



PROYECTO FIN DE CARRERA

**“SUSTITUCIÓN DE TURBA POR COMPOST  
URBANOS EN SUSTRATOS DE VIVERO:  
EFECTOS AGROAMBIENTALES”**

UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE  
Facultad de Ciencias Experimentales



Rosa López Garrido  
Diciembre de 2004

TFC

64

Cod. Barras/ 358440

N.º R. ALEPH 1081396  
N.º R. Bib. 5557  
Signat. TFC - 64





MINISTERIO  
DE EDUCACION  
Y CIENCIA



CONSEJO SUPERIOR  
DE INVESTIGACIONES  
CIENTÍFICAS

INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES  
Y AGROBIOLOGÍA DE SEVILLA

El Proyecto Fin de Carrera titulado "Sustitución de turba por compost urbanos en sustratos de vivero: efectos agroambientales" ha sido realizado por Dña. Rosa López Garrido en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC) bajo la dirección de D. Rafael López Núñez

Fdo: Dr. Rafael López Núñez  
Científico Titular del CSIC



Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto “**Diseño de Sustratos de Vivero Basados en Compost Urbanos**” AGR-FOR 02633, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

## AGRADECIMIENTOS

---

Mi agradecimiento al Dr. Rafael López por su dirección y asesoramiento, pero sobre todo por darme la oportunidad de realizar este trabajo y ofrecerme su ayuda.

Al Dr. Santiago Lago por aceptar la tutoría de este proyecto.

A la Dra. Engracia Madejón y el Dr. Fernando Madrid por todas sus explicaciones y conocimientos transmitidos.

A Juan Carlos Ostos por ofrecerme su ayuda y amistad.

A Rosaura, Cristina, Isa y Alfredo, por su buen compañerismo y ayuda prestada, además de un poquito de “cachondeo” de vez en cuando.

A M<sup>a</sup> Carmen Grande, Chona y al resto de personal del IRNAS, porque cada uno puso su granito de arena en mi aprendizaje.

A mi hermano, mis amigos y a todas aquellas personas que me apoyan y aprecian, pues aunque no los nombre, ellos saben quienes son.

A Manu, por su cariño y aportarme tanta felicidad.

En especial dedicar este trabajo a mis padres, los guías de mi camino en todo momento, por apoyarme, ser mis amigos, escucharme, pero, sobre todo, por darme una educación de la que siempre me sentiré orgullosa. Habéis llegado hasta aquí conmigo, os quiero.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

1. <b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> .....	3
1.1. LOS RESIDUOS .....	4
1.1.1. RSU .....	5
1.1.2. Lodos de depuradora .....	7
1.1.3. Residuos vegetales .....	9
1.2. EL COMPOSTAJE .....	9
1.2.1. Parámetros que condicionan el proceso de compostaje .....	10
1.2.2. Aspectos microbiológicos del compostaje .....	12
1.3. EL COMPOST .....	13
1.3.1. Ventajas del uso de compost .....	13
1.3.2. Inconvenientes del uso de compost .....	15
1.4. TURBERAS .....	16
1.4.1. Importancia de las turberas .....	17
1.4.2. Incidencia antrópica sobre turberas .....	17
2. <b><u>OBJETIVOS</u></b> .....	19
3. <b><u>MATERIALES</u></b> .....	20
3.1. PROCEDENCIA Y ELABORACIÓN DEL COMPOST .....	20
3.2. ELEMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS SUSTRATOS .....	23
3.2.1. Sustrato testigo .....	23
3.2.2. Turba utilizada en las mezclas .....	24
3.2.3. Corteza de pino .....	25
3.2.4. Vermiculita .....	25
3.3. MATERIAL VEGETAL: <i>Pistacia lentiscus</i> L. ....	26
4. <b><u>METODOLOGÍA</u></b> .....	28
4.1. METODOLOGÍA GENERAL .....	28

4.1.1.	Plan de trabajo .....	28
	a) Ensayo con lentisco .....	28
	b) Ensayo con los lixivados .....	31
4.2.	MÉTODOS ANALÍTICOS .....	32
4.2.1.	Análisis en el ensayo con <i>Pistacia lentiscus</i> L. ....	32
	a) Toma y preparación de muestras .....	32
	- Toma y preparación del material vegetal .....	32
	- Toma y preparación de los sustratos .....	33
	b) Análisis de las muestras .....	33
	- Determinación de las propiedades de los sustratos .....	33
	- Análisis del material vegetal .....	35
4.2.2.	Análisis en el ensayo de lixiviados .....	36
	a) Toma y preparación de muestras .....	36
	b) Análisis químico de las muestras .....	37
4.3.	TRATAMIENTOS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS .....	38
5.	<b><u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u></b> .....	39
5.1.	ENSAYO CON <i>Pistacia lentiscus</i> L. ....	39
5.1.1.	Propiedades y características de los sustratos .....	39
	- Granulometría .....	39
	- Propiedades químicas de los compost y los sustratos .....	40
	- Evolución de los sustratos .....	46
5.1.2.	Desarrollo de las plantas .....	50
	- Altura media de las plantas en cada muestreo .....	51
	- Porcentaje de germinación de las plantas .....	58
	- Evolución de la biomasa vegetal .....	59
	- Evolución del contenido de nutrientes en parte aérea vegetal.....	61
5.2.	ENSAYO DE LIXIVIADOS .....	63
5.2.1.	Evolución de pH y CE en lixiviados .....	63
5.2.2.	Evolución de la cantidad de amonio y nitrato .....	64
6.	<b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....	67
7.	<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	68

## RESUMEN

---

El presente trabajo se ha centrado en una evaluación de la utilización de compost obtenidos a partir de residuos orgánicos de tres orígenes, como componentes de sustratos para vivero forestal. Los tres tipos de compost utilizados fueron: lodos de depuradora y biomasa vegetal (compost A), fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos y biomasa vegetal (compost B) y, lodos de depuradora, fracción orgánica de RSU y biomasa vegetal (compost C), que se mezclaron con turba rubia en diferentes proporciones. Además se aplicó corteza de pino a algunas de las mezclas, obteniéndose un total de 13 tratamientos basados en compost, (con y sin corteza de pino), que se compararon con el sustrato habitual de vivero.

Estas mezclas se han utilizado para el cultivo de la especie vegetal mediterránea Pistacia lentiscus L., comparando la respuesta de las plantas en los diferentes sustratos y el testigo de turba habitual. Por otro lado se ha analizado la evolución de los sustratos y el proceso de mineralización de nitrógeno, a través de la recogida de las aguas lixiviadas tras el riego.

Diez meses después de la plantación el crecimiento vegetal fue mayor en los sustratos a base de compost con respecto al testigo. Las concentraciones de nutrientes en la biomasa vegetal fueron satisfactorias en los tratamientos con compost. Por el contrario, las plantas del sustrato testigo mostraron concentraciones de nutrientes significativamente menores, lo que explicaría el escaso desarrollo de las mismas.

La aplicación de corteza de pino, en el caso del compost B, dio lugar a un desarrollo mayor de las plantas, lo que podría relacionarse con su capacidad de conferir a las raíces una buena aireación.



En el ensayo de lixiviación se observó que los compost mineralizaron nitrógeno en mucha mayor proporción que el sustrato testigo.

Los resultados obtenidos en el proyecto son de gran interés, pues suponen una salida económica y ecológicamente valiosa a uno de los mayores problemas de la sociedad actual: el exceso de residuos. Por otro lado, la aplicación de estos compost en el sector viverista, que resulta favorable como demuestran los resultados de este trabajo, reduciría notablemente la explotación de turba, un producto natural, no renovable y cuya extracción causa graves problemas medioambientales.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los sustratos de vivero actualmente utilizados están basados en turba, un producto importado, caro y cuya explotación produce efectos medioambientales negativos.

A pesar de los esfuerzos, la utilización de compost y residuos como sustituto parcial o total de la turba en medios de cultivo de contenedor debe considerarse todavía bastante limitada. El conocimiento sobre productos alternativos a la turba es una de las prioridades en la investigación sobre sustratos para los próximos años (Riviere y Caron, 2001). La utilización de residuos orgánicos tales como residuos sólidos urbanos o lodos de depuradora se ha incrementado notablemente, pudiéndose convertir en una fuente alternativa y segura de materia orgánica y nutrientes para cultivos de tipo ornamental y/o forestal (Caravaca et al., 2003). A pesar de ello, no son pocas las dificultades encontradas para que el sector viverista acepte los nuevos productos, sobre todo teniendo en cuenta la escasez de compost de suficiente calidad, la heterogeneidad habitual en los residuos, y la falta de conocimiento sobre las propiedades y manejo de sustratos que incluyan compost.

El hecho de que diversos tipos de composts sean susceptibles de ser usados como sustratos, así como la necesidad de la reutilización de los residuos que se originan hoy día, avalan la investigación sobre la optimización de la composición de sustratos de vivero con el uso de residuos de origen orgánico como materia prima.

En el año 1999 se inició en Andalucía un proyecto sobre el co-compostaje de residuos sólidos urbanos (RSU), biosólidos (lodos de depuradora, LD) y biomasa procedente de poda de jardines (BP), y el uso agrícola y forestal de los compost producidos. En este proyecto, realizado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y EGMASA, se prepararon 3 tipos de compost a partir de BP+LD, BP+RSU y BP+RSU+LD, y se utilizaron los compost en diversas aplicaciones. Una de

estas aplicaciones fue la preparación de sustratos de vivero que se utilizaron en el cultivo de tres especies forestales, en las que se observaron incrementos muy notables en su desarrollo, por ejemplo, del 112% respecto al testigo sin compost en plantas de acebuche (J.M. Álvarez et. al, 2001). Otros ensayos, realizados con estos compost como sustrato de plantas arbustivas, mostraron también un mayor desarrollo de las plantas cultivadas en sustrato que contenía un 40% de compost (R. López et. al, 2002)

Los alentadores resultados anteriores, los condicionantes sociales (la producción de estos residuos va en constante aumento) y la intensa presión normativa ejercida por todas las administraciones con el fin de potenciar la reutilización de los residuos de origen urbano (Directiva 1999/31/CE de 26 de abril relativa al vertido de residuos, Plan Nacional de Residuos Urbanos, Plan Nacional de Lodos de Depuradora, Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía), llevan, por tanto, a la necesidad de la puesta en marcha de proyectos de investigación sobre esta temática.

### 1.1. LOS RESIDUOS

Los residuos son una de las grandes preocupaciones actuales de la sociedad, pues su producción va en aumento, provocando una contaminación ambiental importante; por este motivo, se intentan buscar soluciones para darles una salida y reutilizarlos. En definitiva, tratar de cambiar el concepto de residuo por el de recurso. El compostaje de estas materias primas y la utilización agronómica de los composts obtenidos puede ser la opción más favorable desde el punto de vista social, económico y medio ambiental (Costa et al., 1991).

El coste de las actividades de reciclaje y reutilización viene respaldado por la necesidad de completar el ciclo de esta materia prima, cuyo compostaje supondrá una reducción en los costes de su actual transporte y depósito al vertedero, además de un beneficio ambiental añadido. En cuanto a su uso como materia orgánica para fertilización y bioremediación en suelos altamente explotados, erosionados o empobrecidos puede sustituir a los abonos inorgánicos, lo que supone una interesante opción: por una parte llegamos a una mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y además una mejora ambiental, ya que se reducen los riesgos



## Introducción

---

de eutrofización en los acuíferos. Por otro lado se evita el uso masivo de turba, cuya explotación causa problemas ambientales considerables actualmente.

En cuanto a su procedencia, los residuos orgánicos podrían clasificarse de la siguiente manera:

- Urbanos*: Residuos sólidos urbanos, restos de jardín, lodos de depuradora.
- Agrícolas*: Restos y excedentes de cosecha.
- Forestales*: Cortezas, corcho, serrín, restos de poda.
- Ganaderos*: Estiércoles y purines.
- Agroindustriales*: Vinaza, alpechín, alperujo, lodos de papelera, productos biotecnológicos.

En general los residuos orgánicos tienen como característica común el ser bastantes heterogéneos en sus propiedades. Un mismo residuo, dependiendo de su procedencia o estacionalidad, puede presentar características muy diferentes. Por otra parte, hay que considerar la posible presencia de contaminantes, pero sobre todo y si se tiene en cuenta su valor como recurso, contienen una apreciable carga orgánica y de nutrientes vegetales (Costa et al., 1991).

El presente trabajo se centra en la utilización de materia orgánica procedente de residuos urbanos: la fracción orgánica de los RSU, lodos de Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) y biomasa vegetal de restos de poda de parques y jardines. Las características de estas materias primas y los posibles problemas ambientales que pueden llegar a originar cada uno de estos residuos se detallan a continuación.

### 1.1.1. RSU (Fracción orgánica)

La ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, define a los “*Residuos urbanos o municipales*” como los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la clasificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. También tienen consideración de residuos urbanos los residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas; los

animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados; así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparaciones domiciliarias.

Como puede observarse, dentro de los residuos sólidos urbanos pueden englobarse multitud de materiales que deben conocerse en profundidad para gestionarlos correctamente. Los distintos componentes que se encuentran en los RSU se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Fermentables: son los restos alimenticios tanto cocinados de origen domiciliario y restaurantes, como alimentos frescos procedentes de centros de distribución. Estos materiales pueden descomponerse de forma natural, por lo que son susceptibles de ser sometidos a procesos de compostaje.
- b) Combustibles: son los restos de papel, cartón, plásticos, gomas textiles, cueros, madera, etc. En general, son aquellos materiales susceptibles de ser sometidos a incineración para obtener energía.
- c) Inertes: son aquellos materiales que no entran en ninguno de los otros dos grupos, como metales, vidrios, escorias, cenizas.

Composición de Residuos Sólidos Urbanos en Andalucía

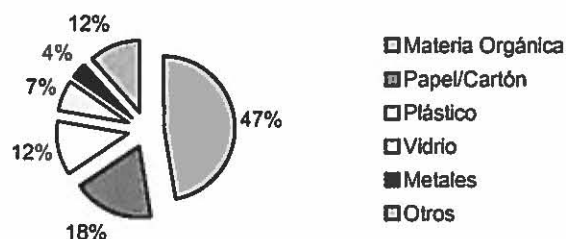


Figura 1.1. Composición media de los residuos sólidos urbanos en Andalucía en 1999 (Junta de Andalucía, 2000)

Se observa que la fracción de materia orgánica es la más alta, hecho que ha llevado a iniciar su utilización en la producción de abonos orgánicos y así no enterrar esta fracción que bien utilizada puede ser de gran interés para la recuperación de suelos degradados y como componente de sustratos en viveros. Se tienen datos de una cantidad



## Introducción

---

aproximada de 3.150.000 Tm/año de RSU en Andalucía, produciéndose unas 416.000 Tm/año de compost (Life, 2003).

La composición variable de los RSU depende de diversos factores tales como: características de la población (según se trate de zonas rurales o núcleos urbanos), época estacional y carácter socioeconómico del municipio. Cuanto más desarrollado es un país, mayor es la tendencia a consumir los bienes elaborados reduciendo la fracción típicamente orgánica e incrementando las fracciones complementarias de vidrio, papel, cartón y plásticos, resultando ésto el freno para crear nuevas fábricas para el compostaje de RSU.

Los **peligros medioambientales** de los RSU se desprenden de sus características químicas y bacteriológicas en cuanto entran en contacto con el suelo y el agua, y, por tanto, sus riesgos como factor de contaminación aparecen cuando son liberados de forma incontrolada en el medio ambiente. La contaminación puede producirse por vertido en el terreno, por contacto hídrico o por emisión cuando se trata de gases liberados a la atmósfera. Otro riesgo medioambiental es la proliferación de vectores indeseados, insectos y roedores, que pueden causar riesgos de propagación de enfermedades. También debe mencionarse que las lluvias pueden arrastrar algunas fracciones de los residuos abandonados sin control hasta los cauces de agua. Por otra parte, el abandono incontrolado de residuos provoca impactos paisajísticos y visuales muy negativos. Por todo ello, las necesidades de compostaje son cada vez más evidentes.

