

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**  
**DEPARTAMENTO CONSTRUCCIÓN Y AGRONOMÍA**  
**ÁREA PRODUCCIÓN VEGETAL**



**VNiVERSiDAD**  
**DSALAMANCA**

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS APÍCOLAS Y**  
**ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA SU**  
**UTILIZACIÓN EN PRODUCCIÓN VEGETAL**

**M. ÁNGELES GÓMEZ SÁNCHEZ**

TESIS DOCTORAL  
Salamanca 2011



**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**  
**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS APÍCOLAS Y**  
**ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA SU**  
**UTILIZACIÓN EN PRODUCCIÓN VEGETAL**

Tesis Doctoral presentada por  
la Licenciada en Biología **María**  
**Ángeles Gómez Sánchez** para  
optar al grado de Doctor por la  
Universidad de Salamanca.

Salamanca, 21 de febrero de 2011





# VNiVERSiDAD D SALAMANCA

**Dra. Dña. REMEDIOS MORALES CORTS**, Profesora Titular de Universidad de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales de la Universidad de Salamanca, autoriza la presentación de la Tesis Doctoral **“Caracterización de residuos apícolas y análisis de estrategias para su utilización en producción vegetal”**, realizada bajo su dirección por la Licenciada en Biología **Dña. M. Ángeles Gómez Sánchez**.

En Salamanca, a 14 de febrero de 2011

LA DIRECTORA,

Fdo.: Dña. Remedios Morales Corts



## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi Directora de Tesis Remedios Morales por su apoyo constante en cada uno de los pasos que me han conducido a realizar este trabajo, sus oportunos consejos y sobre todo, su amistad.*

*Quiero agradecer también a Pilar, Maribel y José Antonio profesores del Departamento de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales su ayuda inestimable en la parte de Caracterización del carozo.*

*A la Escuela de Capacitación Agraria por cederme sus instalaciones y medios para los Ensayos de Producción, en especial a Juan y José Antonio, cuya colaboración ha sido fundamental en la realización de este trabajo.*

*Al Personal de Administración y Servicios de la Facultad por su amabilidad y disposición a facilitarme las cosas en tantas ocasiones.*

*También quiero dar las gracias a mis compañeros más cercanos: Miguel Ángel, Alberto, Rodrigo, Carmelo, Soledad, Nilda por los momentos compartidos con café o sin él.*





*A Jose, Óscar y Luna por robaros  
parte del tiempo que os correspondía*



# ÍNDICE

---

## A

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
---------------------	----------

---

## B

<b>OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO</b>	<b>7</b>
1. OBJETIVOS	9
2. PLAN DE TRABAJO	10

---

## C

<b>CARACTERIZACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
I. 1. CAROZO	17
I. 2. RESIDUOS ORGÁNICOS	23
I. 3. COMPOSTAJE	27
I. 4. SUSTRATOS	33
I. 4. 1. DEFINICIÓN Y GENERALIDADES	33
I. 4. 2. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS	35
I. 4. 2. 1. Propiedades físicas	35
I. 4. 2. 2. Propiedades químicas	38
I. 4. 2. 3. Propiedades biológicas	40
I. 4. 3. UTILIZACIÓN DE SUSTRATOS EN SEMILLEROS DE PLANTELES HORTÍCOLAS	41
I. 4. 4. UTILIZACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTA ORNAMENTAL	44
I. 5. FERTILIZANTES ORGÁNICOS	47
I. 6. FITOTOXICIDAD	49
<b>II. MATERIALES Y MÉTODO</b>	<b>53</b>
II. 1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	55
II. 1. 1. MATERIALES ANALIZADOS	55

II. 1. 2. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS _____	56
II. 1. 2. 1. Determinación del contenido de humedad _____	56
II. 1. 2. 2. Determinación del contenido de materia orgánica _____	57
II. 1. 2. 3. Conductividad eléctrica _____	57
II. 1. 2. 4. Determinación del pH _____	58
II. 1. 2. 5. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico _____	58
II. 1. 2. 6. Relaciones C/N, C/P y N/P _____	62
II. 1. 2. 7. Densidad aparente _____	63
II. 1. 2. 8. Densidad real _____	63
II. 1. 2. 9. Espacio poroso total _____	64
II. 1. 2. 10. Determinación de nitrógeno, carbono y azufre total _____	64
II. 1. 2. 11. Determinación de nitrógeno Kjeldahl _____	65
II. 1. 2. 12. Determinación de fósforo asimilable _____	67
II. 1. 2. 13. Determinación de potasio, calcio y magnesio asimilables _____	68
II. 1. 2. 14. Elementos totales por calcinación _____	69
II. 1. 3. ANÁLISIS QUÍMICOS EXTERNOS _____	71
II. 2. GRANULACIÓN _____	73
II. 2. 1. MATERIAL _____	73
II. 2. 2. PROCEDIMIENTO _____	73
II. 2. 3. PRUEBAS DE GRANULACIÓN REALIZADAS _____	75
II. 2. 3. 1. Granulado de carozo solo _____	75
II. 2. 3. 2. Mezcla de carozo con escayola _____	76
II. 2. 3. 3. Mezcla de carozo y superfosfato cálcico _____	76
II. 2. 3. 4. Mezcla de carozo y yeso _____	77
II. 3. CO-COMPOSTAJES _____	79
II. 3. 1. MATERIALES UTILIZADOS _____	79
II. 3. 2. PROCEDIMIENTO _____	80
II. 4. DETERMINACIÓN DE FITOTOXICIDAD MEDIANTE BIOENSAYOS DE GERMINACIÓN _____	83
II. 4. 1. MATERIAL VEGETAL _____	83
II. 4. 2. DISEÑO DEL ENSAYO _____	83
II. 4. 2. 1. Bioensayos de fitotoxicidad en extracto líquido _____	83
II. 4. 2. 1. Bioensayos de fitotoxicidad sobre sustrato _____	84
II. 4. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS _____	85

<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>89</b>
III. 1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	91
III. 1. 1. CAROZO	91
III. 1. 2. ANÁLISIS DEL CAROZO A LO LARGO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	96
III. 2. GRANULACIÓN	99
III. 2. 1. GRANULADOS OBTENIDOS	99
III. 2. 2. ANÁLISIS DE GRANULADOS OBTENIDOS	101
III. 3. CO-COMPOSTAJE	105
III. 3 .1. SEGUIMIENTO DEL PROCESO	105
III. 3. 2. ANÁLISIS DE CO-COMPOST DE CAROZO CON RESIDUO AGOTADO DE CHAMPIÑÓN Y PAJA	107
III. 4. DETERMINACIÓN DE FITOTOXICIDAD EN COMPOST MEDIANTE BIOENSAYOS DE GERMINACIÓN	111
III. 4. 1. FITOTOXICIDAD DEL CAROZO	111
III. 4. 2. FITOTOXIDAD DE LAS MEZCLAS DE CAROZO DURANTE EL PROCESO DE CO-COMPOSTAJE	113
III. 4. 3. FITOTOXIDAD DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE CO-COMPOSTAJE	118

---

## **D**

<b>ENSAYOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>123</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>125</b>
I. 1. SEMILLEROS	127
I. 2. MATERIAL VEGETAL	131
I. 2. 1. PIMIENTO	131
I. 2. 1. 1. Descripción botánica y morfología	131
I. 2. 1. 2. Importancia del cultivo	132
I. 2. 1. 3. Material vegetal disponible	132
I. 2. 1. 4. Requerimientos del cultivo	133
I. 2. 2. TOMATE	134
I. 2. 2. 1. Descripción botánica y morfología	134
I. 2. 2. 2. Importancia del cultivo	135
I. 2. 2. 3. Material vegetal disponible	136

I. 2. 2. 4. Requerimientos de cultivo_____	137
I. 2. 3. LECHUGA _____	138
I. 2. 3. 1. Descripción botánica y morfología_____	138
I. 2. 3. 2. Importancia del cultivo _____	139
I. 2. 3. 3. Material vegetal disponible _____	139
I. 2. 3. 4. Requerimientos de cultivo_____	140
I. 2. 4. PETUNIA _____	141
I. 2. 4. 1. Descripción botánica y morfología_____	141
I. 2. 4. 2. Importancia del cultivo _____	142
I. 2. 4. 3. Material vegetal disponible _____	142
I. 2. 4. 4. Requerimientos de cultivo_____	142
I. 2. 5. BERRO _____	143
I. 2. 5. 1. Descripción botánica y morfología_____	143
I. 2. 5. 2. Importancia del cultivo _____	144
I. 2. 5. 3. Material vegetal disponible _____	145
I. 2. 5. 4. Requerimientos de cultivo_____	145
<b>II. MATERIALES Y MÉTODO _____</b>	<b>147</b>
II. 1. DESCRIPCIÓN DE SUSTRATOS, SUELOS Y FERTILIZANTES	149
II. 1. 1. CAROZO _____	149
II. 1. 2. TURBA _____	149
II. 1. 3. SUELOS _____	150
II. 1. 3. 1. Suelo horícola de la Vega del Tormes _____	150
II. 1. 3. 2. Suelo hortícola utilizado en los ensayos de producción final	151
II. 1. 4. VERMICULITA _____	151
II. 1. 5. SUSTRATO AGOTADO DE CHAMPIÑÓN _____	152
II. 1. 6. PAJA _____	152
II. 1. 7. GUANO _____	152
II. 1. 8. FERTILENT® _____	153
II. 2. MATERIAL VEGETAL UTILIZADO _____	155
II. 3. INSTALACIONES _____	157
II. 4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN _____	159
II. 4. 1. GERMINACIÓN _____	159
II. 4. 2. VALORACIÓN DEL ESTADO DE LAS PLANTAS _____	159

