreno *et al.*, 1998). Entre los sustratos estudiados, los formulados con LT y RU al 30% mostraron una elevada acción supresora del índice de germinación, en cambio en los que se adicionó lodo compostado se observó un efecto estimulador (Figura 4),

constituyéndose como el material más recomendable.

La elevada fitotoxicidad que presentó el sustrato formulado con lodo granulado se debería al alto contenido de sales (Cuadro 2), las que suprimieron el desarrollo radicular drásticamente; en estas condiciones su empleo resulta poco recomendable. En otras situaciones este problema podría solucionarse efectuando algunos lavados previos del material (Abad y Noguera, 1998), pero en este caso no sería recomendable debido a la contaminación que ocasionarían sus lixiviados.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones efectuadas permiten señalar que los materiales más adecuados para la formulación de sustratos para cultivo fueron el lodo compostado en ambas proporciones estudiadas (15 y 30%) y el compost de residuos urbanos al 15%.

Debido al elevado contenido de nitrógeno y su deficiente comportamiento hidrofísico no es recomendable emplear lodo granulado como componente de sustratos en estas proporciones, sin embargo, resultaría interesante estudiar en profundidad el posible uso de este material como complemento fertilizante.

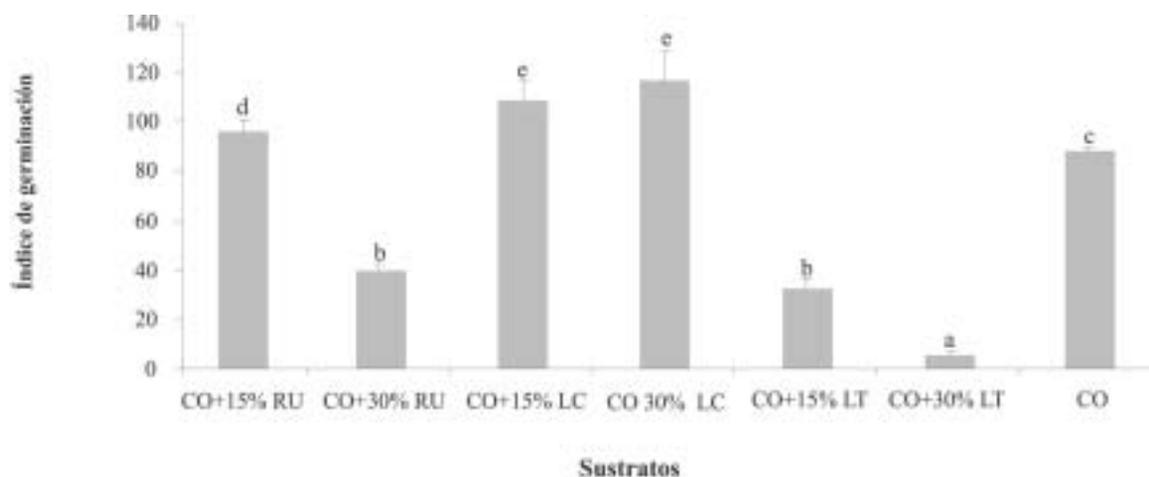


Figura 4. Índice de germinación de *Lepidium sativum* L., según test de Zuconi. Letras distintas indican que existe diferencia significativa, según test LSD ($P \leq 0,05$). CO: compost de corteza de pino; RU: compost de residuos sólidos urbanos; LC: compost de lodo; LT: lodo granulado. Valores expresados como media \pm error estándar.
 Figure 4. Germination index of *Lepidium sativum* L., according to Zuconi's test. Distinct letters indicate significant difference, according to LSD test ($P \leq 0,05$). CO: pine bark compost; RU: municipal solid waste compost; LT: granulated sewage sludge. Data are expressed as mean \pm standard error.

LITERATURA CITADA

- Abad, M., P.F. Martínez, M.D. Martínez, y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11:141-154.
- Abad, M., y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. p. 287-342. *In* C. Cadahia (ed.) *Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales*. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Abad, M., P. Noguera, V. Noguera, A. Roig, J. Cegarra, y C. Paredes. 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 19:92-109.
- Ansorena, J. 1994. *Sustratos*. 172 p. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Bunt, A.C. 1988. *Media and mixes for container grown plants: A manual on the preparation and use of growing pot plants*. 309 p. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London, UK.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. 342 p. Agrotécnicas S.L., Barcelona, España.
- De Boodt, M., and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hortic.* 26:37-44.
- De Boodt, M., O. Verdonck, and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hortic.* 37:2054-2062.
- Felipó, M.T., O. Verdonck, I. Cappaert, y M. De Boodt. 1979. Estudio de las propiedades físicas de los sustratos hortícolas. *Anal. Edaf. Agrobiol.* 38:603-611.
- Gascó, G., M.C. Lobos, and F. Guerrero. 2003. Heavy metals mass balance in a Typic Xerofluvent treated with aerobically digested sewage sludges. *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem.* 2:356-364.
- Guerrero, F. 1989. *Estudio de las propiedades físicas y químicas de algunas turbas españolas y su posible aprovechamiento agrícola*. 222 p. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Madrid, España.
- Guerrero, F., J.M. Gascó, and L. Hernandez-Apaolaza. 2002. Use of bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *J. Plant Nutr.* 25:129-141.
- Guerrero, F., A. Moliner, L. Hernández-Apaolaza, y A. Masaguer. 1998. Evaluación y estudio del potencial contaminante de sustratos de cultivo a base de corteza de pino y lodos de depuradora. p. 143-151. V Congreso Internacional de la Asociación Nacional de Químicos de España, Tenerife, España. 9-11 de diciembre 1998. Asociación Nacional de Químicos de España, Madrid, España.
- MAPA. 1986. *Métodos oficiales de análisis*. 662 p. Servicio de Publicaciones. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, España.
- MAPA. 1998. Orden de 28 de mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines. *Boletín Oficial del Estado* 131:18028-18078.
- Martínez, F. 1992. Propuesta de metodología para determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11:55-56.
- Moreno, M.T., M.T. Aguado, y E. Carmona. 1998. El empleo de bioensayos para la detección de efectos fitotóxicos en sustratos y enmiendas. *Actas de Horticultura* 23:81-97.
- STSC. 1987. *User's Guide Statgraphics*. Graphic software system STSC Inc., Rockville, Maryland, USA.
- Zucconi, F., M. Fort, A. Monaco, and M. De Bertoldi. 1981a. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle* 22:54-57.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. De Bertoldi. 1981b. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle* 22:54-57.