### 1.1.2. Lodos de depuradora

El aumento de la población, así como el continuo crecimiento económico y del nivel de vida, sumado a las estructuras productivas, necesitan cada vez mayor cantidad de agua para el consumo. Estas características hacen que las cargas contaminantes presentes en las aguas residuales sean bastante elevadas, situación que propició la contaminación de las aguas superficiales dándose la necesidad de establecer sistemas de depuración como son las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).



Las EDAR tienen sistemas de tratamientos de las aguas, dando como resultado dos efluentes: el agua propiamente dicha, que se retorna a los cauces y va con un buen grado de descontaminación pues se le han retirados las sustancias tóxicas y los lodos resultantes de la separación de los sólidos en suspensión y de la carga de materia orgánica que traen las aguas inicialmente. Estos lodos, también llamados biosólidos, se han definido como un material sólido heterogéneo cuya composición no sólo depende del agua residual, sino también de la tecnología empleada y de la época del año, es decir, del tipo de vertidos que confluyen en la depuradora, así como el proceso que experimentan los biosólidos en ella y los hábitos sociales, determinarán la composición de este material orgánico (Terry, 1979; Soler, 1998).

La utilización agrícola de los fangos producidos en la depuración de las aguas residuales se remonta a principios del siglo XX, ya que mejoraba las características del suelo, como regenerador orgánico del terreno. En efecto, los biosólidos procedentes de las depuradoras son excelentes acondicionadores de los suelos ya que causan una mejora de las propiedades físicas, como la capacidad de retención de agua, aireación, el drenaje, etc. Y además también actúan como abonos ya que contienen elementos fertilizantes como el nitrógeno, en mayor cantidad fósforo y en menor proporción potasio y otros macronutrientes (Soler, 1998). Sin embargo, la utilización de estos biosólidos también suscita preocupación en lo que respecta a la contaminación de suelos y plantas con metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos como por ejemplo las dioxinas o PCB y patógenos microbianos persistentes (FAO, 2000). Por todo esto se hizo necesario reglamentar esta práctica a través de normas y recomendaciones sobre la calidad y metodología de aplicación de los biosólidos en agricultura. En España, está vigente el Real Decreto 1310/90 – Utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. Éste incorpora la Directiva 86/278/CEE al ordenamiento jurídico español, estableciendo la forma y dosis de aplicación, a fin de prevenir los efectos perjudiciales, con especial atención en los metales pesados. La norma define como “lodos tratados” a aquellos que han recibido un tratamiento por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización.



### 1.1.3. Residuos vegetales

Estos residuos proceden en su mayor parte de los restos de plantas que se cultivan o de restos de podas. Las características de estos restos son muy variables y van a depender de las características morfológicas de las especies vegetales, de la parte o proporción que se deshecha, de los métodos de recolección y de las características agronómicas y climáticas de la zona de cultivo.

La mayoría de los residuos vegetales que se producían, se utilizaban para abonar el suelo, pero ahora se buscan métodos más intensivos y productivos que se han ido incorporando a los ciclos de producción. Este hecho desemboca en una mayor generación de residuos, por lo que ya no hay un equilibrio entre producción y eliminación.

Aunque estos residuos no suponen un problema tan grave como los anteriores, es importante reutilizarlos, sobretodo, como agentes estructurantes en el compostaje.

## 1.2. EL COMPOSTAJE

Ya desde el siglo I d.C. se conocía que, al apilar los restos de las cosechas junto con los excrementos de animales, se generaba calor y se transformaba, además, la masa inicial (Columuela, siglo I d.C, trad. Holgado Redondo, 1.988). Desde entonces, los agricultores han seguido esta práctica (compostaje) utilizando el producto resultante (compost) como abono, aunque los productos así obtenidos no siempre conservaban su potencial nutritivo debido a la falta de control sobre el proceso.

El **compostaje** se define como un proceso biooxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. El proceso implica un paso por una etapa termófila con producción temporal de fitotoxinas produciéndose dióxido de carbono, agua y minerales como resultado de los procesos de degradación, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y patógenos, y dispuesta



para su uso en la agricultura, sin que ocasione fenómenos adversos (Zucconi y de Bertoldi, 1987).

La reacción general del proceso de compostaje se resume a continuación.

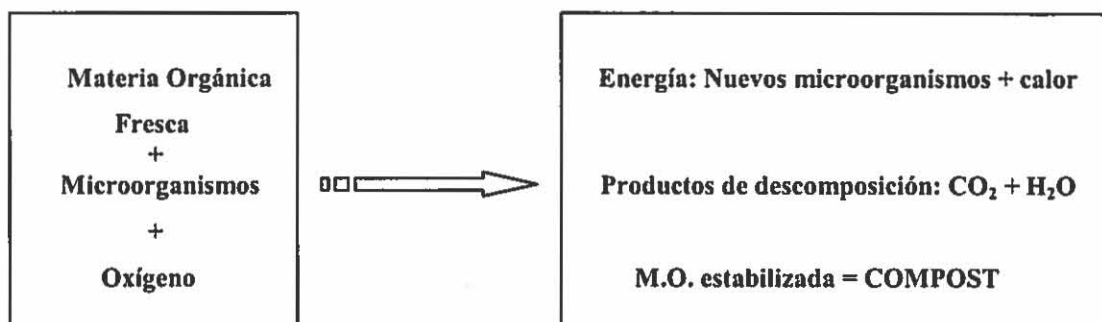


Figura 1.2. Representación esquemática de la reacción que tiene lugar en el proceso de compostaje.

Como se observa en el gráfico, el proceso de compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos sobre la materia orgánica fresca, provocando elevadas temperaturas, reducción de volumen y de peso de los residuos y oscureciendo el material. Durante este proceso se ha de aportar oxígeno para favorecer la actividad microbiana. Al agotarse la materia orgánica fácilmente biodegradable se ralentiza la actividad microbiana, con lo cual cesa la fase más activa del proceso, y se produce una bajada en la temperatura. A esta primera fase le sucede otra en la que se da una curación del compost. La preparación, afino y comercialización del compost pueden ser considerados las etapas finales de este proceso de producción que idealmente han de tener lugar una vez curado y estabilizado el compost.

### 1.2.1. Parámetros que condicionan el proceso de compostaje

El proceso de compostaje se basa en la actividad microbiana por lo que todos los factores que afecten a la evolución de los microorganismos afectarán también al proceso.



### a) Parámetros operacionales

- *Temperatura* → Cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptimo en el que la actividad es mayor y más efectiva (15-40°C para los organismos mesófilos y 40-70 °C para los termófilos). Los organismos que resulten beneficiados a una temperatura concreta son los que descompondrán la materia orgánica del residuo produciéndose un desprendimiento de calor (McKinley et al., 1985). Este calor provoca una variación de la temperatura que dependerá del tamaño de la pila y de las condiciones externas. La evolución de este parámetro da idea de la velocidad del proceso de compostaje (McGregor et al., 1981).
- *Humedad* → A lo largo del proceso la humedad disminuye a causa del calor que se genera durante el mismo, por lo que, para mantener las condiciones óptimas de humedad, se ha de añadir agua (Atchey y Clark, 1979). Es aconsejable que los niveles de humedad oscilen entre 40-60%. El exceso de humedad puede ser reducido con una mayor aireación (Poincelot, 1974).
- *pH* → El pH tiene influencia directa en el proceso de compostaje debido a su relación con la dinámica de los procesos microbianos (Nogales y Gallardo Lara, 1984). Es conveniente seguir el pH del proceso ya que unas subidas grandes de pH, acompañadas de fuertes elevaciones de temperatura, pueden dar lugar a la volatilización de nitrógeno en forma de amoníaco lo que supondría una pérdida económica desde el punto de vista agronómico e industrial, además de tener efectos negativos sobre el medio ambiente (Nogales et al., 1982).

### b) Parámetros químicos

- *Materia Orgánica* → Si la principal fuente de energía para el metabolismo de los microorganismos está en el carbono, la evolución de la materia orgánica dará una idea fiable de la evolución del proceso.

- *Biodegradabilidad* → El carbono de compuestos muy humificados o lignocelulósicos es difícil de usar por los microorganismos como fuente principal de energía, por lo que está sometido a una mineralización muy lenta y parcial (Kayhanian y Tchobanoglous, 1992). Surge, por tanto, el concepto de biodegradabilidad de los compuestos orgánicos, que indica la cantidad de sustancia que puede ser realmente descompuesta en el proceso de compostaje, mostrando la facilidad que tiene para degradarse un sustrato.
- *Conductividad eléctrica (CE)* → Su valor es función de la cantidad de sales existentes en el material de partida y en menor grado de la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso.
- *Contenido en nutrientes* → Las características químicas de los sustratos para el compostaje son fundamentales para el proceso (García Izquierdo, 1990). Los microorganismos del proceso de compostaje precisan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción.

### 1.2.2. Aspectos microbiológicos del compostaje

El compostaje es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial. Al comienzo del compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila presente en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse utilizando los hidratos de carbono y proteínas más fácilmente asimilables. La hidrólisis y asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento, por tanto, la generación de calor disminuye hasta alcanzar la temperatura ambiente, alrededor de los 40°C, y los organismos mesófilos (actinomicetos, hongos y bacterias mesófilas) reemprenden su actividad. La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40°C hasta los 60°C. Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con



lo cual la temperatura sube hasta los 70°C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas se ataca muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente. Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir (el calor que se genera es menor que el que se pierde) y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, reinvasen el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales. Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida.

### 1.3. EL COMPOST

El compost se puede definir como el producto resultante del proceso de compostaje y maduración y que consta de materia orgánica estabilizada semejante al humus. Debe ser un producto inocuo, sin sustancias fitotóxicas, que pueda aplicarse sin riesgos de provocar daños al suelo ni a los cultivos, y que pueda almacenarse sin que sufra alteraciones posteriores (Zucconi y De Bertoldi, 1987).

Dependiendo del grado de evolución alcanzado en el proceso de compostaje, los composts se pueden clasificar en frescos, maduros y curados (Zucconi y De Bertoldi, 1987).

#### 1.3.1. Ventajas del uso de compost

El primer aspecto beneficioso es el aporte de materia orgánica, con el consiguiente aumento de fertilidad del suelo (Costa et al., 1991). Este aporte se traduce en una serie de ventajas físicas, químicas y biológicas para el mismo.

La influencia de la aplicación de los composts en las *propiedades físicas* está relacionada en general con la mejora de la estructura del suelo y se traduce en:

- Reducción de la densidad aparente, que facilita la emergencia de las semillas y la penetración radicular (Mbagwu, 1992).
- Aumento de la estabilidad de los agregados (Murillo et al., 1989b) que se traduce en un aumento de la macroporosidad (Ortega et al., 1981).
- Incremento de capacidad de retención de agua (Duggan, 1973), de modo que los suelos resisten mejor la sequía.
- Aumento de la temperatura del suelo por el color oscuro de la materia orgánica, lo cual influye favorablemente sobre los procesos biológicos.

En cuanto al *aspecto biológico* los composts favorecen la coexistencia de diversas especies de microorganismos e incrementan espectacularmente la microflora del suelo.

Entre los *efectos químicos* que los composts ocasionan en el suelo destacan:

- Incremento de pH del suelo, con lo que puede emplearse como enmienda en suelos ácidos.
- Incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), con una cesión gradual de los nutrientes a las plantas (Murillo et al., 1989).
- Incremento de la fertilidad química. Aporta elementos nutritivos tanto de macro como micronutrientes. La eficacia de este aporte depende de los contenidos en dichos elementos y por lo tanto de la naturaleza del compost (Costa et al., 1991).
- Incide de forma favorable sobre la utilización de abonos químicos por las plantas. Los óxidos de Fe y Al del suelo forman complejos con la materia orgánica impidiendo o retrasando la fijación de fosfatos solubles y las pérdidas de N.

Además de estos aspectos beneficiosos, varios motivos justifican el uso de compost como componentes de sustratos de cultivo:

- Se disminuye el uso de turba, un recurso escaso, no renovable, de gran significación ambiental y, en España, de procedencia exterior.
- El uso como sustrato supone un mayor valor añadido al compost.

- En algunos casos, el cultivo de plantas no comestibles como las forestales u ornamentales, puede ser una salida segura para compost considerados “no seguros” en cultivos alimenticios.
- Pueden tener un efecto supresor de fitopatógenos.

El compost puede ser utilizado como sustrato, ya que como resultado del proceso de compostaje se obtiene un sustrato estable, inerte y con características de aireación y retención de agua que lo hacen un sustrato de alta calidad. También como enmienda directamente sobre el suelo, el compost es más eficiente al aplicarlo en superficie (Avnimelech et al., 1990).

### 1.3.2. Inconvenientes del uso de compost

Uno de los principales efectos negativos derivados del proceso de compostaje es la posible *falta de madurez del compost*, la cual, puede manifestarse de distintas formas:

- La presencia de malos olores derivados de las fermentaciones anaerobias de materiales aún inestables.
- La presencia de gérmenes patógenos y parásitos vegetales por no alcanzarse la temperatura de pasteurización (60-70 °C).
- La presencia de semillas indeseables que germinan una vez extendido el compost y que compiten con las plantas.
- La elevación de la temperatura por la alta actividad microbiana sobre productos en descomposición, con el consiguiente perjuicio para las raíces y posible bloqueo del nitrógeno por no alcanzarse relaciones C/N idóneas que podría provocar lo que se llama “hambre” de nitrógeno.

Por otro lado, la *presencia de materiales inertes* puede diluir la fracción agrónicamente útil tanto para el suelo como para la planta, provocando, además, un impacto visual sobre el paisaje. Los materiales inertes más presentes en los composts han sido especialmente fragmentos de vidrio de considerables dimensiones ( $F > 12,5$  mm), producto de una selección deficiente de la fracción orgánica de los residuos



sólidos urbanos (RSU). La solución a este problema es el cribado de los composts obtenidos.

El compost de RSU también pueden tener un contenido en metales pesados elevado (cromo, níquel, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, selenio) cuyo origen está en los botes metálicos, pinturas y tintes, materias plásticas, aditivos, etc. Los contenidos máximos admisibles están recogidos por la legislación.

### 1.4. TURBERAS

Las turberas son ecosistemas de elevado valor medioambiental. Así lo ha entendido la Unión Europea al proponer su inclusión en la "Directiva Habitats", un instrumento legislativo en el campo de la conservación de la naturaleza (European Commission, 1996); directiva que se plasma en la creación de una red de áreas de especial conservación a nivel europeo, denominada **Red Natura 2000**.

La formación de turberas se da por la lenta descomposición de la materia orgánica, que con el paso de los años va produciendo una acumulación de turba que puede alcanzar varios metros de espesor, a un ritmo de crecimiento que se calcula de entre medio y diez centímetros cada cien años. La lenta tasa de descomposición de la materia orgánica es resultado de una escasa actividad microbiana, debida a la acidez del agua o la baja concentración de oxígeno en ésta. Por ello, suelen desarrollarse en zonas de sustrato silíceo, que dan lugar a suelos ácidos, y cubetas de deficiente drenaje, donde el estancamiento de las aguas provoca condiciones anóxicas. Otro factor limitante de la actividad microbiana son las bajas temperaturas, por ello, las turberas son especialmente abundantes en áreas frías de montaña.

Las turberas se caracterizan por la capacidad singular de acumular y almacenar restos de plantas muertas, como musgos, juncos, cañas, arbustos y árboles en forma de turba en terrenos anegados. Las turberas son el tipo de humedal más difundido del mundo, representando del 50 al 70 por ciento del total de humedales.



### 1.4.1. Importancia de las turberas

Las turberas constituyen un importante punto de mira en lo que a conservación se refiere, pues se trata de ecosistemas de elevado valor medioambiental y gran importancia científica. Varios son los motivos que justifican esta significación:

- Rareza y singularidad de su flora, constituyendo un ecosistema primordial en cuanto a biodiversidad.
- Las turberas constituyen una de las principales herramientas para el estudio de la vegetación y el clima del pasado. Al no descomponerse por completo la materia orgánica, en la turba se conservan maderas semifosilizadas, restos vegetales, granos de polen, etc. Los sondeos permiten la extracción de dichos materiales, que pueden ser datados cronológicamente de acuerdo a la profundidad en que hayan sido encontrados.
- Desempeñan una función importante en el mantenimiento de la calidad del agua dulce y la integridad hidrológica, como sumideros de carbono. Las turberas contienen un tercio del carbono del suelo mundial y el 10 por ciento del volumen de agua dulce del mundo.
- Además, contribuyen a valores sociales, económicos y culturales importantes para las comunidades humanas en todo el mundo.