II. 4. 3. MEDIDA DEL PESO SECO _____	160
II. 4. 4. MEDIDA DEL PESO FRESCO _____	162
II. 4. 5. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA FRUCTIFICACIÓN DE PIMIENTO _____	162
II. 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO _____	163
II. 6. ENSAYOS PREVIOS _____	165
II. 7. OBTENCIÓN DE PLANTEL CON MEZCLA DE SUSTRATOS ____	167
II. 7. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS _____	167
II. 7. 2. DISEÑO DEL ENSAYO _____	167
II. 7. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS _____	168
II. 8. OBTENCIÓN DE PLANTEL UTILIZANDO CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES _____	169
II. 8. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS _____	170
II. 8. 2. DISEÑO DE LOS ENSAYOS _____	170
II. 8. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS _____	171
II. 9. OBTENCIÓN DE PRODUCCIÓN FINAL CON CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES _____	173
II. 9. 1. DISEÑO DE LOS ENSAYOS _____	173
II. 9. 1. 1. Lechuga _____	173
II. 9. 1. 2. Pimiento _____	176
II. 9. 1. 3. Petunia _____	178
II. 9. 2. PARÁMETROS ESTIMADOS _____	179
II. 10. ENSAYO DE PRODUCCIÓN DE PLANTEL CON SUSTRATOS CO-COMPOSTADOS Y TURBA _____	181
II. 10. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS _____	181
II. 10. 2. DISEÑO DE LOS ENSAYOS _____	181
II. 10. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS _____	182
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____</b>	<b>185</b>
III. 1. OBTENCIÓN DE PLANTEL CON MEZCLA DE SUSTRATOS ____	187
III. 1. 1. SEMILLERO DE TOMATE _____	187
III. 1. 1. 1. Velocidad y porcentaje de germinación _____	187
III. 1. 1. 2. Valoración del estado de las plantas _____	188
III. 1. 1. 3. Peso seco _____	190
III. 1. 2. SEMILLERO DE PIMIENTO _____	192
III. 1. 2. 1. Germinación _____	192

III. 1. 2. 2. Valoración del estado de las plantas_____	193
III. 1. 2. 3. Peso seco de pimiento _____	195
III. 1. 3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS_____	197
III. 2. OBTENCIÓN DE PLANTEL UTILIZANDO CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES _____	199
III. 2. 1. SEMILLERO DE LECHUGA_____	199
III. 2. 1. 1. Germinación de lechuga _____	199
III. 2. 1. 2. Valoración del estado de las plantas de lechuga _____	201
III. 2. 1. 3. Peso seco de lechuga _____	204
III. 2. 2. SEMILLERO DE PIMIENTO _____	206
III. 2. 2. 1. Germinación _____	206
III. 2. 2. 2. Valoración del estado de las plantas de pimiento_____	207
III. 2. 2. 3. Peso seco de pimiento _____	210
III. 2. 3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS_____	212
III. 3. OBTENCIÓN DE PRODUCCIÓN FINAL CON CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES _____	213
III. 3. 1. CULTIVO DE LECHUGA_____	213
III. 3. 1. 1. Peso fresco y peso seco _____	213
III. 3. 2. CULTIVO DE PIMIENTO _____	214
III. 3. 2. 1. Valoración del estado de las plantas_____	215
III. 3. 2. 2. Parámetros relacionados con la fructificación_____	216
III. 3. 3. CULTIVO DE PETUNIA _____	218
III. 3. 3. 1. Valoración del estado de las plantas _____	218
III. 3. 3. 2. Peso seco de petunia _____	220
III. 3. 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS_____	221
III. 4. PRODUCCIÓN DE PLANTEL CON SUSTRATOS CO- COMPOSTADOS Y TURBA_____	223
III. 4. 1. SEMILLERO DE LECHUGA _____	223
III. 4. 1. 1. Germinación _____	223
III. 4. 1 .2. Valoración del estado de las plantas de lechuga _____	224
III. 4. 1 .3. Peso seco de lechuga _____	224
III. 4. 2. SEMILLERO DE TOMATE_____	228
III. 4. 2. 1. Germinación _____	228
III. 4. 2. 2. Valoración del estado de las plantas de tomate _____	229
III. 4. 2. 3. Peso seco de tomate_____	230



III. 4. 3. SEMILLERO DE BERRO _____	233
III. 4. 3. 1. Germinación _____	233
III. 4. 3. 2. Peso seco de berro _____	234
III. 4. 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS _____	236

---

***E***

<b>CONCLUSIONES.</b> _____	239
----------------------------	-----

---

***F***

<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> _____	245
----------------------------	-----

---

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> _____	<b>259</b>
-------------------------------	------------

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> _____	<b>262</b>
--------------------------------	------------



---

*A*

---

**PRESENTACIÓN**

---



## A. PRESENTACIÓN

---

Las técnicas de cultivo más ampliamente utilizadas en la producción actual de plantas hortícolas y ornamentales en intensivo se basan en la utilización de distintos sistemas de cultivo sin suelo desde la utilización de sustratos con propiedades similares al suelo, pasando por el uso de sustratos inertes, hasta llegar al cultivo hidropónico.

Las razones que llevaron a la sustitución del suelo como medio de cultivo fueron (Abad, 1991):

- ✓ La necesidad de transportar las plantas de unos lugares a otros, con lo que el cultivo en sustratos con una menor densidad aparente del suelo reducía el esfuerzo a realizar.
- ✓ La existencia de factores limitantes para la continuidad de este tipo de cultivos en suelo natural, particularmente la salinización, enfermedades y agotamiento de los recursos.

En este contexto el objetivo de cualquier material utilizado en producción debería ser producir una planta de calidad, con los menores costes posibles y el menor tiempo.

Actualmente se están utilizando un gran número de residuos orgánicos en producción vegetal, ya que este uso permite economizar y supone una forma eficiente y sostenible de reutilización (Teira y Flotats, 2001). Cuando se pretende conseguir la valorización agronómica de un residuo, sería aconsejable seguir los pasos que se detallan a continuación:

### **a. Caracterización del material.**

Debemos determinar las características físicas, físico-químicas y químicas. Una vez realizada esta caracterización se deben comparar esas características con las necesidades de los cultivos haciendo un estudio crítico de sus propiedades más relevantes.

### **b. Mejora de las propiedades del material objeto de estudio.**

Se considera necesario mejorar un material si se desvía significativamente de los valores estándar u óptimos. Las estrategias apuntadas por Abad y col. (1993) son:

## A. PRESENTACIÓN

---

- ✓ Mezcla: raramente un material único cumple las características requeridas para unas determinadas condiciones de cultivo. En la mayoría de los casos, es necesario realizar mezclas en distintas proporciones, con el objeto de adecuar las condiciones al cultivo que vaya a llevarse a cabo. La mezcla de un componente con otros materiales tiene un marcado efecto sobre sus propiedades físicas y químicas.
- ✓ Corrección de pH: si el valor del pH está fuera del intervalo recomendado debería realizarse un ajuste.
- ✓ Lixiviación: cuando un material tiene una salinidad inicial elevada, debido a la presencia de un exceso de sales, podría reducirse ésta mediante lavado con agua de calidad.
- ✓ Compostaje: con la aplicación de este proceso se obtienen materiales biológicamente más estables, lo que se traduce en reducción del bloqueo de nutrientes, eliminación de sustancias fitotóxicas... (Verdonck y col., 1987).

### **c. Determinación de la calidad mediante bioensayos de germinación.**

Se ha visto que existe una estrecha relación entre los resultados obtenidos en los bioensayos y la potencialidad agronómica de un residuo (Zucconi y col., 1981). Un buen bioensayo debe ser simple, repetible y sensible.

### **d. Realización de ensayos de crecimiento vegetal.**

Estos ensayos deberían diseñarse siguiendo modelos experimentales adecuados, para obtener resultados estadísticos consistentes y fiables. Además se debe incluir siempre un tratamiento con un sustrato comercial como control o testigo de referencia.

Una vez establecido un diseño adecuado es fundamental determinar cómo se va a evaluar el crecimiento de las plantas. Los parámetros más utilizados son (Abad y col., 1993):

## A. PRESENTACIÓN

---

- ✓ Caracteres morfológicos: altura, número de hojas, tamaño de las hojas...
- ✓ Pesos fresco y seco.
- ✓ Cuantía y calidad de la cosecha en el caso de frutos.

En este trabajo nos planteamos la valorización agronómica de un residuo de naturaleza orgánica llamado carozo, procedente de la industria apícola.

Para conseguir este objetivo hemos seguido los pasos expuestos anteriormente, dividiendo nuestro estudio en dos grandes capítulos, C y D, independientes y al mismo tiempo íntimamente conectados. Ambos capítulos se hallan estructurados con el eje propio de un trabajo de investigación: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión.