### 1.4.2. Incidencia antrópica sobre turberas

Desde 1800, el área global de las turberas se ha reducido apreciablemente (entre el 10 y 20 por ciento), constituyendo las actividades humanas la principal fuente de su degradación:

- Explotación de turba como principal sustrato agrícola y para jardinería, así como corrector de suelos o filtros para depuradoras.
- Drenaje mediante apertura de zanjas.





## Introducción

---

- Transformación a pradería, con cambios en las formaciones vegetales y en las propiedades físico-químicas debido a la fertilización y el encalado.
- Repoblación forestal.
- Construcción de infraestructuras viarias, relacionadas, sobre todo, con la apertura de pistas para aprovechamientos forestales y ganaderos y, más recientemente, para la instalación de parques eólicos.

Además, la degradación de estos ecosistemas puede ocasionar serios problemas medioambientales:

- La desecación de las turberas puede afectar a sus funciones de control de las crecidas, lo que redundará en daños en las tierras labrantías, los puentes y los edificios de los valles situados aguas abajo.
- La desecación de las turberas para la agricultura puede causar la pérdida de funciones de almacenamiento de carbono y mitigación del cambio climático.
- La forestación de turberas afecta a la biodiversidad y entorpece su uso para recreación, recogida de bayas y caza.

Por todo ello es importante buscar formas que impidan la degradación de estas zonas, en el caso concreto de este proyecto, ofreciendo sustratos alternativos al uso de turba, no sólo reduciendo el uso de este producto, sino favoreciendo el uso de residuos.



## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este proyecto es el diseño de sustratos que incluyan en su composición compost de residuos urbanos (residuos sólidos, biosólidos y biomasa de poda de jardines), con mínima presencia de turba, así como el establecimiento de las condiciones óptimas de uso de estos sustratos para el cultivo en vivero de plantas forestales.

Con el fin de alcanzar dicho propósito, se realizarán una serie de ensayos para determinar las propiedades de los sustratos basados en los composts utilizados:

### 1. **Determinación de la influencia de la proporción de compost en las propiedades químicas de los sustratos.**

Una completa caracterización química de los sustratos, basados en composts, permitirá definir las proporciones de cada compost más adecuadas para el cultivo en contenedor, así como realizar las correcciones oportunas (adición de componentes adicionales) que permitan mejorar las propiedades que puedan resultar deficientes.

### 2. **Evaluación de la respuesta de la especie *Pistacia lentiscus* L. a los sustratos preparados con compost:**

- Incidencia en la germinación y/o enraizamiento
- Desarrollo y nutrición de las plantas
- Acumulación de metales pesados en las plantas.

### 3. **Estudio y modelización de la dinámica de mineralización de nitrógeno y fósforo de los composts y sustratos.**

El desarrollo del proceso de mineralización permitirá establecer las necesidades adicionales de suplementos fertilizantes, así como minimizar los riesgos ambientales del lixiviado de estos nutrientes.



### 3. MATERIALES

#### 3.1. PROCEDENCIA Y ELABORACIÓN DEL COMPOST

Las materias primas de las que se partió para la elaboración de los compost fueron:

- La fracción orgánica de **Residuos Sólidos Urbanos** (RSU), procedente de la Planta de Tratamiento de Residuos Urbanos de Mijas (Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental, Málaga). En dicha planta se seleccionó la fracción orgánica de los RSU mediante triaje manual, separadores electromagnéticos y cribado (8 cm).
- **Lodos de depuradora** (LD), procedente de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) del Copero, perteneciente a Emasesa (Sevilla).
- **Biomasa vegetal** (BP) como agente estructurante procedente de podas de parques y jardines de Sevilla (en el caso del compost A) y de Mijas (en el caso del compost B). Esta biomasa se astilla hasta conseguir fragmentos de un máximo de 15 cm de largo y 2 cm de ancho o diámetro.

Para la realización de los composts se han combinado distintas proporciones de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Lodos de Depuradora (LD) y restos de poda de parques y jardines (BP). Los tipos de mezclas realizados se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.** Tipos de composts y proporción en volumen de las materias primas utilizadas.

TIPO COMPOST	PROPORCIONES EN VOLUMEN DE MATERIAS PRIMAS		
	L.D.	R.S.U.	B.P.
A	1	0	3
B	0	1	1,5
C	1	1	2

La elaboración de los composts A y C se ha llevado a cabo en la planta de compostaje de Emasesa del Copero (Sevilla), mientras que el compost B se elaboró en la planta de tratamiento de Mijas (Málaga).

El sistema de compostaje utilizado para la elaboración del compost fue el denominado “windrow” o de apilamiento y volteo, consistente en la formación de pilas (figura 3.1.) o “windrows” de sección triangular de unos 5,5 m de anchura, 2,5 m de altura y longitud variable con mezclas de los materiales a compostar en las proporciones establecidas.



**Figura 3.1.** Formación de pilas compost B. Planta de Mijas

Tras el comienzo de la fermentación cada una de las pilas fue sometida periódicamente a sucesivos volteos y apilamientos (figura 3.2.), con el objeto de suministrar la aireación necesaria para el desarrollo del proceso. Para los volteos se utilizó una pala cargadora en el caso del compost A y una volteadora en el caso del compost B. La frecuencia de los volteos fue de una vez cada dos semanas y durante los 3 meses de duración de la etapa de fermentación o compostaje activo, las temperaturas máximas alcanzadas en el interior de las pilas oscilaron entre los 61 °C del compost C y los 68 °C del B (figura 3.3.). Transcurrida la fermentación tuvo lugar una maduración a la intemperie de los composts obtenidos, para lo cual se estableció un periodo mínimo de un mes, con el fin de completar su descomposición, estabilización, destrucción de patógenos y desgasificación, aunque las partidas utilizadas en este ensayo habían estado almacenadas por un período superior a un año.



Figura 3.2. Volteo de compost B. Planta de Mijas



Figura 3.3. Control de Temperatura. Planta de Mijas.

Para una óptima utilización del compost es necesario cribarlo a fin de retirar en el proceso astillas y otros materiales inertes que disminuyen su riqueza y calidad. Los composts fueron sometidos a un primer cribado por 12 mm. Posteriormente, los composts A y C se incorporaron a los sustratos tras un proceso de cribado por 10 mm. El compost B fue sometido a un proceso de afino, consistente en la eliminación de componentes densos (vidrios, piedras) en una mesa densimétrica, eliminación de plásticos mediante ciclón y cribado final por 4 mm.

Las *ventajas* observadas con este sistema de compostaje han sido la capacidad de manejar un elevado volumen de material, la buena estabilización del producto final, su bajo coste relativo y simplicidad tecnológica, y la obtención de un producto con una

menor humedad (mayor evaporación al voltear las pilas) que favorece los posteriores tamizados.

Como principales *inconvenientes* destacan el gran requerimiento de espacio, mayor dificultad de controlar la aireación y el resto de los factores implicados en el proceso, la gran dependencia de las condiciones climáticas, la posible presencia de malos olores durante los volteos y el gran volumen de agente estructurante necesario.

### 3.2. ELEMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS SUSTRATOS

#### 3.2.1. Sustrato testigo

El sustrato testigo (T) es el habitualmente utilizado en el vivero donde se han realizado los ensayos (vivero de San Jerónimo, Junta de Andalucía). En este caso se presenta en sacos de 320 litros, de material comprimido. Se trata de sustrato a base de turba de Sphagnum ligera, con cal y fertilizantes listo para el uso. Los aditivos que se detallan en la etiqueta son los siguientes:

Tablas 3.2. Características de la turba testigo

Análisis del extracto acuoso 550 g/l turba	
pH (agua 550 g/l)	4.3
C.E. (agua 550 g/l) mS/cm	1.5
N mg/l	120
P mg/l	90
K	150
Ca	50
Mg	25
S	50
B	0.2
Cu	0.07
Fe	1.3
Mn	0.5
Mo	0.01
Zn	0.13




---

2.0 Kg/m<sup>3</sup> de cal con 5% Mg.  
 0.8 Kg/m<sup>3</sup> de fertilizante 16-18-19  
 (2.5% N-NO<sub>3</sub>, 7.5% N-NH<sub>4</sub>, 6% N-lenta liberación)

---

Grado humificación	H 1-3 van Post
Densidad (bulk density) (Kg/m <sup>3</sup> )	70
Granulometría (tipo B)	<20mm

### 3.2.2. Turba utilizada en las mezclas

Para la preparación de las mezclas con los compost se ha utilizado una turba rubia ácida, que venía embalada comprimida en sacos blancos de 35 Kg (250 l). Se trata de turba ácida de Sphagnum poco descompuesta y sin fertilizantes inorgánicos, proveniente de Finlandia. A continuación se presentan sus características:

**Tabla 3.3.** Características de la turba rubia para las mezclas.

pH (CaCl <sub>2</sub> )	2.5-3.5
pH (agua)	3.5-4.0
Humedad máxima %	60
Materia Orgánica (% sms)	95-98 (89)
Materia Orgánica (% spt)	35
N orgánico (% sms)	2.0
N total (% spt)	0.4
C.E. mmhos/cm	0.1-0.3

### **3.2.3. Corteza de Pino**

La corteza de pino aplicada a las mezclas fue suministrada a granel por Lombrimel (Los Palacios, Sevilla), con una granulometría gruesa. Para su utilización en los sustratos se efectuó una molienda previa y cribado por 10 milímetros, utilizando la fracción inferior a este tamaño.

La tomó la corteza de pino como componente de las mezclas, por su capacidad de aumentar la porosidad de los sustratos debido a su estructura, confiriendo, por tanto, una mayor aireación a las raíces.

### **3.2.4. Vermiculita**

La vermiculita es un mineral de estructura laminar, próxima a la mica, expandida a 900°C. Al vaporizarse el agua contenida entre sus placas, el calor las hace explotar en multitud de láminas delgadas con un gran contenido de aire entre ellas. Es una sustancia hidrófila y tiene una gran capacidad de intercambio, facilitando la rehumectación de los sustratos.

Suele utilizarse en viveros por su gran eficacia, pues algunos milímetros de vermiculita sobre los semilleros aseguran el mantenimiento de la aireación, la temperatura y la higrometría óptimas. Además, su ligereza y estructura exfoliada elimina todo riesgo de asfixia y de agresión mecánica, sin producirse riesgo de intoxicación ni de infección, por ser un mineral totalmente inerte.

Se presenta en sacos de 100 y 25 litros paletizada. En este proyecto se usó el tipo II, con una granulometría de 0-3 mm y 80/100 Kg/m<sup>3</sup>.





### 3.3. MATERIAL VEGETAL: *Pistacia lentiscus* L.

El término lentisco proviene directamente del latín *lentiscus*, y el nombre botánico del género, *pistacia*, es de origen persa. Los griegos llamaban al árbol *pistake*, que fue luego adoptado por los latinos. Los romanos designaron como *pistacia* al árbol de los pistachos o alfóncigo (*Pistacia vera*) traído a Roma por Vitelius Gobernador de Siria. En castellano, el árbol de la almáciga se conoce también como mata charneca.

El lentisco es una especie vegetal perteneciente a la familia de las Anacardiaceas. Se trata de un arbusto perennifolio con hojas lanceoladas de color verde oscuro, flores en grupos compactos y frutos de color rojo que se vuelven negros al madurar (figura 3.4.), siendo muy aromáticos. Este arbusto, en ocasiones, se desarrolla como árbol, que puede llegar a medir hasta seis o siete metros de altura, pero en general tiende a achaparrarse y colonizar como una mata espesa a alturas que no llegan al metro y medio. La corteza es de color grisáceo y los tallos rojizos cuando jóvenes. Mantiene la fronda verde todo el año. Las hojas, coriáceas y lampiñas, brotan de las ramas terminales jóvenes, y están constituidas por folíolos pares (entre cuatro y ocho) de forma convexa y lanceolada. Tiene pies masculinos y femeninos; las flores masculinas brotan de las axilas foliares, son pequeñas y constan de un cáliz con cinco estambres rojos y el mismo número de lóbulos; las femeninas tienen el cáliz con tres o cuatro lóbulos y un pistilo. En los pies femeninos sale un fruto redondo de color verde al principio, que se vuelve rojo al madurar, de sabor áspero, aunque no desagradable. Florece de abril a mayo y da los frutos en otoño.

Como otras plantas de las costas mediterráneas, es un arbusto de origen semitropical que no resiste heladas prolongadas, por lo que falta en el interior de la Península Ibérica, aunque sí es muy abundante en las islas Baleares, donde a menudo es una formación arbustiva dominante, lo mismo que en zonas de levante. En climas propicios llega a darse en regiones montañosas, pero el tope máximo de altitud son los 1000 m. Escasea o falta en las zonas más áridas del sudeste, y en el sur de Cádiz y el norte de Marruecos es abundante. Aunque es probable que hace siglos dominara las costas del sudeste de la Península, ha sufrido una importante regresión, debida a la actividad humana y al pastoreo.

## Materiales

Es componente de maquias, garrigas y encinares, se asocia comúnmente con coscojas, mirtos, palmitos y terebintos (*Pistacia terebinthus*), con quien hibrida formando una curiosa mezcla de caracteres entre hojas de folíolos pares e impares, y entre de las hojas caducas de uno y perennes del otro. El nombre de éste híbrido es *Pistacia x Saportae* (Burnat). Las drupas maduras son un alimento importante de aves frugívoras como zorzales, mirlos y currucas.

Las hojas contienen más de 11% de taninos. La esencia se encuentra en pequeñas cantidades y contiene pineno. La semilla contiene un 50% de un aceite que, en Baleares, se utilizó como aceite de lámparas. La almáciga contiene ácidos masticínicos, y una esencia integrada principalmente por alfa pineno en proporción de 1 a 3%.

Del tronco del lentisco se obtiene una resina llamada almáciga que, desde muy antiguo, se ha extraído en algunas regiones como la isla de Quío, en Asia Menor, donde los lentiscos son árboles de buena talla, de la variedad denominada chia de la especie *Pistacia lentiscus*. En Marruecos se recogen también las lágrimas de lentisco y se venden en los mercados para aromatizar la boca, fortificar las encías y como reconfortantes del corazón. La almáciga se ha utilizado para la elaboración de barnices y, en odontología, para la preparación de cementos dentarios. El vino de lentisco se elabora desde los más remotos tiempos y se utilizaba para reconfortar el estómago y cortar las diarreas. La madera, de color blanco rosáceo, es dura, densa y de buena calidad para la ebanistería. Acepta bien el pulimento. Considerada como una de las mejores leñas combustibles, de fuego lento y vivo, ésta es posiblemente una de las causas de que el árbol haya sido muy castigado en toda el área mediterránea.



Figura 3.4. Vista de las hojas de lentisco y sus frutos.



## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. METODOLOGÍA GENERAL

#### 4.1.1. Plan de Trabajo

##### a) Ensayo con lentisco

El vivero de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía situado en San Jerónimo, Sevilla, acoge el ensayo de evaluación de respuesta de la especie vegetal *Pistacia lentiscus* L. (lentisco), a los diferentes tratamientos preparados con composts. El inicio del ensayo tuvo lugar en Enero de 2004 y los últimos resultados que se recogen en esta memoria se obtuvieron en Noviembre de 2004, no obstante, el ensayo seguirá teniendo un seguimiento.

Los tratamientos diseñados incluyen en su composición composts RSU, LD y BP. Se prepararon dos grupos de mezclas con los tres composts objeto de estudio, compost A compuesto por LD+BP, compost B compuesto por RSU+BP y compost C por RSU+LD+BP. Estos composts son los preparados en el proyecto LIFE ENV 000543, financiado por la Unión Europea, bajo condiciones de compostaje estandarizadas. Los compost A y C se utilizan tamizados a 10 mm, mientras que el B se tamizó por 4 mm.