Previamente, en el epígrafe B aparecen recogidos los objetivos y el plan de trabajo llevado a cabo.

En el Capítulo C, denominado CARACTERIZACIÓN, hemos determinado las características físicas, físico-químicas y químicas del carozo. También se han expuesto distintas estrategias para su mejora como la realización de granulados, compostaje y co-compostaje con otros materiales. Los procesos y productos resultantes se han analizado físico-químicamente.

Como último apartado de este capítulo hemos estudiado la calidad del carozo y los compost de mezcla realizando distintos tipos de bioensayos de germinación.

En el Capítulo D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN, hemos realizado pruebas, en distintos cultivos, con los materiales obtenidos. Los ensayos realizados han sido:

- Utilización de carozo en semilleros hortícolas (tomate y pimiento) en mezcla con otros materiales: suelo hortícola y vermiculita.
- Utilización de carozo picado y dos granulados formulados a partir de este residuo como fertilizantes en semilleros hortícolas (lechuga y pimiento) en turba.
- Utilización de estos mismos materiales en producción final de dos cultivos hortícolas (lechuga y pimiento) y uno ornamental (petunia).

## A. PRESENTACIÓN

---

- Utilización de mezclas con turba de carozo y co-compost de carozo con sustrato agotado de champiñón y paja en semilleros hortícolas (lechuga, tomate y berro).

Por último, en el apartado E se exponen las conclusiones y en el F la bibliografía citada en esta memoria.

La tesis doctoral que se presenta se enmarca dentro de la línea de investigación sobre valorización agronómica de residuos puesta en marcha en la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales de la Universidad de Salamanca. Parte del trabajo experimental se ha realizado en el marco de un Proyecto de Investigación Subvencionado por ITACYL, Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León SA-01/2005 (R-PGI-05-02) y un Proyecto de Experimentación Agraria, también subvencionado por el ITACYL PEA08-232806.



---

*B*

---

**OBJETIVOS Y  
PLAN DE TRABAJO**

---



## B. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

---

### 1. OBJETIVOS.

El objetivo general de este trabajo fue caracterizar el residuo apícola "carozo" y buscar una posible valorización mediante su utilización en cultivos agrícolas.

Los objetivos específicos que nos planteamos fueron:

- ✓ Analizar la composición química y características físicas representativas de: carozo fresco, compost de carozo, granulados a base de carozo y co-compost de carozo con residuo agotado de champiñón y paja de cereal.
- ✓ Análisis de la evolución de los principales parámetros fisico-químicos y nutricionales, desde el punto de vista vegetal, del carozo y sus mezclas durante el proceso de compostaje.
- ✓ Determinar los posibles riesgos de fitotoxicidad del carozo fresco y de todos los compost analizados. Estudiar la evolución de la fitotoxicidad a lo largo de los procesos de compostaje realizados.
- ✓ Determinar las condiciones más adecuadas para el uso agronómico de estos residuos, identificando los formatos y mezclas más adecuadas.
- ✓ Evaluar el comportamiento de todos los materiales estudiados en producción de plantel hortícola.
- ✓ Probar las posibilidades del carozo en producción final.

## B. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

---

### 2. PLAN DE TRABAJO.

El plan de trabajo se estructuró de la siguiente forma:

- a. Estudio del carozo picado:
  - ✓ Evaluación de la producción de carozos y recogida de muestras.
  - ✓ Análisis físico-químico del carozo.
  - ✓ Diseño y establecimiento de ensayos de producción de plantel de tomate y lechuga.
  - ✓ Toma de datos de los distintos ensayos y análisis estadístico de los resultados.
- b. Pruebas de granulación y utilización de algunos de los granulados y carozo picado:
  - ✓ Planteamiento y realización de pruebas de granulación.
  - ✓ Análisis físico-químico de los granulados obtenidos.
  - ✓ Elección de los tratamientos a ensayar y diseño de los ensayos.
  - ✓ Establecimiento de distintos ensayos de producción de plantel de lechuga y pimiento con los diferentes tratamientos (granulados seleccionados y carozo picado).
  - ✓ Ensayos de producción final de lechuga, pimiento en campo y petunia en invernadero.
  - ✓ Toma de datos de los distintos ensayos y análisis estadístico de los resultados.
- c. Compostaje controlado de carozo y estudio de fitotoxicidad:
  - ✓ Análisis periódicos en distintas fases del proceso de las propiedades físico-químicas y elementos nutritivos del residuo.
  - ✓ Realización de ensayos de fitotoxicidad del carozo en distintas fases del proceso de compostaje y al final de dicho proceso.
  - ✓ Toma de datos de los distintos ensayos y análisis estadístico de los resultados.

## B. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

---

- d. Realización de co-compostajes, análisis y utilización de los productos obtenidos en producción:
- ✓ Adquisición del sustrato agotado de champiñón y paja de cereal y realización de co-compostajes mezclando carozo con estos dos materiales.
  - ✓ Análisis físico-químico de los compost obtenidos.
  - ✓ Realización de ensayos de fitotoxicidad en distintas fases del proceso de compostaje y de los compost obtenidos, al final del proceso.
  - ✓ Evaluación de la fitotoxicidad sobre sustrato de las mezclas, de los compost obtenidos con turba, utilizadas en los ensayos de producción.
  - ✓ Ensayos de producción de plantel hortícola utilizando los compost en mezcla con distintas proporciones de turba.
  - ✓ Toma de datos de los distintos ensayos y análisis estadístico de los resultados.



---

C

---

**CARACTERIZACIÓN**

---





---

# I. INTRODUCCIÓN

---



#### I. 1. CAROZO.

El material objeto de estudio en este trabajo se conoce con el nombre de "carozo" y es un subproducto orgánico de la producción de cera de la industria apícola. La apicultura se define como la ciencia aplicada que estudia la abeja melífera, *Apis mellifera* L. (Figura 1), y la forma de obtener de ella beneficios económicos a través de los distintos productos que se obtienen de su cría. Estos productos, por orden de importancia productiva son: miel, cera, polen, jalea real, propóleos y apitoxina.



Figura 1. *Apis mellifera* L.

En España hay 1.854.000 colmenas (MAPA, 2009). Más de la mitad de ellas, 1.200.000, son propiedad de apicultores profesionales a título principal, entendiéndose por tales, aquellos que tienen más de 150 colmenas (Morales y Álvarez, 1999). España es el país europeo con mayor número de colmenas y también con mayor proporción de apicultores profesionales (Vidal, 1997). Se trata, sin duda, de un sector de importancia económica, especialmente en algunas regiones españolas, como es el caso de Castilla y León y dentro de ésta, de la provincia de Salamanca.

Existen dos tipos de colmenas, desde el punto de vista de su localización, fijas y móviles. Las colmenas fijas permanecen en la misma ubicación geográfica durante todo su período productivo y precisan, por tanto, de un aporte de alimento artificial, mientras que las móviles se van situando en distintas zonas según la época del año, aprovechando mejor la disponibilidad de flores.

En nuestro caso vamos a centrarnos en la producción de cera. La cera es una sustancia segregada por las mandíbulas ceríferas de las

abejas domésticas en forma líquida que se solidifica en forma de escamas, debido a la temperatura interior de la colonia, dando lugar a celdas de sección hexagonal (Figura 2). Su composición es muy compleja, se han detectado hasta 111 componentes (Ortiz, 1997), y aunque su peso es bajo resiste tracciones relativamente importantes.



Figura 2. Celdas de una colmena.

Antiguamente se empleaba exclusivamente para la fabricación de velas, pero en la actualidad la principal aplicación de la cera, una vez refinada, es la formación de nuevos panales (Cegarra, 1995). Además tiene otros usos, aunque minoritarios, como son actuar de soporte o ingrediente en productos específicos para las industrias cosmética y farmacéutica, en medicina, en fabricación de pinturas, etc. (Ortiz, 1997).

La extracción de cera no se realiza debido a un interés económico intrínseco, sino que responde a la necesidad de renovar los panales periódicamente para garantizar una correcta higiene y una buena producción de miel. A lo largo de la vida de la colmena se van acumulando una serie de restos de capullo de cría y otros desechos dando un peso añadido a la colmena, además el hecho de que las colmenas tengan desechos de capullo de cría en las celdillas las hace más pequeñas, dando lugar a cría más pequeña y abeja más pequeña, esto conlleva un buche reducido y una producción menor de miel por abeja, afectando directamente al rendimiento de la colmena. Además, todas esas impurezas que se van acumulando sirven de atrayente para la polilla de la cera, ya que ésta no se alimenta de cera sino de las proteínas que contienen los restos de capullos de cría y otros desechos, destruyendo así la cera.

Como vemos, la producción principal de la colmena es claramente la miel, mientras que la cera sería un subproducto o producto secundario con cierto valor económico.



Figura 3. Panales viejos.

Para llevar a cabo el procedimiento de renovación de los panales de la colmena, los marcos antiguos (Figura 3) se reemplazan por marcos nuevos preparados con láminas de cera preformadas, en forma de celdas hexagonales, sobre los que las abejas construirán las celdas del nuevo panel, disminuyendo el tiempo de inactividad de una colmena renovada o nueva. El objetivo de esta renovación es prevenir y minimizar posibles problemas sanitarios en la colmena y la recomendación de los expertos es llevarla a cabo, al menos, cada tres o cuatro años.

Para ello, en primer lugar se separan los panales y otros restos de cera (especialmente los opérculos, que son capas finas de cera que tapan las celdillas donde se deposita la miel) de los cuadros, mediante vapor de agua. A continuación, todo el conjunto se funde en agua hirviendo para homogeneizar la mezcla de cera fundida con el agua y las impurezas (Álvarez, 1997). Tras la homogeneización, se procede al prensado o centrifugado para eliminar las impurezas, que constituirán el carozo (Figura 4). La cera fundida se separa del agua y los propóleos mediante decantación gracias a las diferencias de densidad existentes. Posteriormente, se obtienen bloques de cera en moldes mediante refrigeración lenta.

Esta operación de extracción y refinado de cera, a diferencia de la producción de miel, no es realizada por todos los apicultores, sino que se concentra en unas pocas industrias (Cegarra, 1995), lo que hace que la producción de carozo también esté concentrada y ese hecho supone una ventaja a la hora de plantear el aprovechamiento

de los residuos, pues reduce los costes de transporte.



Figura 4. Obtención de carozo durante la extracción de cera.

Una vez que hemos aclarado la procedencia, podríamos definir el carozo como un residuo orgánico que está compuesto principalmente por larvas, excrementos y mudas de las propias abejas, restos de larvas y mudas de las polillas de *Galleria melonella* L., que atacan a la colmena, una cierta cantidad de cera no extraída, una porción importante de polen y trazas de propóleo, apitoxina y jalea real (Morales y Álvarez, 1999, Morales y col. 2010).

Normalmente, los carozos obtenidos se depositan formando una pila a la intemperie (Figura 5) en los terrenos próximos a la planta de extracción, a la espera de ser evacuados. De esta forma sufren un cierto proceso de compostaje natural durante un tiempo variable.



Figura 5. Pila de carozo a la intemperie.

El producto resultante tiene una apariencia intermedia entre estiércol animal y compost vegetal, tiene un color marrón oscuro,

estructura en general apelmazada y fibrosa, aunque genera bastante polvo cuando se manipula en estado seco, y una densidad aparente baja.

Para determinar el nivel de producción de carozos en nuestro país hemos de referirnos a las cifras de la industria apícola. La producción de cera en España en 2008 fue de 1.575.000 Kg (MAPA, 2009). En Castilla y León se obtuvieron 187.000 Kg, siendo la cuarta Comunidad Autónoma con mayor producción de nuestro país, dentro de nuestra comunidad en Salamanca se concentra el 56% de la producción, con 104 toneladas (MAPA, 2009). Se estima, por parte de los productores, que el rendimiento del proceso de extracción es de un 60% (Gómez y col., 2006), luego para obtener esa cantidad de cera refinada se producirán 1.050.000 Kg/año de carozos. Hasta el momento este subproducto no tiene ninguna aplicación específica. En ocasiones, algunos productores de cera han empleado este material en la fertilización de terrenos hortícolas cercanos a las áreas de producción, apreciando en éstos una cierta mejora frente a los no abonados, pero su utilización presenta alguna dificultad de tipo físico al provocar encostramiento superficial que se traduce en una pérdida de permeabilidad del suelo (Gómez y col., 2006). Pensamos que, para su utilización como fertilizante podría ser conveniente una presentación en forma de gránulo que facilitaría el manejo y la distribución mecanizada.

Al igual que sucede con otros tipos de residuos agrícolas o subproductos de industrias agroalimentarias, la utilización del carozo como fertilizante orgánico se enfrenta a la competencia de los fertilizantes químicos. Las ventajas de éstos son claras en cuanto a facilidad de distribución con medios mecánicos y coste de transporte por unidad de nutriente. Tanto el carozo como los estiércoles o compost elaborados a partir de residuos agrícolas, son materiales voluminosos de baja densidad y riqueza en nutrientes. Además su distribución en campo es complicada porque en general tienen una estructura fibrosa.

Sin embargo, la coyuntura actual de la economía, el elevado precio de los insumos utilizados en la agricultura y el aumento de superficie de cultivo dedicada a agricultura ecológica, pueden propiciar una mayor demanda de este tipo de productos.





#### I. 2. RESIDUOS ORGÁNICOS.

En la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos se define un residuo como cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. Dicha ley nos dice también que tienen esa consideración aquellos que figuran en el Catálogo Europeo de Residuos transpuesto en nuestra legislación mediante la Orden 304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

El Real decreto 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero define el concepto de "Residuo biodegradable" como aquel que, en condiciones de vertido, puede descomponerse de forma aerobia o anaerobia tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel y el cartón.

Una vez establecido el concepto de residuo hay que decir que tradicionalmente los residuos se han venido clasificando en función de su origen en los distintos sectores de producción como: primarios o de producción de materias primas, secundarios o industriales y terciarios o de servicios.

En el sector primario de producción se engloban los residuos ganaderos como estiércoles y purines, residuos agrícolas constituidos por restos de cosechas, de poda, etc. En el sector industrial se genera una gran variedad de residuos orgánicos, tanto sólidos como líquidos, tan variados como las propias industrias que los generan. De especial interés son los residuos de la industria agroalimentaria, que generan residuos vegetales y residuos líquidos procedentes del procesado de frutas y verduras, lodos y aguas residuales procedentes de la transformación y procesado de los alimentos. Por último el sector servicios genera los residuos domésticos (residuos sólidos urbanos), de limpieza y mantenimiento de jardines, y de la depuración de aguas residuales urbanas (lodos EDAR).

A la vista de las definiciones aportadas y de la clasificación de los residuos el carozo sería un residuo biodegradable procedente del sector industrial, concretamente de una industria agroalimentaria como es la producción de miel.

En general, la creciente producción de todo tipo de residuos es un hecho preocupante a nivel mundial. En Europa se generan anualmente más de 1.800 millones de toneladas de residuos, lo que

supone 3,5 toneladas por habitante (E.E.A., 2006). Estos provienen principalmente de actividades comerciales, urbanas, industriales, agricultura, construcción, minería y del sector energético. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, a través del European Topic Centre On Resource And Waste Management (E.E.A., 2006), se estima que los residuos municipales suponen el 14% (252 millones de toneladas), de los cuales el 60% (151,2 millones de toneladas) son residuos sólidos urbanos degradables. Los residuos industriales suponen el 83% del total (1500 millones de toneladas) y los residuos peligrosos suponen el 1% del total generado (18 millones de toneladas). Sin embargo no se dispone de una estimación de los residuos agrícolas producidos.

Con estas cantidades tan elevadas es de vital importancia realizar una gestión adecuada para que tal volumen de residuos no cause problemas en el medioambiente ni en la salud de las personas.

Los planes de gestión deben ser específicos para cada tipo de residuos, puesto que las diferencias existentes entre ellos son notables, así el aprovechamiento de los residuos ganaderos, requiere la creación de planes adecuados de fertilización basados en los requerimientos de los cultivos. Los aportes de estos materiales se deben realizar evitando una acumulación excesiva en los suelos. Esta es la filosofía recogida en el Código de Buenas Prácticas Agrarias (Decreto 109/1998 de la Junta de Castilla y León) y en la Ley 10/1998 de Residuos, fijando unos límites de aplicación de estiércoles de forma que no se produzca contaminación ni del propio suelo, ni del agua contenida en los acuíferos.

El grado de implantación de tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos depende del nivel de los requisitos legales, del grado de conocimiento científico y tecnológico sobre los procesos a aplicar y de los costes económicos asociados a la inversión y operación. Estos tres aspectos están íntimamente asociados y deben ser tenidos en cuenta en cualquier plan de gestión sobre residuos orgánicos.

Una estrategia de tratamiento de residuos es la combinación de diversos procesos con el objetivo de obtener productos con nuevas aplicaciones. Como productos se deben considerar, desde de los económicamente valiosos hasta los que podrían considerarse residuos del proceso como gaseosos, sólidos o líquidos, y que pueden afectar a la contaminación de los diferentes medios receptores. Los residuos

deben tener una calidad mínima para ser comercializados o valorizados mediante reciclaje.

Todas las tendencias legislativas en el ámbito del tratamiento de residuos se basan en la gestión integral de éstos. Este tipo de gestión implica abordar el ciclo de producción en su totalidad, desde la minimización de residuos en origen hasta el uso final de los productos obtenidos.

En la actualidad con la subida de precios en las materias primas para la agricultura: fertilizantes, productos fitosanitarios, semillas, etc., puede ser de gran importancia el hecho de utilizar residuos o productos más económicos obtenidos a partir de este tipo de materiales como fertilizantes, sustratos o fitosanitarios. Pero no solo debemos destacar el valor económico, sino también el valor ambiental que tendría la reutilización de residuos orgánicos, por ejemplo como sustratos, ya que permitiría desaturar vertederos y reducir la sobreexplotación de sustratos naturales como son las turberas.