Los tratamientos aplicados se basan en dos tipos de mezclas. El primer tipo se realizó con mezclas del 20 y 40 % (v/v) de cada uno de los compost, y excepcionalmente al 60 % para la mezcla con compost A. En el segundo grupo de mezclas se introdujo un nuevo elemento para la preparación de los sustratos, corteza de pino, ya utilizado con éxito en sustratos con compost (Guerrero et al., 2002; Hernández-Apaloaza et al., 2004). La incorporación de este componente a los sustratos con composts puede hacer mejorar las propiedades físico-químicas minimizando algunas características deficientes de los composts (Raviv et al., 1986). Estas mezclas se realizaron al 40 % de cada uno de los tres composts junto con corteza de pino en



proporción de 20 ó 40 %, (v/v). En todos los casos, el resto de la mezcla se completó con turba rubia. Un tratamiento control se preparó con la turba comercial habitual de vivero. El número total de tratamientos preparados fue de catorce (siete tratamientos mezclas compost-turba rubia, seis tratamientos mezclas compost-corteza de pino-turba rubia, un tratamiento control). Además, en todos los casos se incorporó un 10% en volumen de vermiculita una vez realizadas las mezclas.

Tabla 4.1. Composición (en porcentaje) para cada tratamiento.

TRATAMIENTO	COMPOSICIÓN
T	100% turba (sustrato comercial)
A20	20% compost A + 80% turba
A40	40% compost A + 60% turba
A60	60% compost A + 40% turba
B20	20% compost B + 80% turba
B40	40% compost B + 60% turba
C20	20% compost C + 80% turba
C40	40% compost C + 60% turba
A40P20	40% A + 20% corteza pino + 40% turba
A40P40	40% A + 40% corteza pino + 20% turba
B40P20	40% B + 20% corteza pino + 40% turba
B40P40	40% B + 40% corteza pino + 20% turba
C40P20	40% C + 20% corteza pino + 40% turba
C40P40	40% C + 40% corteza pino + 20% turba

➤ **Diseño del ensayo**

El cultivo se realiza en bandejas divididas en 40 alvéolos de 400 ml de capacidad cada uno. Por cada sustrato se realizaron seis repeticiones, cuatro bandejas destinadas al control de la incidencia de los sustratos en la germinación así como para la evaluación periódica del desarrollo de la planta en altura y diámetro, y dos bandejas destinadas, a lo largo de la duración del ensayo, a la realización de análisis para la determinación de biomasa de diferentes partes de la planta, extracción de nutrientes realizadas por el cultivo, determinación de acumulación de metales pesados y caracterización físico-química de los sustratos.



A continuación se muestra un croquis de la disposición de cada uno de los tratamientos en las mesas del ensayo:

MESA 1	A40P40	C40P40
	A40P20	C40P20
	A20	B40P20
	A40	C40P40
	A60	C40
	T	C20
	B40	B20
MESA 2	C40P40	A40P40
	C40P20	A40P20
	B40P20	A20
	C40P40	A40
	C40	A60
	C20	T
	B20	B40
MESA 3	A40P40	C40P40
	A40P20	C40P20
	A20	B40P20
	A40	C40P40
	A60	C40
	T	C20
	B40	B20
MESA 4	C40P40	A40P40
	C40P20	A40P20
	B40P20	A20
	C40P40	A40
	C40	A60
	C20	T
	B20	B40
MESA 5		
MESA 6		



Figura 4.1. Vista general del ensayo y el tren de riego

Se realizó una caracterización química completa de los tratamientos preparados y de los componentes de partida mediante procedimientos normalizados (UNE, ISO, EN) (Martínez Farré y Burés, 1998) o en caso contrario por procedimientos recogidos en la literatura científica.

#### **b) Ensayo con los lixiviados**

El segundo ensayo se realizó en el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y consistió en un estudio y modelización de la dinámica de mineralización de nitrógeno de los tratamientos e influencia de la proporción de compost en las mezclas sobre el proceso de mineralización. Este ensayo comenzó en Junio de 2004.

Para ello se han utilizado en el ensayo los mismos tratamientos que se prepararon para la realización del ensayo con lentisco en vivero, sin cultivo de planta en este caso. Estos tratamientos han sido incubados, bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, en bandejas de 40 alvéolos de 400 ml de capacidad cada uno, realizándose cuatro replicados de cada sustrato. Periódicamente los tratamientos son saturados con agua destilada y se recogen los lixiviados para su posterior análisis y determinación de N-Nitrato y N-Amonio.



## 4.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

### 4.2.1. Análisis en el ensayo con *Pistacia lentiscus* L.

#### a) Toma y preparación de muestras

##### ➤ Toma y preparación del material vegetal

- Medidas de crecimiento en plantas

La *altura* de las plantas se midió con una regla, seleccionando doce plantas al azar de cada una de las bandejas de los cuatro bloques destinados a ello. Las plantas sobre las que se realizaron estas medidas fueron siempre las mismas, evitando tomar medidas de los individuos situados en los bordes de la bandeja. Las alturas obtenidas tras las mediciones se expresan en centímetros.

El *diámetro* del cuello de la raíz se obtuvo de las mismas plantas de las que se midió altura y mediante calibre digital. Los resultados se expresaron en milímetros. En el primer muestreo no fue posible realizar esta medida, debido a la baja envergadura que aún presentaban las plantas.

Las medidas de crecimiento en las plantas se llevaron a cabo los días: 29 de junio, 25 de agosto y 5 de octubre de 2004.

- Toma de muestras de plantas

La evaluación del efecto en los cultivos de los distintos tratamientos aplicados se realizó a partir del estado nutricional de los mismos. En general, se hicieron 3 muestreos. Cada uno de ellos se llevó a cabo extrayendo las plantas de tres alvéolos al azar de cada una de las bandejas correspondientes a distintos tratamientos y destinadas a medidas destructivas. Una vez extraídas las plantas, el material vegetal procedente de cada alveolo, se separó en parte aérea y raíz. Se pesó en verde y se procedió a su descontaminación mediante breves lavados con agua del grifo y unas gotas de ácido



## **Metodología**

---

clorhídrico primero, y agua desionizada a continuación. Las plantas fueron secadas a 70 °C durante 48 horas y pesadas (peso seco). Se molieron en un molino IKA LABORTECHNIK MF 10 BASIC finamente y fueron guardadas en botes de polietileno hasta su análisis.

### **➤ Toma y preparación de los sustratos**

Se tomaron muestras de sustratos de los mismos alvéolos de los que fueron extraídas las plantas, los días 29 de junio, 25 de agosto y 21 de octubre de 2004.

## **b) Análisis de las muestras**

### **➤ Determinación de las propiedades de los sustratos**

#### **→ Determinación de la Granulometría de los sustratos**

Para el fraccionamiento granulométrico de los sustratos se ha seguido el método del tamizado. Se utilizó una tamizadora en columna CISA SIEVE SHAKER MOD. R809 con cinco tamices, de 25, 10, 5, 2 y 0.5 milímetros de diámetro. Se pesó una cantidad de muestra representativa, seca en estufa a 105°C, se tamizó durante ocho minutos y se pesaron las distintas fracciones atrapadas en cada tamiz.

#### **→ Determinación de la Humedad**

La determinación de la humedad de las muestras de los compost se realizó por gravimetría, secando el sustrato en estufa a 105 °C hasta peso constante (Ministerio de Agricultura, 1986).

#### **→ Determinación del pH**

La medida del pH se realizó sobre muestra fresca, en extracto en agua en relación 1:5 v/v según el método UNE-EN 13037. La medida se efectuó con un pH-metro CRISON digital 517 con electrodo de vidrio.





### → Determinación de la Conductividad Eléctrica (CE)

Se determinó en extracto acuoso de muestra fresca 1:5 v/v, según el método UNE-EN 13038, utilizando para la medida un conductivímetro CRISON-522.

### → Determinación de Nutrientes Solubles en agua

Se determinaron en extracto acuoso de muestra fresca 1:5 v/v, según la norma UNE-EN 13651. Los nutrientes analizados se determinaron por ICP-OES y mediante autoanalizador (nitrato).

### → Determinación de Nutrientes Solubles en cloruro cálcico/DTPA (Método CAT)

Se determinaron en extracto acuoso de muestra fresca 1:5 v/v, según la norma UNE-EN 13651. Los nutrientes analizados se determinaron por ICP-OES o mediante autoanalizador (amonio).

### → Determinación de la Materia Orgánica (MO)

Se pesó muestra seca ( $P_m$ ) en una cápsula de porcelana y se calcinó durante 3 horas a 550 °C. Se pesó de nuevo y se calculó la materia orgánica según la expresión:

$$\text{M.O (\%)} = (P_m - (P_{550} - P_c)) 100 / P_m$$

donde:

$P_m$  = Peso de muestra

$P_c$  = Peso de la cápsula

$P_{550}$  = Peso total a 550 °C con cápsula incluida

El contenido de carbono total (C) se calculó mediante la siguiente expresión:

$$C = \text{M.O} / 2$$

### → Determinación del Nitrógeno-Kjeldahl

Esta determinación se realizó mediante el método Kjeldahl, consistente en la digestión de la muestra con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y catalizador de Se y  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , a una temperatura de 400 °C en un bloque digestor 2020 TECATOR, consiguiéndose un extracto incoloro. Se dejaron enfriar y se añadió 50 mL de agua, destilando posteriormente la muestra en un destilador KJELTEC SYSTEM 1002 Distilling Unit, añadiendo a los tubos previamente NaOH al 40% para obtener un medio básico. En el extracto resultante se

determina el nitrógeno en forma amoniacal proveniente del N-orgánico más el de la forma amoniacal inicial de la muestra. El N en forma de nitrato y nitrito no se determina de este modo, ya que estos compuestos se oxidan en las condiciones del método y se pierden en formas de óxidos gaseosos de nitrógeno. El contenido de nitrógeno total se expresa en % (p/p) de nitrógeno referido a muestra seca.

### → Determinación de la relación C/N

El valor de la relación C/N se obtuvo a partir de los valores de C y N expresados en porcentaje referido a muestra seca.

### → Determinación de nutrientes totales

Para esta determinación se realizó una digestión con mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico 1:3 v/v (agua regia) en vasos de teflón herméticamente cerrados y en horno microondas. Las muestras así digeridas se diluyeron a 50 ml, se filtraron y se guardaron en recipientes de plástico. La cuantificación se realizó por ICP-OES (espectrometría de emisión por plasma).

### → Control de calidad de los análisis

Con cada tanda de muestras en los que se efectuaron las determinaciones de elementos totales y materia orgánica, se analizaron como control muestras de compost y productos orgánicos del programa MARSEP de WEPAL (Programas de Evaluación de Laboratorios Analíticos de Wageningen) (Houba et al., 1996).

### ➤ Análisis del material vegetal

### → Determinación de Nutrientes Totales

Para la determinación de estos elementos se pesó 0,5 g de muestra seca y molida, y se digirió por vía húmeda con 4 ml de HNO<sub>3</sub> SUPRAPUR bajo presión en horno microondas MILESTONE modelo Ethos 900. A continuación se llevó a 50 ml con agua y se filtró. El análisis de nutrientes y de elementos traza se realizó por ICP-OES (Espectrometría óptica con plasma de acoplamiento inductivo). Los resultados se



## Metodología

---

expresaron como porcentaje en el caso de los macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S, Na) o mg/Kg para los micronutrientes o metales pesados (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, etc.).

### → Determinación del Nitrógeno Kjeldahl

Se pesó 0,200 g de muestra y se realizó un ataque Kjeldahl con  $H_2SO_4$  concentrado (5ml) y 0,500 g de catalizador de Se y  $K_2SO_4$ . Los tubos se pusieron en un digestor a 380 °C durante 2,5 horas. Se dejaron enfriar y posteriormente se diluyó a 100 ml en un matraz aforado. Se filtró y se guardaron las muestras en recipientes de plástico para su posterior lectura en un autoanalizador AA3 BRAN+LUEBBE. Los resultados para el contenido en N orgánico total de las muestras se han expresado como % de N sobre muestra seca.

### → Determinación de la Humedad

Se calculó por la diferencia de pesadas de las plantas en verde y en seco.

### → Control de calidad de los análisis

Con cada tanda de plantas se analizaron como control muestras de plantas del programa IPE de WEPAL (Programas de Evaluación de Laboratorios Analíticos de Wageningen).

## 4.2.2. Análisis en el ensayo de lixiviados

### a) Toma y preparación de muestras

Las muestras de agua de drenaje se recogieron en recipientes de plástico instalados en la base de los alvéolos de las bandejas. Se añadieron 200 ml de agua destilada, midiéndose el volumen drenado. Las muestras se tomaron aproximadamente cada 20 días, en los períodos en los que ello fue posible, siendo las fechas exactas de muestreo: 3 de junio, 21 de junio, 7 de julio, 19 de julio y 7 de septiembre de 2004.



## b) Análisis químico de las muestras

### → Determinación del pH

El pH de las aguas de drenaje se midió directamente en la muestra mediante pHmetro.

### → Determinación de la CE

Al igual que el pH, la CE se midió directamente en el agua drenada mediante conductivímetro. Los valores se expresaron en  $\text{mS cm}^{-1}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ .

### → Determinación del $\text{NO}_3^-$

El contenido de nitrato se determinó en las aguas de drenaje o en diluciones de las mismas, cuando fue necesario. La determinación se hizo en un autoanalizador AA3 BRANLUBBE. Los resultados se expresaron como  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ l}^{-1}$ .

### → Determinación del contenido en sales y metales pesados

Para la determinación de estos parámetros, se acidificaron las muestras con  $\text{HNO}_3$  al 2%, posteriormente se analizaron por espectrofotometría de emisión de plasma en un Espectrómetro Thermo Jarrell Ash, modelo IRIS Advantage.

### 4.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el paquete estadístico SPSS 11.5 para Windows.

En general, los resultados se presentan como los valores medios de los replicados acompañados por las correspondientes desviaciones típicas.

La comparación de los resultados de los distintos tratamientos se efectuó mediante análisis de varianza ANOVA, considerando como variable independiente los tratamientos y los bloques y utilizando el test de Tukey para la comparación de los valores medios y un nivel de significación  $p < 0.05$ .

Las correlaciones entre las distintas variables se realizaron mediante coeficientes de Pearson, considerando niveles de significación  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$ .

En algunos casos se hicieron transformaciones a logaritmo neperiano, con el fin de ajustar los datos a una distribución normal.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. ENSAYO CON *Pistacia lentiscus* L.

#### 5.1.1. Propiedades y caracterización de los sustratos

##### ➤ Granulometría

Tabla 5.1. Granulometría (% fracción) en los componentes iniciales y las mezclas.

Tratamiento	>25 mm	10-25 mm	5-10 mm	2-5 mm	0.5-2 mm	<0.5 mm
Compost A	0	2,0	11,5	11,3	56,4	19,1
Compost B	0	0,94	2,61	9,48	43,1	43,9
Compost C	0	1,98	21,8	28,2	23,6	24,3
Vermiculita	0	0	0,2	17,3	75,7	7,6
Corteza pino	2,8	2,3	43,9	43,0	1,95	6,0
Turba rubia	4,2	9,3	13,5	28,1	27,0	18,2
T	0	13	13,9	14,0	36,5	23,1
A20	1,2	0,9	8,9	23,8	37,0	26,3
A40	0	4,7	9,9	25,9	34,6	24,8
A60	0,9	3,8	13,5	28,2	32,8	21,1
B20	0,7	2,1	3,3	7,8	40,5	45,7
B40	0,2	2,4	1,9	5,3	41,3	49,2
C20	1,2	3,2	18,4	26,5	34,9	15,9
C40	0,2	1,5	15,2	26,0	36,0	21,3
A40 P20	0	3,0	15,1	25,6	35,9	20,5
A40 P40	0	1,8	18,0	26,2	34,4	19,6
B40 P20	0,3	1,7	8,2	7,4	37,0	45,4
B40 P40	0	1,9	11,7	8,6	34,9	42,9
C40 P20	0	0,15	14,7	31,0	39,2	14,6
C40 P40	0	0,1	22,1	29,3	33,9	14,7

En la tabla 5.1. se muestra la granulometría de los sustratos empleados en el ensayo, así como de los compost y la turba que los componen.

## Resultados y discusión

Se observaron porcentajes distribuidos en lo que a compost A y C se refiere, así como también en sus mezclas con pino y turba rubia. No obstante, el compost C presentó un mayor tamaño de grano, pues más del 45% de su fracción se recogió en los tamices de 5 y 2 milímetros.

Sin embargo, el compost B presentó un alto porcentaje de finos (partículas menores de 0,5 mm), tanto en las mezclas con turba como en las que también poseen corteza de pino, encontrándose en estos casos entre el 80-90% en la fracción menor de 2 mm.

El sustrato testigo se presentó con homogeneidad, al igual que los compost A y C.

### ➤ Propiedades químicas de los compost y los sustratos

Tabla 5.2. Propiedades químicas de los compost y sustratos

Muestra	PH 1:5 vol	C.E 1:5 vol	M.O. (%)	C:N	N total (%)
Compost A	6,93	3,23	33,3	8,2	2,03
Compost B	6,96	1,59	27,8	9,1	1,52
Compost C	7,00	1,52	17,8	10,5	0,83
Vermiculita	7,67	0,07	-	-	-
Corteza pino	5,62	0,08	96,2	200	0,24
Turba rubia	5,54	0,04	95,9	61,8	0,78
T	6,12	0,14	70,6	47,4	0,74
A20	6,96	0,84	53,7	18,7	1,44
A40	7,10	1,38	46,5	14,2	1,63
A60	6,96	2,21	38,9	11,6	1,68
B20	6,98	0,52	45,4	22,2	1,02
B40	6,99	0,90	36,5	14,3	1,27
C20	7,23	0,67	35,0	10,8	1,62
C40	6,94	0,89	29,4	18,8	0,78
A40P20	7,03	1,39	38,3	13,6	1,41
A40P40	6,71	1,73	42,9	13,9	1,54
B40P20	7,27	0,59	38,7	15,5	1,25
B40P40	7,24	0,86	39,7	16,9	1,17
C40P20	6,95	0,93	26,0	17,4	0,75
C40P40	7,04	0,71	33,8	25,6	0,66

En la tabla 5.2. se muestra la caracterización de algunas propiedades químicas de los compost individualmente y de los sustratos preparados para el ensayo.



## Resultados y discusión

El valor de **pH** de los sustratos es determinante, ya que influye en los procesos que tendrán lugar, afectando en muchas ocasiones a la disponibilidad de los elementos necesarios para la nutrición de las plantas. Los composts que se usaron como componentes de los sustratos presentan un pH superior a lo recomendado (ideal 5.2-6.3), al igual que las mezclas, a pesar del menor pH de la turba rubia. No ocurre esto con el sustrato testigo, pues su pH (5.12) es inferior al resto de casos.

La **CE** del compost A es elevada, estando tres unidades por encima del testigo, afectando a las mezclas realizadas con este compost, siendo el tratamiento A20 el que presenta menor valor del grupo, debido a su mayor porcentaje de turba rubia. El sustrato testigo, en cambio, presenta el menor valor de CE, relacionado con su menor pH.

Los porcentajes de **materia orgánica** de los compost fueron bastante bajos, indicando una buena humificación, es decir, los compost utilizados tienen un alto grado de mineralización y madurez. La turba rubia y la corteza de pino empleadas, por su propia naturaleza, presentaron altos porcentajes de materia orgánica. El sustrato testigo presentó el mayor porcentaje de materia orgánica.

La **relación C/N** en los compost A y B resultó algo baja, al encontrarse este valor por debajo de diez, valor de equilibrio en los suelos. No obstante el resultado en las mezclas se encuentra en un límite aceptable, destacando el mayor de los valores en el sustrato testigo, dado su mayor porcentaje de materia orgánica y menor porcentaje de nitrógeno total.

Los compost A y B hicieron aumentar el contenido de **nitrógeno total** en las mezclas que los incorporaban, en valores que duplicaron el contenido de nitrógeno del testigo. El compost C y sus mezclas, presentaron porcentajes de nitrógeno muy similares al testigo.



## Resultados y discusión

Tabla 5.3. Elementos totales (ICP) presentes en los sustratos y los compost (porcentaje muestra seca).

Tipo	P	K	Ca	Mg	S	Na
Compost A	2.81	1.11	10.9	1.65	2.05	0.160
Compost B	0.674	0.840	9.72	4.22	1.00	0.221
Compost C	1.12	1.09	11.9	1.85	1.05	0.090
Vermiculita	-	-	-	-	-	-
Corteza pino	0.070	0.088	0.808	0.131	0.075	0.021
Turba rubia	0.048	0.035	0.77	0.295	0.299	0.028
T	0.848	1.20	2.64	4.48	0.368	0.043
A20	1.65	1.14	6.15	3.14	1.33	0.113
A40	1.53	1.11	5.83	2.61	1.39	0.097
A60	2.41	1.20	9.84	2.32	1.99	0.165
B20	0.548	0.896	6.55	4.46	0.816	0.164
B40	0.612	0.865	8.95	4.56	0.983	0.204
C20	1.02	1.08	9.29	2.84	0.833	0.078
C40	0.971	0.945	9.98	2.45	0.809	0.054
A40P20	2.10	1.11	8.59	2.71	1.52	0.115
A40P40	2.14	1.15	8.52	2.77	1.68	0.120
B40P20	0.589	0.741	7.94	4.28	0.858	0.124
B40P40	0.605	0.983	10.2	3.84	0.912	0.180
C40P20	1.04	1.00	9.61	2.55	0.901	0.066
C40P40	0.930	0.802	8.42	2.67	0.813	0.069

Tabla 5.4. Elementos totales (ICP) presentes en los sustratos y los compost (mg/Kg de muestra seca).

Tipo	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb
Compost A	36.2	16456	289	271	689	212
Compost B	21.1	19451	160	323	260	79
Compost C	39.0	28111	186	372	718	217
Vermiculita	-	-	-	-	-	-
Corteza pino	5.17	920	6	41	21	2
Turba rubia	0	705	11	0	8	5
T	5.42	11336	28	117	195	19
A20	22.1	13426	162	183	418	106
A40	24.0	4290	238	123	406	141
A60	36.7	16466	261	264	618	170
B20	15.4	16266	113	239	222	53
B40	19.8	19286	150	280	276	69
C20	29.5	22346	178	270	309	151
C40	27.6	22986	193	317	339	151
A40P20	26.6	17786	226	252	535	153
A40P40	28.9	16856	256	240	613	160
B40P20	15.9	17016	127	270	228	67
B40P40	19.8	17861	143	300	241	69
C40P20	29.5	22856	183	315	328	164
C40P40	28.8	22656	187	312	416	144



## Resultados y discusión

El **compost tipo A** fue más rico en elementos fertilizantes solubles comparado con los otros compost, pues presentó un contenido notablemente superior de la mayoría de nutrientes. Especialmente su concentración de fósforo fue considerable, por estar preparado de lodos de depuradora, cuyo contenido en detergentes es muy alto. El compost A fue también el que mayor cantidad de amonio y nitrato presentó (tablas 5.5 y 5.6), lo que se relaciona con su mayor CE. Su elevado contenido en amonio (por encima de 300 mg/l se considera inadecuado) podría producir toxicidad. Las mezclas A40 y A60 superaron los 300 mg/l. El contenido de zinc, especialmente el soluble en agua del compost A y sus mezclas fue superior a los otros dos compost (por su origen de lodos de depuradoras).

El **compost B** presentó cantidades superiores en sodio, dato que pudiera deberse a su origen RSU, y el uso de sal en el consumo doméstico.

El **compost C** destaca por su alto contenido en calcio, que repercute, además, en menores concentraciones de otros cationes como potasio, sodio y magnesio. Además presenta una concentración en hierro mayor a la del resto de compost.

En el sustrato testigo es de destacar el alto contenido en fósforo soluble, relacionado con su menor pH. Los demás macronutrientes poseen valores muy bajos en relación a los compost y demás sustratos.

En las mezclas los contenidos de nutrientes resultaron proporcionales a los de sus componentes.

En cuanto a metales pesados (tabla 5.4.), tanto los compost como los sustratos están cumpliendo las normas vigentes del BOE (BOE 131/ 2 de Junio 1998).



Tabla 5.5. Macronutrientes solubles en agua (mg/l de sustrato) en el muestreo inicial.

Tipo	N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Na
Compost A	577	15.2	935	644	187	1061	471
Compost B	247	3.70	722	250	106	392	706
Compost C	321	4.82	195	1015	125	693	235
Vermiculita	1	0.2	28	8	14	6	23
Corteza pino	2	1.53	6	3	0.107	3	8
Turba rubia	5	1.16	1	2	0	5	15
<b>T</b>	<b>4</b>	<b>57.1</b>	<b>35</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>28</b>	<b>26</b>
A20	73	17.3	203	158	51.7	330	125
A40	135	16.3	327	198	66.5	521	184
A60	271	15.9	632	321	109	780	298
B20	39	4.46	133	67	30.8	94	161
B40	125	5.49	392	178	76.3	256	419
C20	98	6.42	81	303	71.9	234	92
C40	98	6.13	91	310	69.9	274	96
A40P20	177	11.8	321	120	59.2	432	147
A40P40	175	16.2	425	311	132	857	221
B40P20	42	5.15	214	96	44.3	122	211
B40P40	81	4.84	352	135	68.7	196	346
C40P20	127	5.42	119	391	87.9	320	129
C40P40	120	5.57	98	359	73.5	290	105

Tabla 5.6. Macronutrientes solubles en CaCl<sub>2</sub>/DTPA (mg/l de sustrato) en el muestreo inicial.

Tipo	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Na
Compost A	974	65.2	1307	1050	446	1211	653
Compost B	4.50	14.8	931	368	396	346	749
Compost C	3.30	18.0	325	1497	215	622	237
Vermiculita	0.30	0.16	211	0	510	0.5	21
Corteza pino	0.25	6.60	66	0	27	0.405	14
Turba rubia	2.10	2.80	4	0	89	0.763	4
<b>T</b>	<b>35.1</b>	<b>84.6</b>	<b>197</b>	<b>0</b>	<b>291</b>	<b>37</b>	<b>28</b>
A20	177	91.0	266	1.5	232	240	109
A40	343	81.3	480	122	275	446	181
A60	610	65.6	785	240	342	720	315
B20	1.70	29.3	260	14	271	96.8	183
B40	2.10	35.4	501	11	351	218	392
C20	1.10	17.5	170	520	210	205	80
C40	0.725	18.6	186	734	205	218	96
A40P20	346	60.8	535	243	303	516	199
A40P40	510	74.3	534	183	308	620	199
B40P20	0.375	23.5	376	99	328	119	219
B40P40	0.60	24.9	433	78	299	153	298
C40P20	0.10	16.9	191	807	178	235	119
C40P40	0.40	17.9	196	694	199	296	113

Tabla 5.7. Micronutrientes solubles en agua (mg/l de sustrato) en el muestreo inicial.

Tipo	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Ni
Compost A	1.78	5.73	0.453	0.256	0.470	0.039
Compost B	1.84	3.79	0.313	0.035	0.148	0.052
Compost C	0.707	0.254	0.337	0.364	0.049	0.041
Vermiculita	0	4.72	0.010	0.049	0.038	0.002
Corteza pino	0.035	0	0	0.007	0	0
Turba rubia	0.030	0	0	0	0	0.001
<b>T</b>	<b>0.149</b>	<b>0.305</b>	<b>0.002</b>	<b>0.007</b>	<b>0</b>	<b>0.012</b>
A20	0.419	1.91	0.159	0.048	0.046	0
A40	0.613	3.19	0.262	0.050	0.174	0.016
A60	1.03	4.74	0.326	0.084	0.231	0.020
B20	0.321	1.20	0.096	0	0.008	0.005
B40	0.696	2.02	0.198	0	0.163	0.022
C20	0.189	3.78	0.136	0.385	0.070	0.009
C40	0.255	5.31	0.165	0.323	0.016	0.005
A40P20	0.543	2.31	0.153	0.038	0.149	0.013
A40P40	0.811	5.88	0.345	0.130	0.269	0.020
B40P20	0.503	2.54	0.106	0.002	0.010	0.007
B40P40	0.565	2.88	0.127	0.002	0.040	0.012
C40P20	0.315	2.82	0.142	0.431	0.033	0.004
C40P40	0.247	2.38	0.132	0.491	0.050	0.001

Tabla 5.8. Micronutrientes solubles en CaCl<sub>2</sub>/DTPA (mg/l de sustrato) en el muestreo inicial.

Tipo	B	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb
Compost A	3.63	45.0	8.53	13.2	58.4	9.75
Compost B	2.97	67.7	6.51	6.15	31.7	7.55
Compost C	1.04	25.5	6.63	14.0	29.9	10.9
Vermiculita	0	60.0	0.54	4.50	0.60	0.04
Corteza pino	0.023	1.88	0.099	1.49	0.727	0
Turba rubia	0.010	19.6	0.046	1.09	0.430	0.241
<b>T</b>	<b>0.297</b>	<b>21.5</b>	<b>1.14</b>	<b>6.62</b>	<b>1.79</b>	<b>0.490</b>
A20	0.776	34.6	1.50	6.64	18.9	3.22
A40	1.22	31.5	2.25	7.56	28.9	4.29
A60	1.87	29.1	3.85	9.57	39.9	5.89
B20	0.782	38.4	1.67	6.03	9.93	3.01
B40	1.25	38.5	2.76	5.69	17.9	4.55
C20	0.333	19.7	1.48	10.5	9.71	3.90
C40	0.413	20.8	2.70	12.6	15.2	5.69
A40P20	1.16	26.4	2.62	9.72	28.9	4.80
A40P40	1.34	30.3	3.07	9.31	37.3	5.49
B40P20	1.04	36.5	2.53	6.40	17.0	4.42
B40P40	0.989	33.8	2.40	6.02	15.4	3.92
C40P20	0.471	15.5	2.44	11.3	13.2	4.72
C40P40	0.455	14.0	3.01	12.3	16.0	5.65



## Resultados y discusión

En general, el contenido de nutrientes solubles en agua y  $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$  (CAT) en los compost y sustratos (tablas 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8), se muestra de acuerdo con los valores obtenidos para elementos totales (tablas 5.3 y 5.4).

### ➤ Evolución de los sustratos

Se tomaron muestras de sustrato de los mismos alvéolos de los que se extraían las plantas para la realización de evaluaciones de material vegetal. A continuación se muestra la evolución de algunos parámetros químicos:

Tabla 5.9. Evolución de pH y CE en los sustratos.

Sustrato	Evolución pH (1:5 vol)			Evolución de la CE (mS/cm)		
	Inicial	29-6-04	25-8-04	Inicial	29-6-04	25-8-04
T	6,12	7,67	7,30	0,14	0,51	0,35
A20	6,96	6,92	7,76	0,84	0,58	0,65
A40	7,1	7,35	7,68	1,38	0,54	0,79
A60	6,96	7,32	7,67	2,21	0,50	1,04
B20	6,98	7,50	7,24	0,52	0,51	0,65
B40	6,99	7,57	7,51	0,90	0,61	0,62
C20	7,23	7,63	7,62	0,67	0,57	0,57
C40	6,94	7,56	7,57	0,89	0,73	0,70
A40P20	7,03	7,74	7,53	1,39	0,42	0,83
A40P40	6,71	7,61	7,61	1,73	0,41	0,42
B40P20	7,27	7,53	7,49	0,59	0,74	0,67
B40P40	7,24	7,67	7,40	0,86	0,46	0,72
C40P20	6,95	7,62	7,46	0,93	0,51	0,70
C40P40	7,04	7,71	7,47	0,71	0,45	0,68

En la tabla 5.9. se observa como, de forma general, el **pH** de los sustratos aumenta, no obstante el incremento se hace más acusado en el caso del sustrato testigo (T), posiblemente porque parte de su acidez (protones cambiables) va siendo reemplazada por cationes como calcio, sodio, etc. del agua de riego.

En cuanto a **CE**, se observa claramente como la turba testigo presenta el menor valor desde su preparación (medida inicial). La evolución de la CE en todas las mezclas tiende a la disminución, consecuencia del lavado de sales por los riegos efectuados. Esta tendencia no es la seguida por el testigo, donde la CE aumenta, debido al incremento de su pH, que libera protones al medio, dejando su sitio a otros cationes que llegan del riego y, por tanto, aumentando la CE.