#### I. 3. COMPOSTAJE.

El arte del compostaje es muy antiguo y sus principios básicos han sido apreciados y usados a lo largo de los siglos aunque con distinta intensidad según la situación económica y social de la época (Mishra y col., 2003). Últimamente ha vuelto a recuperarse debido al crecimiento desmesurado de la generación de residuos, problemas de suelos mediterráneos pobres en materia orgánica, falta de espacio para ubicar vertederos y unas medidas ambientales más restrictivas que afectan tanto a la prohibición de que cierto tipo de residuos orgánicos vayan al vertedero como a la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (Smith y col., 2001).

Además, sería lógico pensar que los países con un alto porcentaje de producción agrícola y agroalimentaria como es España tuvieran unos programas de reciclaje basados en una mayor concienciación y efectividad en el tratamiento de residuos orgánicos, con el fin de la creación de un mercado competitivo de productos derivados de su tratamiento, como pueden ser los fertilizantes orgánicos. De esta forma, dichos productos podrían ser absorbidos por el sector agrícola suponiendo un nuevo beneficio, que además supondría el cierre del ciclo productivo. Para ello, existe numerosa bibliografía tanto científica como legislativa (Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015, PNIR) que aconseja para el tratamiento de los residuos orgánicos, el empleo de técnicas basadas en el compostaje ya que son una alternativa eficaz, respetuosa con el medioambiente y viable desde el punto de vista económico, además de ser una buena herramienta para la elaboración de abonos y enmiendas orgánicas de calidad (Canet y Albiach, 2008; Albuquerque y col., 2006). De modo que el compostaje de residuos orgánicos permite recuperar recursos (nutrientes y materia orgánica), previniendo su negativo impacto ambiental, a la vez que mejora la viabilidad y los beneficios de los procesos productivos agropecuarios.

El compostaje ha sido estudiado ampliamente por diferentes autores a lo largo de la historia (Poincelot, 1975; Mustin, 1987; Haug, 1993) y todos ellos están de acuerdo en que es un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica. Las poblaciones que intervienen varían continuamente, sustituyéndose unos grupos a otros, ya que el carácter dinámico del proceso implica la aparición gradual de diferentes sustratos y distintas condiciones ecológicas. Así pues, se puede definir el proceso de compostaje como la descomposición biológica aerobia de la materia orgánica en

condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, seguida por una estabilización y maduración del producto (Iglesias Jiménez, 1991).

Si un proceso de compostaje, realizado de forma industrial (Figura 6), está bien controlado y se aplican los materiales adecuados, se conduce a un producto estabilizado, almacenable, transportable y utilizable en la mejora de suelos agrícolas o como componente de sustratos. De esta forma el compost contribuye a mejorar la infiltración de agua y las fluctuaciones de temperatura, además de disminuir la erosión y mejorar la sanidad al colaborar en el control de enfermedades de los cultivos.



Figura 6. Planta industrial de compostaje en pila.

A pesar de la historia y la información acumulada que hace incuestionable la necesidad del reciclaje de los residuos orgánicos, en la actualidad en la UE se composta mucho menos del 10% de dichos residuos generados, aunque en algunos países pueda sobrepasar el 30% (E.E.A., 2006).

Un proceso de compostaje consta de una serie de etapas sucesivas, de duración variable que de forma resumida serían:

- ✓ Fase mesófila inicial, con temperaturas menores de 45 °C al final de la cual se producen ácidos orgánicos.
- ✓ Fase termófila: con temperaturas superiores a los 45 °C.
- ✓ Fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

Los parámetros más destacables a tener en cuenta a lo largo de las distintas etapas del compostaje, según Bueno y col. (2008), son:

- **Temperatura:** inicialmente todo el material está a la misma temperatura, pero al crecer los microorganismos se genera calor aumentando la temperatura del material. La evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, pues se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperatura afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o C/N. Por tanto podemos afirmar que existe una relación directa entre la temperatura y el grado de degradación de la materia orgánica.
- **Humedad:** la humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%, así la humedad de la masa de compostaje, debe ser tal que el agua no llegue a ocupar la totalidad de los poros (Miyatake y Jwabuchi, 2006); para que pueda circular el oxígeno y otros gases producidos en la reacción.
- **pH:** la evolución del pH durante el compostaje presenta tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una bajada del pH debida a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, liberando ácidos orgánicos. En la segunda fase se produce una alcalinización del medio, debida a la pérdida de los ácidos orgánicos y al desprendimiento de amoníaco por la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero y col., 2001). Y en la tercera fase el pH tiende a neutralizarse debido a que se forman compuestos húmicos que tienen una elevada capacidad tampón.
- **Aireación:** para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18%); hacia el interior va disminuyendo, mientras que el dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad de más de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci y col., 2004). Si la aireación es insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la generación de malos olores (Bidingmaier, 1996). Por otra parte el exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la

masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006).

- **Tamaño de partícula:** las dimensiones consideradas óptimas son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus y col., 1994).
- **Relación C/N:** para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar y col., 1991). La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Al morir estos microorganismos el nitrógeno contenido en su biomasa se recicla y la relación C/N tiende a disminuir. La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando  $C/N < 20$ , aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente.
- **Relación C/P y N/P:** el fósforo es el nutriente más importante, tras el C y el N, por lo que también debe estar presente en unas cantidades mínimas para que el proceso se lleve a cabo correctamente. Una buena relación entre los principales nutrientes conlleva una adecuada capacidad para la proliferación microbiana, al tener todos los nutrientes principales en unas cantidades óptimas y en la forma más disponible para la síntesis microbiana. La relación C/P para el compostaje es óptima cuando se sitúa entre 75 y 150, mientras que la relación N/P debe estar entre 5 y 20.
- **Materia orgánica:** durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20%, en peso de la



masa compostada (Zucconi y De Bertoldi, 1987). Este descenso de materia orgánica transcurre en dos etapas fundamentalmente, en la primera se produce un rápido decrecimiento de los carbohidratos y en la segunda etapa, una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Tomati y col., 2000; Castaldi y col., 2005). Generalmente este último cambio se mantiene durante todo el tiempo que dura el compostaje.

Algunos compuestos procedentes de la materia orgánica son utilizados por los microorganismos para formar sus tejidos y otros son transformados en anhídrido carbónico y agua. Los nuevos materiales formados poseen unas propiedades distintas a las de los materiales originales, confiriéndole a la masa unas características físicas y químicas distintas (Haug, 1993). La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Michel y col., 2004).



#### I. 4. SUSTRATOS.

##### I. 4. 1. DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

En España los sustratos están regulados por el R. D. 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo, de reciente publicación, donde se define un sustrato de cultivo como el material sólido distinto del suelo "in situ" donde se cultivan las plantas.

Esta definición resulta algo simplista, por ello si analizamos las definiciones de sustrato existentes en la bibliografía podemos concluir que el término general de sustrato agrícola se refiere a todo material natural o sintético, mineral u orgánico, en forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo de las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radicular, y favoreciendo el suministro de agua y oxígeno. Es importante subrayar también que el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta (Abad, 1993; Nelson y Sommers, 1996; Burés, 1998). Por otro lado, Burés (1997) señala que en horticultura, un sustrato es, en general, cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores, entendiendo por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada (sus dimensiones pueden variar desde una maceta para semilleros hasta un campo de fútbol, o incluso mayor, mientras exista una restricción de altura) y su base se halle a presión atmosférica (es decir, existe un drenaje libre). De esta forma el desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen por un lado en el cultivo de planta en contenedor, y por otro en la necesidad de evitar las enfermedades endémicas del suelo (Adams, 2004). Actualmente la mayor parte de la producción de plantel hortícola y planta ornamental tiene lugar en contenedores y existe, por tanto, un aumento de la demanda de sustratos (Burés, 1997). En esta tendencia se espera que en los próximos años se produzcan nuevos aumentos de la cantidad total de sustratos utilizados. Además la prohibición del uso de bromuro de metilo y la paulatina eliminación en años sucesivos de otros desinfectantes del suelo hará, seguramente incrementar la superficie destinada al cultivo sin suelo de algunas especies hortícolas y, por tanto, contribuirá a un aumento aún mayor de la demanda.

Dentro de los sustratos orgánicos los más usados en horticultura son la turba de *Sphagnum* y la fibra de coco, debido principalmente a su elevada estabilidad física y química y su bajo ritmo de degradación. El desarrollo de las técnicas de cultivo de plantas en

contenedor ha incrementado la demanda estos materiales, lo que ha ocasionado una reducción de las reservas y un aumento del precio. La sobreexplotación de un recurso no renovable (como es la turba) y el consecuente deterioro medioambiental, junto con el alto precio que, como hemos comentado, ha alcanzado en el mercado han favorecido el uso de sustratos alternativos como medios de cultivo, con el objetivo de reducir el consumo de turba.

También tienen una gran importancia sustratos de naturaleza inorgánica, tales como lana de roca, perlita o arena, para su uso en cultivos hidropónicos o incluso los hidropónicos estrictos. Su aumento en los sistemas de cultivo de hortícolas ha hecho decrecer la utilización de turba. Aunque para el cultivo de planta ornamental y viveros se sigue trabajando mayoritariamente con turba como constituyente importante de los sustratos (Adams, 2004).