Tabla 5.10. Evolución de nitrato y amonio en los sustratos (mg/l de sustrato)

Sustrato	Evolución N-NH <sub>4</sub>			Evolución N-NO <sub>3</sub>		
	Inicial	29-6-04	25-8-04	Inicial	29-6-04	25-8-04
T	35,1	0,10	0.08	3,62	6,72	4.52
A20	177	0,22	0.18	73,2	7,73	5.45
A40	343	0,12	0.10	135	7,42	6.27
A60	610	0,12	0.12	272	6,28	10.5
B20	1,75	0,19	0.18	39,1	6,47	4.89
B40	2,10	0,11	0.05	125	7,12	8.30
C20	1,12	0,14	0.10	98,5	7,79	6.00
C40	0,725	0,16	0.10	98,7	7,84	6.09
A40P20	346	0,10	0.05	177	4,77	6.62
A40P40	510	0,11	0.07	175	4,82	3.02
B40P20	0,375	0,15	0.06	42,3	8,13	5.52
B40P40	0,60	0,10	0.10	81,2	6,00	3.78
C40P20	0,10	0,14	0.10	127	6,08	6.75
C40P40	0,40	0,12	0.06	121	5,15	6.17

Inicialmente las concentraciones de **amonio** más elevadas se observaron en los sustratos basados en compost A, seguidos del sustrato testigo debido al abonado mineral que posee. No obstante, esto sólo se dio en los análisis iniciales, pues posteriormente las concentraciones de amonio son prácticamente nulas en todos los sustratos, dada su rápida conversión a nitrato.

Según los límites establecidos por la normativa, la concentración de amonio debe encontrarse por debajo de 300 mg/l. Los sustratos A60 y A40P40 superan este valor de manera considerable, por lo que podría llegarse a causar toxicidad en la planta.

Las concentraciones de **nitrato** iniciales fueron más elevadas en el caso de los sustratos a base de compost A, seguidos de los de compost C. En los siguientes muestreos estas concentraciones disminuyeron considerablemente, debido al lavado por los riegos. Entre las muestras del 29-6-04 y 25-8-04 se observó una concentración aproximadamente constante, pues tras el fuerte lavado inicial, las pérdidas por lavado y los aumentos por mineralización de la materia orgánica de los compost parecen compensarse.

El sustrato testigo se comporta de manera distinta, aumentando la concentración de nitrato en el muestreo del 29-6-04, debido, posiblemente, al

## Resultados y discusión

fertilizante de liberación lenta que lleva añadido. No obstante, es previsible que en muestreos posteriores las concentraciones de nitrato en el testigo vayan disminuyendo, mientras que en el resto de sustratos con compost se estabilicen o aumenten, gracias a las reservas que la materia orgánica proporciona. Esta característica podría influir de manera favorable en el crecimiento de las plantas (apartado 5.1.2).

Tabla 5.11. Evolución de fósforo y potasio en los sustratos (mg/l de sustrato)

Sustrato	Evolución P (agua)			Evolución K (CAT)		
	Inicial	29-6-04	25-8-04	Inicial	29-6-04	25-8-04
T	57.1	0.731	0.44	197	129	44
A20	17.3	6.42	4.04	266	120	75
A40	16.3	19.0	6.67	480	155	60
A60	15.9	11.0	6.47	785	165	82
B20	4.46	1.32	1.29	260	117	39
B40	5.49	3.14	1.99	501	122	64
C20	6.42	4.37	3.47	170	145	57.7
C40	6.13	3.66	3.77	186	168	69
A40P20	11.8	8.36	6.46	535	162	119
A40P40	16.2	9.12	9.46	534	146	47
B40P20	5.15	1.95	3.39	376	147	56
B40P40	4.84	2.71	3.15	433	132	58
C40P20	5.42	5.34	4.85	191	188	86
C40P40	5.57	7.41	5.13	196	161	127

Inicialmente, la concentración de **fósforo** fue mucho mayor en el testigo con respecto al resto de sustratos, debido a los fertilizantes que éste incorpora y su menor pH, que permite que los fosfatos pueden mantenerse disueltos. Posteriormente esta concentración decae considerablemente, por el aumento de pH que sufre la turba testigo, dándose la precipitación de los fosfatos. En el resto de sustratos las concentraciones de fósforo disminuyen a medida que el pH aumenta, pero la disminución es bastante menos acentuada que en el T, manteniéndose en el tercer muestreo niveles de fósforo soluble significativas mayores que los del sustrato testigo.

En especial, los sustratos basados en compost A, presentaron una concentración de fósforo mayor en los tres muestreos, debido a la riqueza en este elemento en el compost tipo A.



El **potasio** se encontró inicialmente en mayor concentración en mezclas con compost A y B (A60, B40 y A40P40). En todos los sustratos se produjo un notable descenso en los muestreos siguientes debido al lavado, pero en general los sustratos con compost presentaron concentraciones de potasio del orden del doble de la encontrada en el sustrato testigo. Esto, posiblemente, sea debido a la mayor capacidad de intercambio catiónico de los sustratos con compost. Estas mayores concentraciones de potasio pueden garantizar el suministro a largo plazo de este nutriente.

Tabla 5.12. Evolución de calcio y magnesio en los sustratos (mg/l de sustrato)

Sustrato	Evolución Ca (agua)			Evolución Mg (CAT)		
	Inicial	29-6-04	25-8-04	Inicial	29-6-04	25-8-04
<b>T</b>	3	138	125	291	318	121
<b>A20</b>	158	187	373	232	284	285
<b>A40</b>	198	198	406	275	306	128
<b>A60</b>	321	174	566	342	294	153
<b>B20</b>	67	172	381	271	312	132
<b>B40</b>	178	215	260	351	338	199
<b>C20</b>	303	198	270	210	267	117
<b>C40</b>	310	293	387	205	311	124
<b>A40P20</b>	120	131	363	303	284	251
<b>A40P40</b>	311	131	156	308	267	74.4
<b>B40P20</b>	96	232	355	328	332	124
<b>B40P40</b>	135	150	360	299	308	120
<b>C40P20</b>	391	173	370	178	279	123
<b>C40P40</b>	359	147	285	199	253	270

Inicialmente el sustrato testigo presenta la menor concentración de **Ca**, mientras que las más elevadas se dan en los sustratos a base de compost C, fundamentalmente. La evolución de la concentración de calcio tiende al aumento en la mayoría de los casos, especialmente en el caso del sustrato testigo, que es el que presenta una menor concentración inicial. El aumento en las concentraciones de calcio puede ser debido a su aporte con el agua de riego.

La concentración de **Mg** en la mayoría de los sustratos evoluciona en la misma forma en la que lo hace el potasio, es decir, disminuyendo. En otros casos estas concentraciones se mantuvieron constantes.





5.1.2. Desarrollo de las plantas

➤ **Altura media de las plantas en cada muestreo**

En las tablas siguientes se muestra la altura media de las plantas de lentisco para los tres muestreos y en cada uno de los sustratos.

Tabla 5.13. Altura media de las plantas en la primera medición para cada tratamiento.

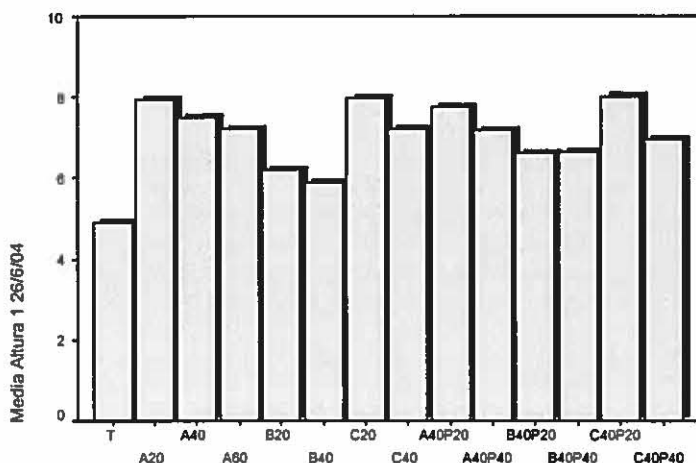
Altura 1 26-6-04 HSD de Tukey				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
T	45	4.90		
B40	44	5.88	5.88	
B20	48	6.19	6.19	6.19
B40P40	38		6.60	6.60
B40P20	44		6.66	6.66
C40P40	43		6.97	6.97
A60	47		7.20	7.20
C40	44		7.20	7.20
A40P40	46		7.20	7.20
A40	44		7.49	7.49
A40P20	46		7.76	7.76
A20	46			7.95
C40P20	46			7.98
C20	47			8.02
Sig.		.089	.111	.098

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 44.722.

b Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Figura 5.1. Representación gráfica de alturas según tratamiento en la primera medición.



En el primer muestreo, se observó que todos los tratamientos con compost presentaron alturas mayores al testigo, siendo únicamente los tratamientos B20 y B40 (aunque mayores que T), los únicos que no se diferenciaron significativamente de éste. Se observa, que, de manera general, los tratamientos cuyas plantas han tenido menor porte son los constituidos con compost B (menores alturas en los casos de la no adición de corteza de pino). Los tratamientos compuestos por compost A y C fueron los más satisfactorios. Estas diferencias se harán mayores en muestreos posteriores, como podrá verse en las siguientes tablas.

Tabla 5.14. Altura media de las plantas en la segunda medición para cada tratamiento.

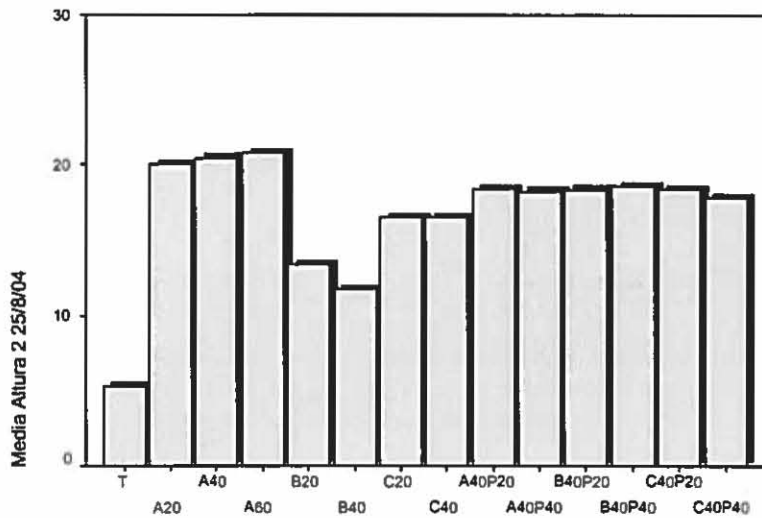
Altura 2 25-8-04		Subconjunto para alfa = .05			
Tratamiento	N	HSD de Tukey			
		1	2	3	4
T	45	5.3			
B40	43	11.8			
B20	46	13.4			
C40	44	16.5			
C20	47	16.5			
C40P40	46	17.8			
B40P20	45	18.3			
A40P20	48	18.4			
C40P20	43	18.4			
A40P40	46	18.4			
B40P40	35	18.6			
A20	40	20.0			
A40	43	20.5			
A60	45	20.8			
Sig.		1.000	.584	.077	.258

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 43,742.

b Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados

Figura 5.2. Representación gráfica de alturas según tratamiento en la segunda medición.



Dos meses después de las primeras medidas (**segundo muestreo**), el testigo apenas incrementó su tamaño con respecto al muestreo anterior, dándose un crecimiento inferior a 1 centímetro. Lo contrario ocurre con el resto de tratamientos, donde el crecimiento fue mucho más notable. De nuevo las mezclas B40 y B20 quedaron como las de menor crecimiento (después de T), aunque diferenciándose significativamente de él. No obstante, la incorporación de corteza de pino a la mezcla B40, hizo aumentar el tamaño de las plantas de manera considerable. Posiblemente, gracias al aumento de porosidad que este elemento proporciona, que contrarresta el alto porcentaje de finos del compost B (tabla 5.1.).

Cabe destacar a los tratamientos constituidos por compost A (en cualquiera de las tres proporciones) como los más satisfactorios en lo que a crecimiento vegetal se refiere, posiblemente por una mayor disponibilidad de nitrato. Contrario a lo encontrado con el compost B, puede observarse un retroceso en alturas al aplicar corteza de pino a estas mezclas con compost A.

## Resultados y discusión

En el tercer muestreo se mantiene la tendencia de muestreos anteriores, acentuándose las diferencias entre los distintos tratamientos. Las mezclas con mayores alturas son las basadas en compost A (con mejores resultados sin corteza de pino) y compost B con corteza de pino en cualquiera de las dos proporciones (figura 3). Las plantas de tamaños menores fueron las correspondientes al sustrato testigo, seguidas de las de compost B sin corteza de pino, debido a una menor aireación de las raíces de estas plantas.

A continuación se muestran algunas fotografías donde pueden apreciarse las diferencias comentadas entre los distintos tratamientos.

Figura 4. Comparación de alturas en los tratamientos T y B40 en el tercer muestreo.



Figura 5. Comparación de alturas en los sustratos T y B40P40 en el tercer muestreo.



Figura 6. Comparación de alturas en los tratamientos T y B40P20.

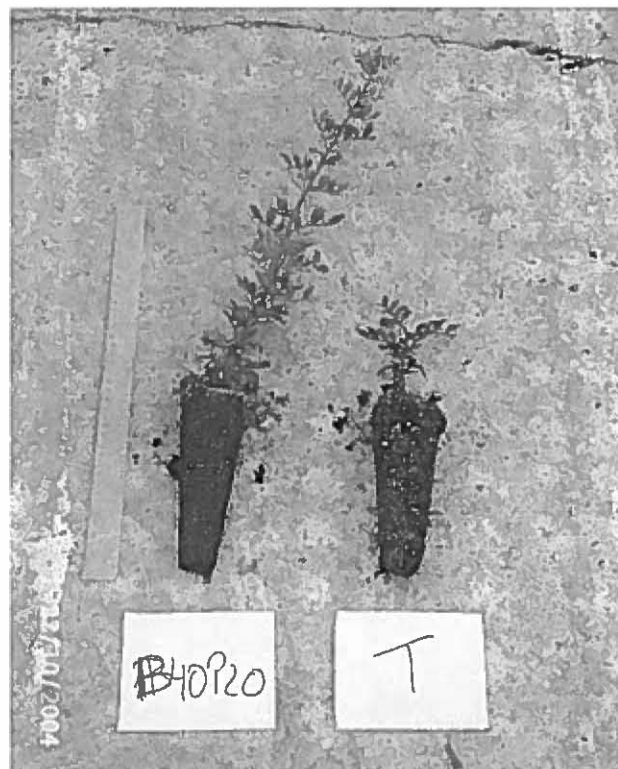
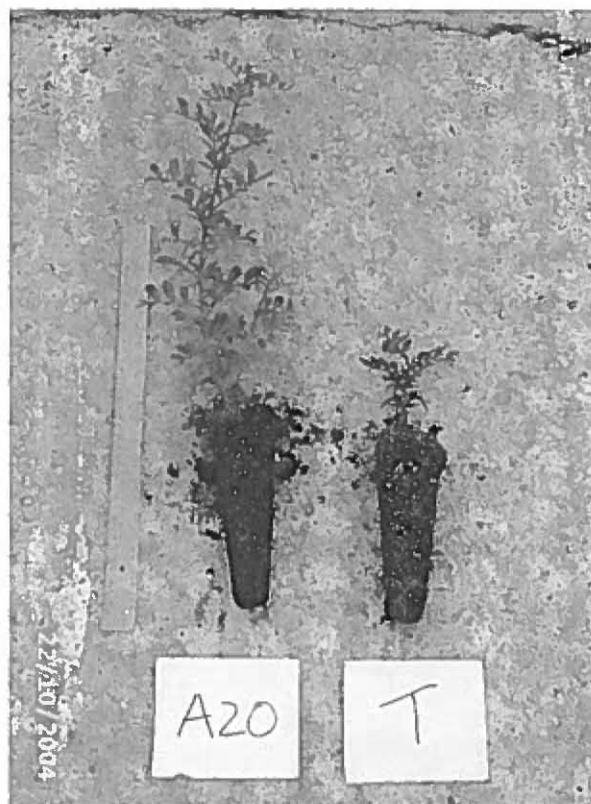


Figura 7. Comparación de alturas en los tratamientos T y A20.