En este contexto, muchos residuos y subproductos de naturaleza orgánica generados por actividades agrarias, industriales o urbanas están siendo utilizados con éxito, puros o en mezclas entre ellos y con turba, como constituyentes de los medios para el cultivo en contenedor; esto significa una valorización de dichos residuos y subproductos además de una contribución eficaz a la solución del problema medioambiental que plantea su acumulación y eliminación (Carmona y Abad, 2008).

No obstante, como señala Adams (2004) la selección de un sustrato depende de un número de factores, de los cuales los siguientes son probablemente los más vitales:

- ✓ Conveniencia para el cultivo a producir.
- ✓ Disponibilidad y reproducibilidad del sustrato.
- ✓ Viabilidad económica.
- ✓ Facilidad de manejo.
- ✓ Requerimientos técnicos.

Considerando la gran variación que existe en la disponibilidad y precio de los materiales, en los requerimientos de los cultivos a producir y en la formación de los productores, no existe el sustrato "perfecto" para cultivar. De ahí la necesidad de estudiar a fondo las propiedades de los nuevos materiales, con el objetivo de tener una caracterización fidedigna que nos permita proponerlos como sustratos para producción de distintos tipos de plantas.

#### **I. 4. 2. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS.**

Para llevar a cabo la caracterización de los sustratos se hace una primera diferenciación entre tres tipos de propiedades: físicas, químicas y biológicas. De ellas dependerá el manejo adecuado de la fertilización y el riego y, por tanto, el éxito del cultivo.

Para entender estas propiedades hay que considerar el sustrato como un sistema formado por una matriz sólida y una matriz porosa. El problema estriba en la heterogeneidad en la composición de la matriz sólida de los sustratos, que a su vez genera una configuración de poros diferente en cada caso (Burés, 1997).

Cuando se realizan cultivos fuera de suelo, como es el caso de los semilleros, hay que tener en cuenta que el volumen de sustrato a disposición del sistema radicular de las plantas es muy reducido. La gran ventaja de este hecho es que posibilita al productor el control del ambiente radical de forma más precisa y económica que en el cultivo en suelo (Adams, 2004). De ahí la importancia de la elección del sustrato y de la adecuada caracterización de sus propiedades, para asegurar el crecimiento y desarrollo óptimo de los plántulos (Foucard, 1997).

##### **I. 4. 2. 1. Propiedades físicas.**

La estructura física de un sustrato está formada básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio de poros, estos poros pueden estar llenos de aire o de agua. Esta estructura viene definida por la naturaleza del material y por el tipo de empaquetamiento de las partículas. El esqueleto sólido depende, por tanto, del tipo de material, de su distribución granulométrica y configuración espacial. De esta forma un mismo material tendrá distintas propiedades en función de la granulometría y del estado de empaquetamiento de las partículas; si a esto le añadimos las características distintivas de los propios materiales, resulta un sistema complejo, con propiedades interrelacionadas y de difícil caracterización física (Burés, 1997).

Un aspecto importante a tener en cuenta es que en el cultivo en contenedor la base del mismo actúa como una barrera donde el agua se encuentra a presión atmosférica, siendo el potencial matricial del agua del sustrato equivalente a la altura de la columna de agua en condiciones de capacidad de contenedor. Esto conlleva un mayor contenido de agua retenida a bajas tensiones por la matriz del

sustrato. El hecho de que los contenedores tengan un volumen limitado, obliga a proporcionar la máxima cantidad de agua posible por volumen de contenedor, así como una cantidad suficiente de aire que permita un intercambio gaseoso adecuado. Es necesario, pues, recurrir a sustratos que retengan agua a bajas tensiones sin detrimento de su capacidad de aireación (Burés, 1998).

Los poros internos, generalmente de tamaño reducido, son capaces en la mayoría de los materiales utilizados como sustratos de retener agua a tensiones más elevadas que la que determina la altura del sustrato. De este modo, un tamaño mayor de partículas y una porosidad interna elevada, aseguran un reservorio de agua importante en el sustrato, a la vez que gran parte del agua es liberada a tensiones muy bajas y la aireación se mantiene en valores suficientes (Burés, 1997).

La caracterización física permite conocer desde el punto de vista agronómico, el reparto de estas tres partes del sustrato (matriz sólida, aire y agua) en el entorno radicular. De esta forma para describir los sustratos, desde el punto de vista de su uso en producción, hay que tener en cuenta las siguientes características de tipo físico:

#### *i. Densidad real.*

La densidad real es la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen real ocupado por las partículas que lo forman, excluyendo el espacio poroso entre partículas. La densidad real se expresa generalmente en  $\text{g cm}^{-3}$  (Martínez, 1993).

En general los sustratos tienen una densidad real menor que los suelos naturales debido a que las partículas de sustrato suelen tener poros internos. Estos poros internos pueden estar abiertos al exterior o cerrados. Los materiales por poros cerrados son menos densos y se utilizan en las mezclas para aligerar los sustratos (Burés, 1997).

#### *ii. Granulometría.*

El análisis granulométrico de un sustrato es la clasificación de sus partículas en función de su tamaño. Se expresa como porcentaje de masa de cada fracción granulométrica en relación a la masa de la muestra inicial seca al aire (Martínez, 1993). La granulometría hace

referencia al tamaño y la relación entre los tamaños de las partículas que, a su vez, determinarán el calibre de los poros externos.

#### *iii. Densidad aparente.*

La densidad aparente o masa volumétrica se define como la relación entre la masa de material sólido seco y el volumen que ocupa en unas condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre las partículas. Se expresa generalmente en  $\text{g cm}^{-3}$  (Martínez, 1993).

Los sustratos suelen tener una densidad aparente baja, ésta es una característica favorable ya que los sustratos con bajos valores de densidad aparente son más fáciles de manipular y transportar (Baixauli y Aguilar, 2002).

#### *iv. Porosidad.*

La porosidad total o espacio poroso total (EPT) se define como el volumen total del sustrato no ocupado por partículas; es decir, la relación entre el volumen de poros y el volumen aparente del sustrato expresado como porcentaje en volumen (Martínez, 1993). El valor óptimo de porosidad en un sustrato debería ser superior al 85% (Abad, 1999).

Generalmente los sustratos tienen dos tipos de porosidad: interna y externa. La porosidad externa es la que se genera por el propio empaquetamiento de las partículas y depende del modo en que se produzca dicho empaquetamiento, del tamaño del contenedor y de la forma, tamaño y naturaleza de las partículas (Burés, 1997). La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas y puede estar abierta o cerrada. Se habla de porosidad abierta o efectiva cuando los poros internos tienen conexión con el sistema de poros externos. La porosidad cerrada se produce debido a la existencia de poros que no tienen conexión con el sistema de poros externos y el menor peso del sustrato es su único efecto positivo.

#### *v. Retención de agua y aireación.*

Los sustratos, desde el punto de vista físico, nos aportan dos características determinantes para el cultivo en contenedor: por una

parte, una elevada capacidad de retención de agua a bajas tensiones (0–100 cm de columna de agua), y al mismo tiempo, una elevada capacidad de aireación (Burés, 1997). La capacidad de retención de agua es la cantidad de agua que puede retener o almacenar un sustrato (Martínez, 1993).

#### *vi. Permeabilidad.*

Podríamos definir la permeabilidad como la capacidad del sustrato para conducir el agua. Esta conducción depende de la configuración espacial de los poros, de su continuidad y de su geometría (Burés, 1998).

#### *vii. Temperatura.*

La temperatura del sustrato afecta a las tasas de reacciones químicas y biológicas, a la difusión de gases y al movimiento del agua. Por tanto, la temperatura influye directamente en la nutrición y el crecimiento vegetal (Burés, 1997).

### **I. 4. 2. 2. Propiedades químicas.**

Las propiedades químicas y físico-químicas se derivan de la composición elemental de los materiales y del modo de estar los elementos fijados a éstos y su relación con el medio (Burés, 1997).

El conocimiento de las características químicas permite establecer el manejo de la nutrición, la viabilidad del material como sustrato, los riesgos de degradación en el tiempo y la posibilidad de uso en mezclas. Entre las propiedades químicas de importancia en los sustratos podemos citar las siguientes:

#### *i. Capacidad de intercambio catiónico.*

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad de un sustrato de adsorber e intercambiar iones. Cuando hablamos de la CIC de un sustrato nos referimos a la suma de todos los cationes cambiables existentes. Otro hecho importante es que los cationes divalentes generalmente se encuentran adsorbidos en el complejo arcillo-húmico con más fuerza que los monovalentes, excepto el  $H^+$  y por tanto, se intercambian con mayor dificultad.



La CIC depende del pH, debido a que los iones  $H^+$  son adsorbidos, como acabamos de señalar, por el complejo arcillo-húmico. Por ello, los materiales muy ácidos, o que tienen el complejo de cambio saturado de  $H^+$ , liberan iones  $H^+$  que se intercambian con los iones de la solución (Burés, 1997).

#### *ii. pH.*

Dentro de las reacciones ácido-base existe una reacción de especial importancia en los sustratos; la autoionización del agua, cuya representación práctica es lo que conocemos como pH y que se define como el logaritmo del inverso de la actividad de los iones  $H^+$  en el sustrato.

La acidez potencial es la medida de los iones  $H^+$  que están adsorbidos en el complejo de cambio y que se pueden disociar, constituyendo una reserva de acidez para el sustrato. Los iones  $H^+$  libres constituyen la acidez activa que es la que se mide en la determinación del pH en agua.

#### *iii. Capacidad tampón.*

La capacidad tampón mide el poder amortiguador de un sustrato y está relacionada de forma directa con la CIC de dicho sustrato. Esta capacidad de amortiguación de los cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes al sustrato se estima mediante las curvas de valoración del sustrato frente a ácidos y bases. Como señala Burés (1997), el poder tampón de los sustratos orgánicos es en general, superior al de los inorgánicos, puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un amplio margen de pH.

#### *iv. Contenido de sales.*

La conductividad eléctrica expresa, de una manera aproximada, la concentración de sales en la solución del sustrato. La concentración total de sales afecta al potencial osmótico, que está relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato (Burés, 1998).

#### v. *Contenido de elementos nutritivos totales.*

La capacidad de aportar nutrientes de un sustrato depende de la cantidad de elementos nutritivos que éste posea y, sobre todo, de la capacidad de intercambio catiónico.

#### **I. 4. 2. 3. Propiedades biológicas.**

##### *i. Velocidad de descomposición.*

Todos los materiales orgánicos son inestables desde el punto de vista termodinámico y, por tanto, son susceptibles de degradación biológica. La bioestabilidad es la principal propiedad biológica y se refiere a la estabilidad de un sustrato orgánico frente a los organismos que lo pueden degradar (Lemaire, 1997). La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los sustratos de cultivo, considerada de modo global, es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas (Abad y Noguera, 2000). Por ello es importante conocer el contenido en materia orgánica y su estado de descomposición.

La disponibilidad de compuestos biodegradables determina la velocidad de descomposición. Se puede reducir el contenido relativo de dichas sustancias mediante compostaje y, también, manteniendo niveles suficientes de nitrógeno asimilable (Abad y Noguera, 2000).

Existen diversas estimaciones para conocer el estado de descomposición de la materia orgánica presente en un sustrato. La más utilizada es la relación carbono-nitrógeno (C/N). Este parámetro depende del material de partida y, además, decrece a medida que fermenta o se descompone la materia orgánica. En general, se suele considerar que un sustrato es maduro y estable cuando presenta una relación C/N inferior a 20 (Burés, 1997).

##### *ii. Actividad reguladora del crecimiento.*

Esta actividad está mediada por la presencia de actividad auxínica en los extractos de materiales orgánicos. Parece ser que dicha actividad hormonal está relacionada con un efecto sinérgico

entre las auxinas de la propia planta y los compuestos fenólicos presentes en los materiales orgánicos como consecuencia de su degradación.

#### *iii. Propiedades supresivas.*

Se ha visto que los materiales de naturaleza orgánica dificultan o inhiben el crecimiento y/o desarrollo de determinados agentes fitopatógenos, especialmente hongos. Estas propiedades se han encontrado en compost, particularmente de corteza de árboles, con supresividad frente a enfermedades inducidas por hongos de los géneros *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, etc. (Abad y Noguera, 2000).

Parece que este efecto puede durar de 3 a 6 semanas y es debido a la presencia de inhibidores del desarrollo de estos hongos en el compost (Ballester-Olmos, 1992).

#### **I. 4. 3. UTILIZACIÓN DE SUSTRATOS EN SEMILLEROS DE PLANTELES HORTÍCOLAS.**

La producción de plantel hortícola en semillero tiene unas especiales exigencias ambientales, hídricas y de protección sanitaria. Los requerimientos de las plantas durante los primeros estados del desarrollo vegetal son elevados y dichas plantas necesitan un control exhaustivo, por ello son más fáciles de controlar en instalaciones de pequeña superficie y con una densidad muy alta de plantas, denominadas semilleros (Figura 7).

La producción de material de trasplante es un sector en alza debido a varios factores, uno de los más importantes sería el alto coste de las semillas de híbridos que se utilizan actualmente en el sector hortícola. Las ventajas del trasplante frente a la siembra son claras, según señalan Carmona y Abad (2008), la realización de una fase de semillero y el posterior trasplante al terreno definitivo asegurarán un mejor establecimiento de la planta, reduciéndose los riesgos económicos en comparación con la siembra directa, cuando se utilizan costosas semillas de híbridos, como hemos señalado anteriormente. Otras ventajas del trasplante incluyen mayor eficiencia en el uso del suelo, acortamiento del ciclo de crecimiento, mejor control de la primera infestación de malas hierbas, etc.



Figura 7. Semillero en alvéolos sobre mesa de cultivo.

La producción de plantel, requiere instalaciones muy tecnificadas capaces de llevar a cabo un control total de los parámetros climáticos, el fertirriego... En esta coyuntura la producción de plantel ha pasado de ser realizada por los propios horticultores a llevarse a cabo en empresas especializadas en la producción del material de trasplante. De esta manera el sector productivo de plantales hortícolas ha cobrado una extraordinaria importancia en nuestro país en los últimos años.

Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2009), en España existen actualmente 456 empresas, denominadas semilleros, que produjeron más de 3.152 millones de plántulas de especies hortícolas, destacando por orden de importancia lechuga, tomate y pimiento. Por regiones, Andalucía produjo más del 41% del total, siendo Almería, con 85 semilleros especializados y una producción superior a 1.100 millones de plantales, según datos de la Dirección General de Producción Agraria de la Junta de Andalucía, la principal provincia productora española.

La producción de plántulas se realiza, habitualmente en bandejas de alvéolos de forma cilíndrica o troncopiramidal, de diferentes dimensiones y fabricados con distintos tipos de materiales. La capacidad del alvéolo y la densidad de plantas por bandeja son factores limitantes para conseguir plántulas de calidad, ya que influyen en parámetros como longitud y diámetro del tallo, área foliar y calidad de las raíces, en proporción al tiempo de permanencia de la planta en el semillero. Estas bandejas se rellenan con el sustrato seleccionado específicamente para cada producción. El llenado de las

bandejas se realiza de forma mecanizada, para conseguir una compactación óptima y homogénea del sustrato. Esta labor es fundamental puesto que si se lleva a cabo de forma errónea se verán alteradas propiedades físicas tan importantes como la porosidad, la retención de agua o la aireación.

Existen numerosos estudios sobre el uso potencial de compost de diversos materiales como sustrato alternativo a la turba en semilleros hortícolas, encontrándose resultados muy variables y algunas veces contradictorios, en cuanto a porcentajes finales y velocidad de germinación de las semillas de diferentes especies respecto a los obtenidos en turba. Sin embargo no siempre se tiene en cuenta, en estos estudios, el tiempo que necesitan las plantas para alcanzar el estado de desarrollo adecuado para el trasplante. Un retraso en éste supone un mayor tiempo de ocupación del semillero, con los consiguientes costes que ello implica (Carmona y Abad, 2008).

Entre los estudios realizados a este respecto podemos citar el de Lazcano y col. (2009) con compost de estiércol de vacuno para el desarrollo de plantel de tomate que concluye que este tipo de compost puede utilizarse como sustrato aunque en mezcla a dosis relativamente bajas. Herrera y col. (2008) analizan compost de residuos sólidos urbanos como medio de cultivo tomate señalando en sus conclusiones que este compost, en mezcla con turba, es un ideal componente para sustratos utilizables en semilleros de tomate.

En todos estos estudios el aporte de compost a la turba rubia se traduce en una mejora de las características nutritivas del sustrato. En tal sentido se han referido en la bibliografía aumentos en los contenidos de N, P, K y microelementos, en cantidades variables según los materiales. Aún así, esta mejora nutritiva suele ser insuficiente y/o desequilibrada para el normal y completo desarrollo de las plantas.

Como señalan Carmona y Abad (2008) no parece fácil realizar con éxito una sustitución total de turba por compost en los sustratos para semilleros hortícolas, presentándose la mezcla de ambos materiales como la opción más adecuada. Por ello, es imprescindible determinar las características físico-químicas de estas mezclas y estudiar hasta qué proporción el compost podría sustituir a la turba, sin que tales propiedades fueran limitantes para el normal desarrollo de las plántulas. Junto a esto, debería ajustarse la gestión del agua,

los fertilizantes y el manejo general del semillero a las características particulares de cada mezcla.

#### **I. 4. 4. UTILIZACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTA ORNAMENTAL.**

La producción de plantas ornamentales en contenedor es de gran importancia en nuestro país. En base a los datos publicados en el Anuario de Estadística (MAPA, 2009) elaborado y publicado por Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, en el año 2008 se produjeron en España 182 millones de plantas ornamentales, lo que supone un volumen importante de producción.

Uno de los problemas a los que se enfrenta actualmente este sector es su dependencia de los sustratos preparados con turbas naturales de diferentes orígenes y características, las cuales proceden de países muy alejados de España. Además de la dependencia exterior, este hecho provoca que los costes de producción se vean incrementados. Una alternativa que puede resolver toda esta problemática es la sustitución gradual de la turba por otros materiales orgánicos, autóctonos y con disponibilidad local. De esta forma, poco a poco se van incorporando al mercado de los sustratos para ornamentales, compost de residuos orgánicos de ámbito local que abaratan las mezclas, al reducir la proporción de turba importada, sin afectar de modo notable a sus propiedades y calidad (Abad y col., 2001; Fitzpatrick, 2005).