En las tablas 5.16 y 5.17 se muestran las diferencias de crecimiento (incrementos de altura entre muestreos), para cada uno de los tratamientos. Las tendencias observadas coinciden con los resultados obtenidos en las tablas anteriores (tablas 5.13, 5.14 y 5.15)



Tabla 5.15. Altura media de las plantas en la tercera medición para cada tratamiento.

Altura 3 5/10/04  
DHS de Tukey

Tratamiento	N	Subconjunto						
		1	2	3	4	5	6	7
T	45	5.2						
B40	42	15.7						
B20	44	18.0 18.0						
C20	47	18.8 18.8 18.8						
C40	44	21.8 21.8 21.8						
C40P20	45	22.6 22.6 22.6						
C40P40	44	23.6 23.6 23.6						
A40P20	46	23.9 23.9 23.9						
A20	43	26.2 26.2						
A40P40	47	26.5 26.5						
B40P20	45	26.7 26.7						
B40P40	36	26.9 26.9						
A60	46	27.3						
A40	43	27.7						
Significación		1.000	.505	.171	.133	.919	.050	.078

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III el término error es la Media cuadrática (Error) = 35.918.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 43.890

b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c Alfa = .05.

Figura 5.3. Representación gráfica de alturas según tratamiento en la tercera medición.

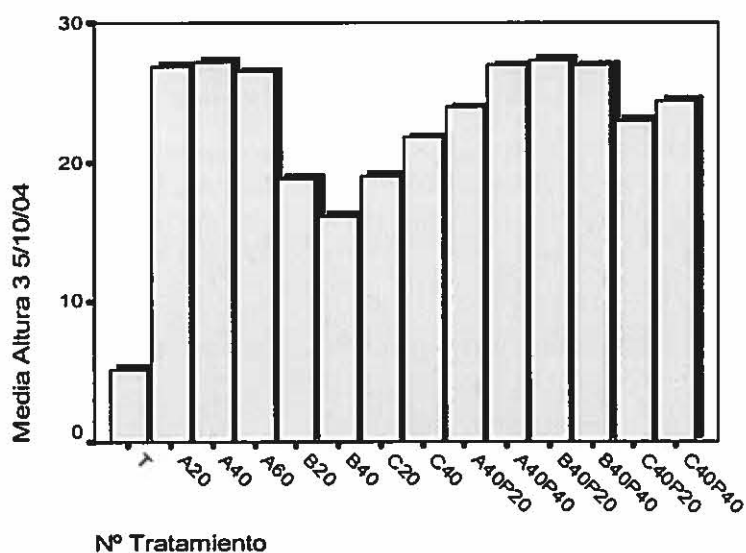




Tabla 5.16. Crecimiento medio de las plantas entre el primer y segundo muestreo.

DHS de Tukey<sup>a,b,c</sup>

Nº Tratamiento	N	Subconjunto							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T	44	.5							
B40	42		6.1						
B20	44		7.6	7.8					
C20	47		8.3	8.3	8.3				
C40	44			9.4	9.4	9.4			
C40P40	44			10.0	10.0	10.0	10.0		
C40P20	45				10.1	10.1	10.1		
A40P20	46				10.6	10.6	10.6	10.6	
A40P40	47					10.9	10.9	10.9	10.9
B40P40	36					11.7	11.7	11.7	11.7
B40P20	45					11.8	11.8	11.8	11.8
A20	43						12.4	12.4	12.4
A40	43							13.0	13.0
A60	46								13.2
Significación		1.000	.154	.064	.123	.078	.080	.078	.122

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 12.203.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 43.821

b. Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c. Alfa = .05.

Tabla 5.17. Crecimiento medio de las plantas entre el segundo y tercer muestreo.

DHS de Tukey<sup>a,b,c</sup>

Nº Tratamiento	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
T	45	.2					
C20	47	2.7	2.7				
B40	41		3.8	3.8			
B20	43		4.7	4.7	4.7		
C40P20	45		4.7	4.7	4.7		
C40	44			5.3	5.3	5.3	
A40P20	46			5.7	5.7	5.7	
A20	42			6.2	6.2	6.2	6.2
C40P40	43				6.6	6.6	6.6
A60	45				7.1	7.1	7.1
A40	42					7.3	7.3
B40P20	45						8.3
A40P40	47						8.5
B40P40	36						8.6
Significación		.052	.306	.097	.091	.311	.100

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 12.404.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 43.450

b. Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c. Alfa = .05.



➤ **Porcentaje de germinación de las plantas.**

Tabla 5.18. Porcentaje de germinación en cada tratamiento

HSD de Tukey			
Tratamiento	N	<i>Subconjunto para alfa = .05</i>	
		1	2
A60	3	72.5	
A40P20	4	63.1	63.1
A20	3	55	55
C20	3	53.3	53.3
A40	4	50.6	50.6
A40P40	4	46.9	46.9
C40P20	4	43.1	43.1
B40P20	4	42.5	42.5
C40P40	4	41.2	41.2
T	4	40	40
B20	4	39.4	39.4
C40	4	37.5	37.5
B40	2	36.2	36.2
B40P40	4		26.2
<i>Sig.</i>		<i>.120</i>	<i>.106</i>

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.500.

b Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

En la tabla 5.18. se muestra el porcentaje de **germinación** de las semillas en cada uno de los tratamientos. Hay que tener en cuenta que en todos los casos los porcentajes fueron menores de los que normalmente se obtienen en vivero, debido a la ausencia de tratamiento en las semillas, consistente en la aplicación de agua caliente durante 48 horas.

El mayor porcentaje de germinación se observó en los tratamientos basados en compost A, dándose el mejor resultado en el caso de A60, donde se obtuvo un porcentaje de germinación del 72.5%. La germinación de C40, composts C con pino y todos los sustratos a base de compost B fue inferior al 45%, destacando el 26.2% que se obtuvo para el tratamiento B40P40, donde, a pesar de los pocos individuos, sus tamaños fueron superiores a los de la mayoría de plantas.

Figura 8. Comparación de plantas germinadas en los sustratos T (testigo) y A60.



Según se observa en la fotografía correspondiente al muestreo primero, la germinación de las plantas en el sustrato testigo sufrieron un retraso considerable con respecto a las del resto de tratamientos.

➤ **Evolución de la biomasa vegetal**

Tabla 5.19. Evolución del peso seco parte aérea y raíz junto con la altura para cada tratamiento y muestreo (PA= peso seco parte aérea, PR= peso seco raíz, H= altura de las plantas).

Tratamiento	PA 1	PR 1	H1	PA 2	PR 2	H2	PA 3	PR 3	H3
T	1.51	0.42	4.90	2.26	0.34	5.30	3.62	0.26	5.20
A20	0.82	0.14	7.95	4.32	1.04	20.0	6.50	1.17	26.2
A40	0.92	0.09	7.49	3.89	0.80	20.5	6.90	1.06	27.7
A60	0.765	0.09	7.20	3.85	0.67	20.8	7.15	1.16	27.3
B20	0.56	0.08	6.19	2.18	0.69	13.4	5.13	1.04	18
B40	0.595	0.10	5.88	1.51	0.50	11.8	2.91	0.64	15.7
C20	0.74	0.13	8.02	2.34	0.82	16.5	5.97	1.48	18.8
C40	1.16	0.22	7.20	2.79	0.53	16.5	5.58	1.07	21.8
A40P20	1.08	0.15	7.76	3.34	0.63	18.4	7.14	0.95	23.9
A40P40	0.625	0.10	7.20	3.73	0.38	18.4	4.98	0.93	26.5
B40P20	0.805	0.20	6.66	2.97	0.99	18.3	6.64	1.00	26.7
B40P40	0.895	0.19	6.60	2.43	0.70	18.6	5.02	1.81	26.9
C40P20	0.97	0.18	7.98	2.67	0.95	18.4	4.30	1.09	22.6
C40P40	0.67	0.09	6.97	3.16	0.82	17.8	5.35	1.11	23.6



Inicialmente las plantas correspondientes al sustrato T presentaron la mayor biomasa, tanto en su parte aérea como en la raíz. Ésto puede deberse a la mayor disponibilidad de nutrientes por estar fertilizado el sustrato T. Posteriormente los valores del sustrato testigo, fueron muy inferiores al resto de tratamientos, observándose un incremento muy reducido de peso en la parte aérea y prácticamente sin desarrollo en la parte radicular (en la tabla disminuye ligeramente por diferencias en los muestreos). La ausencia de crecimiento, tanto en altura como en biomasa, podría deberse al lavado de nutrientes que se observa a medida que transcurre el experimento (tablas 5.10, 5.11 y 5.12).

En cambio, en todos los tratamientos con compost se observaron incrementos significativos de peso al transcurrir los muestreos.

Al igual que se comentó en tablas anteriores sobre alturas, el tratamiento B40 de nuevo fue el que presentó un menor aumento de biomasa. Los tratamientos A20, A40, A60 y B40P40 presentaron, en el muestreo tercero, una mayor biomasa aérea y radicular, correspondiendo, de nuevo, con los datos obtenidos en las tablas de altura (tablas 5.13, 5.14 y 5.15).

➤ **Evolución del contenido de nutrientes en la parte aérea del material vegetal**

**Tabla 5.20.** Porcentaje de macronutrientes, en cada uno de los muestreos, en las hojas en mg/Kg de muestra seca (M1= primer muestreo y M2= segundo muestreo).

Tratamiento	N-Kjeldahl		P		K		Ca		Mg		Na	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
T	1.85	1.58	0.079	0.035	0.97	0.88	0.722	0.753	0.362	0.272	0.343	0.212
A20	2.42	1.86	0.322	0.123	1.32	1.05	1.10	0.839	0.28	0.193	0.318	0.233
A40	2.33	1.74	0.252	0.132	1.41	0.96	1.20	0.671	0.243	0.155	0.306	0.208
A60	2.41	1.78	0.239	0.132	1.33	0.93	1.14	0.788	0.235	0.181	0.258	0.196
B20	2.50	1.93	0.130	0.085	1.05	0.88	1.02	0.776	0.353	0.214	0.552	0.225
B40	2.05	1.67	0.115	0.071	0.97	1.25	0.959	0.889	0.332	0.233	0.396	0.274
C20	2.38	1.76	0.165	0.095	1.20	1.09	1.08	0.811	0.244	0.179	0.325	0.233
C40	2.07	1.79	0.171	0.078	1.17	1.22	0.981	0.885	0.252	0.205	0.304	0.241
A40P20	-	1.96	-	0.171	-	1.11	-	0.810	-	0.198	-	0.187
A40P40	2.28	1.94	0.264	0.163	1.32	1.00	1.09	0.986	0.233	0.212	0.258	0.292
B40P20	2.2	1.89	0.181	0.161	1.22	1.04	0.928	0.791	0.265	0.213	0.247	0.211
B40P40	2.05	2.02	0.105	0.145	1.01	1.02	0.99	0.844	0.330	0.212	0.38	0.277
C40P20	2.07	1.84	0.138	0.096	1.09	1.05	1.03	0.866	0.257	0.217	0.313	0.263
C40P40	2.02	1.77	0.182	0.085	1.39	0.99	1.29	0.754	0.284	0.179	0.328	0.202

El contenido foliar de **nitrógeno** en el primer muestreo presentó los valores más bajos en el sustrato testigo, al que correspondieron las plantas con menor crecimiento. Los valores obtenidos en las mezclas con compost fueron notablemente superiores, destacando porcentajes mayores en los sustratos basados en compost A, que fueron las plantas que presentaron mayores alturas (tabla 5.13).

En el segundo muestreo el contenido de nitrógeno en el testigo siguió siendo inferior. Los tratamientos con compost disminuyeron con respecto al primer muestreo debido al mayor crecimiento de estas plantas. En el segundo muestreo el mayor contenido correspondió al tratamiento B40P40, cuyo crecimiento también fue el mayor (tabla 5.16).

En el **fósforo**, la tendencia seguida fue muy similar a la del nitrógeno, obteniéndose los mayores valores en las plantas de tratamientos basados en compost A.

## Resultados y discusión

El **potasio** se encontró en baja concentración para las plantas testigo, presentando el resto valores algo más homogéneos entre sí.

Aparecieron mayores cantidades de **magnesio** en las plantas testigo, debido a su menor porte, teniendo en cuenta que la concentración inicial de este elemento era muy similar para todos los sustratos (tabla 5.5).

Inicialmente la concentración de **sodio** fue mayor en plantas basadas en compost B, relacionado con una mayor cantidad de este elemento en el sustrato. En el segundo muestreo las concentraciones son inferiores, teniendo de nuevo correspondencia con el menor valor en los sustratos debido a un lavado de sales.

En general, el contenido de nutrientes en el segundo muestreo disminuyó con respecto la primero, por un lado debido al lavado de sales (en todos los cationes excepto el calcio), y por otro, debido al crecimiento que las plantas efectuaron, disminuyendo así su concentración interior de elementos.

Tabla 5.21. Evolución del contenido de micronutrientes en cada muestreo y tratamiento (mg/Kg).

Tratamiento	B		Fe		Cu		Mn		Zn		Pb	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
T	15.7	37.1	50.6	66.2	2.66	4.39	149	133	10.2	9.76	0	0
A20	15.7	36.5	59.6	47.8	5.84	0.874	27.7	9.54	13.9	9.21	0	0
A40	16.7	32.3	68.5	44.4	1.66	1.35	18.7	7.79	13.7	9.69	0	0
A60	16.7	40.1	39.0	47.6	1.88	2.49	14.9	8.71	12.4	9.91	0.22	0.03
B20	16.1	32.2	47.1	46.2	4.27	1.57	15.8	11.1	8.31	9.38	0	0
B40	17.3	43.1	63.6	52.0	6.09	1.37	11.3	9.93	10.2	7.93	0	0
C20	15.1	31.8	40.7	41.7	2.75	1.94	25.3	17.5	8.81	8.49	0	0.03
C40	19.4	37	60.0	54.1	12.9	1.96	29.4	21.7	15.4	7.37	0	0.85
A40P20	-	40.3	-	40.5	-	2.07	-	11.7	-	12.2		0
A40P40	17	41.1	61.7	54.9	14.4	1.41	17.4	9.2	15.6	1.07	0	0.72
B40P20	21.1	42.8	35.7	44.7	4.52	5.19	12.9	8.38	16.1	10.9	0	0
B40P40	21.8	33.7	49.1	56.3	3.04	5.56	13.6	8.99	11.1	13.8	0.189	0
C40P20	18.3	45.1	137	53.7	26.1	1.74	31.7	19.9	12.0	12.3	0	0.24
C40P40	15.7	34.9	88.1	48.5	22.9	1.50	33.6	17.2	13.1	8.64	0	0.27

En la mayoría de los casos, las concentraciones de **hierro** se mantuvieron en un intervalo normal (70-180 mg/Kg).

## Resultados y discusión

El contenido de **manganeso** en las plantas del tratamiento T, fue mayor al de resto de sustratos, debido a un menor pH en la turba testigo, facilitando la absorción de este elemento por la planta (también el manganeso soluble en agua en este sustrato era mayor (tabla 5.7).

En el primer muestreo se observó que el contenido de **zinc** en algunos de los tratamientos fue mayor que en el testigo, sin embargo en el segundo muestreo los resultados fueron muy similares para todos los casos.

Para otros micronutrientes y metales pesados (en la tabla se muestra el plomo), las diferencias entre tratamientos no fueron significativas, y en el caso de los metales pesados (Cd, Cr, Ni, Co, Pb), los valores encontrados estuvieron por debajo del límite de detección del instrumento utilizado. Por lo tanto, no se ha dado transferencia de metales pesados desde los compost a los tejidos vegetales.

## 5.2. ENSAYO DE LIXIVIADOS

### 5.2.1. Evolución de pH y CE en lixiviados

Tabla 5.22. Evolución pH y CE en las aguas lixiviadas recogidas para cada tratamiento.

Sustrato	Evolución pH (1:5 vol)					Evolución CE (mS/cm)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>T</b>	-	5,77	5,96	6,03	5,41	-	1,20	0,76	0,68	0,74
<b>A20</b>	6,64	5,95	5,97	6,08	6,32	3,90	5,07	3,03	2,11	1,97
<b>A40</b>	7,02	5,85	6,18	6,32	6,48	6,31	9,78	5,85	3,55	2,58
<b>A60</b>	6,89	6,39	6,51	6,62	6,74	10,9	10,2	5,87	4,43	3,57
<b>B20</b>	6,75	6,63	6,84	7,05	7,17	2,08	2,45	1,54	1,00	0,81
<b>B40</b>	7,01	6,94	6,96	7,15	7,26	3,68	3,45	2,96	1,90	2,22
<b>C20</b>	6,88	6,63	6,80	6,93	7,00	1,31	1,54	1,48	1,24	0,97
<b>C40</b>	7,25	6,83	6,84	6,95	6,99	1,85	2,42	1,90	1,85	1,22
<b>A40P20</b>	6,81	6,19	6,42	6,67	6,78	5,00	7,89	4,18	2,59	1,43
<b>A40P40</b>	6,73	6,20	6,40	6,64	6,78	5,82	7,34	4,27	2,67	1,66
<b>B40P20</b>	7,11	7,03	7,25	7,48	7,44	1,36	2,26	2,03	1,36	1,25
<b>B40P40</b>	7,02	6,84	7,27	7,55	7,71	2,21	4,23	2,79	1,38	0,86
<b>C40P20</b>	6,94	6,82	7,12	7,29	7,37	1,61	2,38	1,93	1,53	0,72
<b>C40P40</b>	6,93	6,86	7,13	7,26	7,34	1,41	2,12	1,47	1,27	0,61



## Resultados y discusión

Los lixiviados recogidos de las bandejas para cada tratamiento, reflejan el **pH** más bajo en el sustrato testigo. Prácticamente en todos los casos el pH sufrió un leve aumento, exceptuando los tratamientos a base de compost A cuyo pH disminuyó ligeramente.

La menor **CE** se encontró también en el sustrato testigo, correspondiendo los mayores valores a los sustratos con compost A. Durante el desarrollo del ensayo la CE disminuyó en general, debido al lixiviado de sales por el riego.

Las diferencias de lo observado en este ensayo frente a lo comentado anteriormente en el ensayo en vivero son debidas a la desigual calidad del agua utilizada para el riego (en el ensayo de vivero agua de pozo, en este ensayo agua destilada).

### 5.2.2. Evolución de la cantidad de amonio y nitrato

Tabla 5.23. Evolución acumulada de la cantidad de amonio y nitrato en las aguas lixiviadas para cada tratamiento.

Sustrato	Evolución N-NH <sub>4</sub> (mg)					Evolución NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg)				
	Día 1	Día 18	Día 34	Día 46	Día 95	Día 1	Día 18	Día 34	Día 46	Día 95
<b>T</b>	0,240	4,71	7,74	11,0	12,3	0,059	1,13	1,93	4,83	12
<b>A20</b>	2,98	6,8	7,81	7,95	7,97	3,19	49,1	80,8	102	120
<b>A40</b>	6,34	8,28	8,56	8,62	8,65	4,80	146	219	253	280
<b>A60</b>	18,6	20,8	21,1	21,2	21,2	17,1	211	299	357	391
<b>B20</b>	0,076	0,108	0,184	0,199	0,216	3,09	14,6	24,0	28,8	30
<b>B40</b>	0,066	0,083	0,155	0,177	0,192	4,90	20,9	38,7	48,7	55
<b>C20</b>	0,031	0,072	0,136	0,148	0,156	4,02	17,6	29,3	37,8	44
<b>C40</b>	0,032	0,067	0,141	0,159	0,171	5,02	19,7	34,3	47,7	54,8
<b>A40P20</b>	9,05	12,1	12,4	12,5	12,5	10,3	158	207	233	243
<b>A40P40</b>	16,6	21,5	21,9	22,0	22,0	13,9	157	224	257	273
<b>B40P20</b>	0,038	0,095	0,19	0,224	0,261	1,58	7,56	13,8	17,9	24,8
<b>B40P40</b>	0,088	0,189	0,281	0,316	0,343	3,68	17,9	25,9	28,1	31
<b>C40P20</b>	0,053	0,085	0,158	0,175	0,187	7,23	24,7	40,0	49,9	53
<b>C40P40</b>	0,014	0,041	0,119	0,14	0,152	6,02	17,7	27,0	33,7	36

Las cantidades mayores de **amonio** se encontraron en el sustrato testigo y en los compost A. En el testigo debido al fertilizante mineral incorporado, mientras que el sustrato de compost A ya presentaba valores significativos inicialmente (tabla 5.4). En el resto de mezclas, los valores de amonio detectados fueron insignificantes.

La cantidad liberada de **nitrato** es mucho menor en el testigo con respecto al resto de sustratos. El fertilizante de liberación lenta incorporado, no parece suficiente para cubrir las necesidades para el desarrollo de las plantas testigo, a tenor del crecimiento observado en este sustrato (tablas 5.13, 5.14 y 5.15) y a la menor concentración de nitrógeno foliar y en raíz.

El compost A en todas sus mezclas comenzó rápidamente a liberar nitrato, observándose ya desde el primer muestreo un aumento importante (mayores cantidades liberadas). Esto explica el mejor crecimiento de las plantas en estos tratamientos. No se observa que en las mezclas A40 con corteza de pino las cantidades de nitrato liberadas sean menores que sin pino, lo que podría haber ocurrido por la elevada relación C/N de la corteza de pino.

Las cantidades de nitrato liberadas por las mezclas de compost B, fueron las menores de los tres compost. Inicialmente estas cantidades podrían no haber sido suficientes para satisfacer el crecimiento de la planta, situación que explica un menor crecimiento en estos casos (tabla 5.15). A medida que avanzó el proceso de mineralización las cantidades de nitrato fueron aumentando hasta valores superiores a 30 mg. A la vista del crecimiento registrado en las mezclas B40P20 y B40P40 en el muestreo tercero, se debe suponer que la liberación de nitrógeno en los últimos momentos del ensayo de mineralización, debió ser suficiente para cubrir las necesidades de la planta.

Las cantidades de nitrato liberadas por las mezclas de compost C fueron del mismo orden que en el caso el compost B.

En las siguientes figuras se observa gráficamente la tendencia en la evolución de nitrato para cada tratamiento.



## Resultados y discusión

Figura 5.9. Evolución de la cantidad de nitrato en los tratamientos A (todos los basados en compost A) y T (testigo).

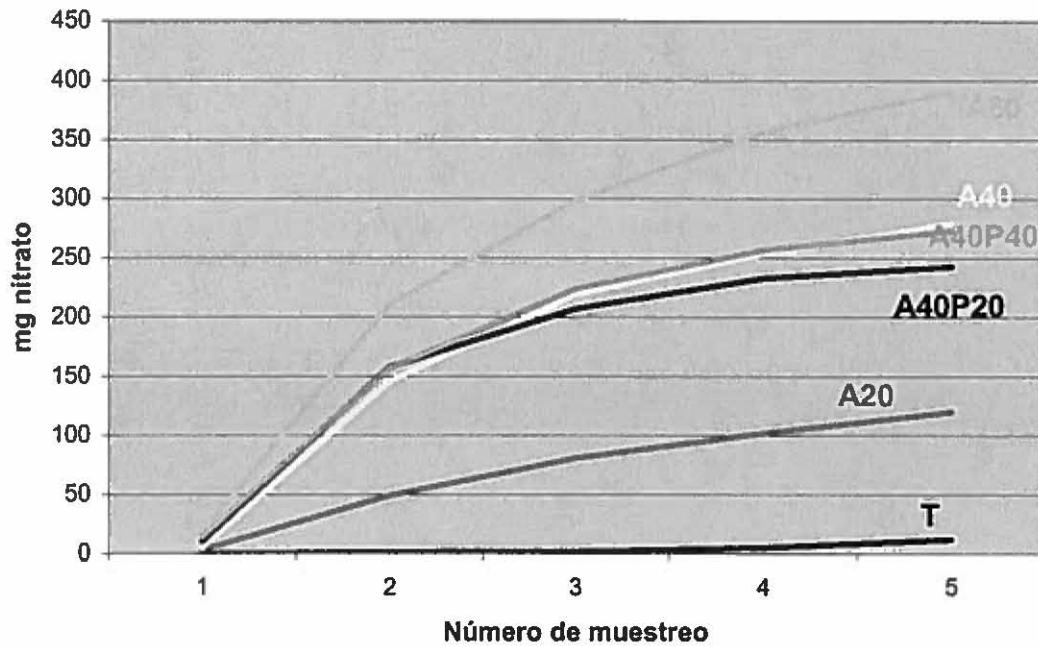
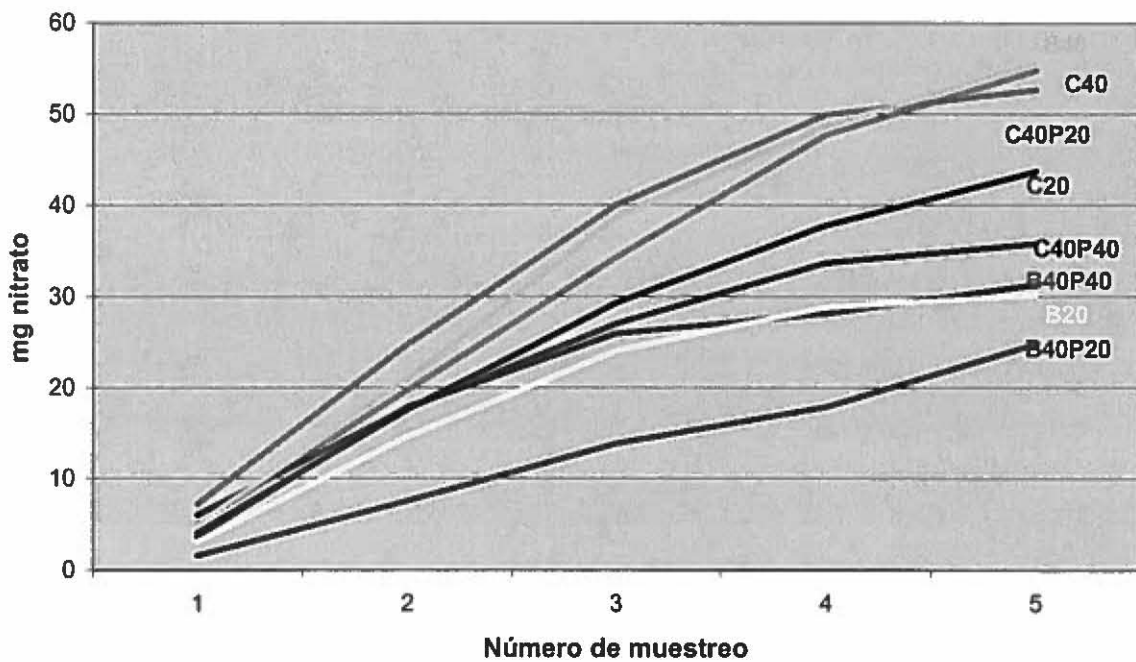


Figura 5.10. Evolución de la cantidad de nitrato en los tratamientos basados en compost B y C





## 6. CONCLUSIONES

- Las plantas de lentisco crecieron más en los sustratos basados en compost, mientras que el desarrollo del testigo fue significativamente muy inferior.
- Los mejores sustratos fueron las mezclas de compost A con pino y las B40 con pino.
- Las plantas de mayor porte se obtuvieron en los tratamientos A40, A60, B40P40 y B40P20.
- Los tratamientos a base de compost B sin pino fueron los de menor crecimiento con respecto al resto de compost, destacando por su buen crecimiento estas mismas mezclas con pino.
- Los sustratos basados en compost no afectaron negativamente a la germinación de la semilla.
- Los sustratos con compost mostraron una capacidad fertilizante superior al sustrato testigo, a pesar del abonado corrector que éste llevaba incorporado. Esto se manifestó en el estado nutricional de las plantas.
- No se observó acumulación de metales pesados en los tejidos vegetales.
- En el ensayo de lixiviación se observó una rápida mineralización del nitrógeno de los compost más intensa en el caso de los sustratos basados en compost A.
- El crecimiento vegetal se relacionó en gran medida con la capacidad de suministro de nitrógeno de los compost.
- Los resultados muestran que es posible sustituir hasta un 80% de turba en los sustratos de vivero forestal, confiriendo, además, mejor calidad a las plantas de lentisco.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abad M., Noguera P., Carbonell S., Burés S., 1998.** Resultados de la acción especial CICYT "Elaboración de un inventario de sustratos y materiales adecuados para ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España". Actas de Horticultura 23, 45-61.
- Ansorena Miner J., 1994.** Sustratos: Propiedades y Caracterización. Mundi-Prensa, Madrid, 172 pp.
- Bugbee J. G., 2002.** Growth of ornamental plants in container media amended with biosolids compost. Compost Science & Utilization, Vol. 10, No.2, 92-98
- Burbano O.H., 1989.** El Suelo: Una visión sobre sus componentes bioorgánicos, Universidad de Nariño, Colombia, 447 pp.
- Burés S., 1997.** Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 342 pp.
- Ceballos L., Ruiz J., Ceballos M., Ruiz J., 2001.** Árboles y arbustos de la España Peninsular, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Mundi Prensa. Madrid.
- Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, (2000).** Medio Ambiente en Andalucía. Informe 1999. ISBN 84-87294-91-X.
- López G.G., 2001.** Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares: Tomo I. Mundi Prensa, Madrid.
- López R., Durán C., Murillo J.M., Cabrera F., 1998.** Geranium's response to compost based substrates. Acta Horticulturae 469, 255-262..



## **Bibliografía**

- López R., Fábregas M., Sancho F., Madrid F., 2002.** Compost of biosolids-yard trimmings as pot substrate. Int. Symp. Composting and Compost Utilization, Columbus, Ohio, EEUU (en preparación).
- Madrid F., Murillo J.M., López R., Cabrera F., 2000.** Use of Urea to Correct Immature Urban Compost for Agricultural Purposes. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31, 2635-2649.
- Martínez Farré F.X, Burés S., 1998.** Nueva Normativa Europea y Española sobre sustratos y enmiendas. Actas de Horticultura 23, 21-42.
- Martínez F. F., 2003.** Experiencias de revegetación en áreas degradadas en condiciones Mediterráneas semiáridas. Curso alternativas para la planificación y manejo del suelo en condiciones de aridez climática. CEMACAM, Torreguil.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación de España., 1986.** Métodos oficiales de análisis. Vol. II.
- Oficina Life del Compost., 2003.** Dale vida a tu tierra reciclando la materia orgánica, día verde 3 de junio de 2003. Utilización del compost urbano en viveros y paisajismo. [www.compostandalucia.net](http://www.compostandalucia.net).
- Ortega M.C., Ordovás J., Carmona E., Aguado M.T., Moreno M.T., 1998.** El nitrógeno en la obtención y manejo de un sustrato de origen vegetal. Actas de Horticultura 23, 65-78.
- Pinamonti F., Stringari G., Zorzi G., 1997.** Use of Compost in Soilless Cultivation. Compost Science and Utilization 5, 38-46.
- Raviv M., 1998.** Horticultural uses of composted material. Acta Horticulturae 469, 225-234.
- Riviere L.M., Caron J., 2001.** Acta Horticulturae, 548, 29-42.



## **Bibliografía**

---

**Rosua, J.L., Lopez, L., Martín, L.C., Serrano, F., Sanchez, A., 2001.** Procedencias de las Especies Vegetales Autóctonas de Andalucía Utilizadas en Restauración de la Cubierta Vegetal. Ed. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Tomo I. 240.

**Tanji K.K., 1982.** Modeling of the Soil Nitrogen Cycle. En Nitrogen in agricultural soils, ed. Stevenson F.J. Cap. 19. Agronomy nº 22. ASA. Madison. EEUU.

**Terry R.E.;Nelson D.W.y Sommers L.E 1979.** Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45.