En este contexto numerosos residuos y subproductos orgánicos, generados por diferentes actividades de producción y consumo, tras acondicionarlos para adecuarlos a fines hortícolas, están siendo investigados y utilizados con éxito como sustratos o componentes de sustratos de cultivo para producción de plantas ornamentales en invernadero (Figura 8). De este modo, al tiempo que se contribuye a la sustitución de la turba, se favorece la valorización de estos residuos, colaborando eficazmente en la gestión de los mismos. En relación con todo lo anterior, en la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación puede consultarse un Inventario de Materiales susceptibles de ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos para la producción de planta ornamental en maceta (Abad y col., 2001). La mayoría de los materiales inventariados son compost de residuos y subproductos orgánicos con disponibilidad local. De esta forma, las empresas del sector pueden

conocer los materiales disponibles en cada Comunidad Autónoma, así como sus características y propiedades más importantes (Carmona y Abad, 2008).



Figura 8. Cultivo protegido de petunia en alvéolos (izquierda) y maceta (derecha).

Existen un gran número de estudios sobre distintos materiales orgánicos que señalan que este tipo de residuos poseen características y propiedades beneficiosas para el cultivo en sustrato (Alburquerque y col., 2006; Bachman y Metzger, 2008; Bernal y col., 2009).

Las características y propiedades beneficiosas de la utilización de residuos orgánicos se basan en que, en general, poseen un gran valor fertilizante de base, ya que contienen niveles elevados de nutrientes vegetales asociados a la fracción orgánica, y por tanto, de liberación lenta o progresiva. También, como hemos señalado anteriormente, pueden presentar propiedades supresivas frente a agentes fitopatógenos, especialmente hongos, debido, entre otros factores, a la presencia de microorganismos diversos que disminuyen la incidencia de enfermedades.

Las consecuencias de estos beneficios se traducen en una mayor producción de biomasa y en un aumento de la supervivencia de las plantas tras el trasplante (García-Gómez y col., 2002; Bernal-Vicente y col., 2008; Herrera y col., 2008), así como en una reducción de insumos de alto precio como son turbas, fertilizantes y productos fitosanitarios. Además, el compost agotado, ya utilizado (una vez que

ha finalizado su vida útil como sustrato) puede reutilizarse como material orgánico para la fertilización orgánica de suelos, relleno de taludes u otros usos típicos del compost, no generando ningún tipo de impacto ambiental.

Sin embargo, en muchas ocasiones existen una serie de factores limitantes para la utilización del compost como sustrato de cultivo, tales como: presencia de materiales inertes, no deseables (piedras y gravas, plásticos, etc.), densidad aparente elevada, baja capacidad de retención de agua a bajas tensiones, pH inadecuado, salinidad elevada, presencia de fitotoxicidad, etc. En la producción de planta ornamental al aire libre, una densidad aparente elevada encarece tanto el proceso de elaboración del sustrato como el transporte del mismo una vez que está en el contenedor, debido al mayor peso. Aunque al mismo tiempo es un factor positivo, ya que proporciona estabilidad mecánica al conjunto planta-maceta. Es sabido, además, que la utilización del compost como sustrato implica, generalmente, su mezcla con otros materiales, orgánicos o inorgánicos, naturales, sintéticos o residuales, como por ejemplo turbas, perlita, etc. que disminuyen los niveles de nutrientes asimilables y sales solubles, y que mejoran su textura y estructura. Así pues, la producción de planta ornamental en maceta se presenta como uno de los ámbitos de aplicación más importantes del compost en los sistemas hortícolas de cultivo en sustrato.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de elegir un sustrato para el cultivo en maceta es que dicho sustrato o mezcla de sustratos requerirá una textura media a gruesa, con unas buenas porosidades total y libre que den lugar a la adecuada aireación y a un conveniente drenaje, un alto nivel de nutrientes, unas elevadas capacidades de intercambio catiónico y tampón (Ballester-Olmos, 1992).



### I. 5. FERTILIZANTES ORGÁNICOS.

Existe una gran variedad de residuos con un contenido elevado en materia orgánica, potencialmente utilizables como enmendantes y/o abonos orgánicos. Las tendencias legislativas actuales para el tratamiento de residuos se basan en una combinación de procesos con el objetivo de obtener productos finales de cierta calidad (Flotats y Solé, 2008), ya sea para su vertido o depósito en instalaciones acondicionadas, esto es vertederos, o para ser comercializados o revalorizados mediante reciclaje.

A nivel europeo se realizan esfuerzos para que se produzca una evolución similar entre todos los estados miembros mediante las consiguientes directivas y reglamentos europeos desarrollados. Sin embargo, la implantación de las tecnologías de transformación de los residuos orgánicos depende, en gran medida, de las condiciones del entorno imperante que existan en cada país miembro.



Figura 9. Fertilizantes orgánicos comerciales.

Actualmente estamos asistiendo a una aparición de gran cantidad de abonos orgánicos en el mercado (Figura 9). Además, en el sector agrícola, concretamente en horticultura, se aplican hoy día distintos tipos de compost y otros sustratos como alternativa a las turbas. Sus aplicaciones van desde servir como fuente de nutrientes o como cubierta para mantener la humedad de los suelos, hasta ser útil como producto supresor de enfermedades vegetales. Existen, por tanto, buenas perspectivas de mercado para este producto natural debido a que, en general, los agricultores conocen los efectos nocivos de la

aplicación excesiva de fertilizantes inorgánicos, tales como la desertificación y mineralización que sufren en la actualidad los suelos agrícolas (Tejada y col., 2001).

Algunos de los parámetros generales relacionados con la producción vegetal que se utilizan para confirmar los posibles efectos beneficiosos de la aplicación de compost en suelos de cultivo son el peso seco de la planta, peso y número de frutos, capacidad de absorción de N y P por parte de la planta y la producción del cultivo. Los estudios realizados por Badr El-Din y col. (2000) sobre plantas de tomate han confirmado en este sentido que la aplicación de compost procedente de restos vegetales posee numerosas ventajas en relación a lo observado cuando se aplican fertilizantes inorgánicos.

#### I. 6. FITOTOXICIDAD.

Se entiende por fitotoxicidad la condición o cualidad de cualquier material, ya se utilice como sustrato, componente de sustrato o fertilizante, que influya negativamente en cualquier aspecto del crecimiento vegetal. De hecho el mayor inconveniente a la hora de utilizar residuos orgánicos en producción de planta es la presencia de ciertas características que pueden ser causa directa o indirecta de fitotoxicidad.

Los efectos fitotóxicos de los residuos orgánicos en particular, parecen ser el resultado de la combinación de diversos factores.

Se ha señalado la presencia de alguna de las siguientes sustancias como determinantes en los problemas asociados a las causas de fitotoxicidad:

- Metales pesados.
- Amonio (Wong, 1985; Barberis y Nappi, 1996; Tiquia y Tam, 1998), que es especialmente importante cuando se compostan sustratos con un bajo ratio C/N (Zucconi y col., 1985).
- Óxido de etileno, que es sintetizado durante la descomposición del compost en suelo (Wong, 1985).
- Elevados niveles de sales.
- Ácidos orgánicos, entre los cuales cabe citar el ácido acético (De Vleeschawer y col., 1981), los ácidos propiónico y butírico (Chanyasak y col., 1983).
- Fenoles (Albuquerque y col., 2006).

Estas sustancias aparecen en los residuos frescos, por ello la tendencia es utilizar algún método que las haga desaparecer. El método más utilizado es el compostaje ya que se ha comprobado que la mayoría de las sustancias fitotóxicas son metabolizadas o inmovilizadas a lo largo del proceso de compostaje, como señalan diversos autores entre los que podemos citar a Emino y Warman, (2004) y Aparna y col. (2008), por lo que el material orgánico tras este proceso, sería biológicamente estable. La consecuencia directa de esta estabilización sería que los problemas de fitotoxicidad asociados a este tipo de materiales desaparecerían, en la mayoría de los casos, o se reducirían en gran medida los efectos fitotóxicos, en el resto.

Por otra parte, como la producción de compuestos fitotóxicos es muy dinámica se ve claramente afectada por el estadio del

compostaje, el tipo de proceso y la correcta gestión del mismo (Zucconi y col., 1985).

Por otro lado, la aplicación de cualquier material orgánico con un grado de madurez insuficiente (con elevada relación C/N) provoca, como efecto más destacable, un consumo de todo el nitrógeno asimilable por parte de las poblaciones de microorganismos existentes, lo cual puede dar lugar a graves deficiencias de nitrógeno en la planta. Este hecho ocasionaría un efecto fitotóxico depresivo en el rendimiento de los cultivos debido a la inmovilización biológica de nitrógeno, que hace que la planta no tenga disponibilidad de este elemento, vital para el su crecimiento y desarrollo, cuando lo necesita. También se inmovilizan otros nutrientes esenciales, como azufre, fósforo, calcio o magnesio. La causa de este fenómeno parece estar relacionada con el incremento de biomasa microbiana que se produce debido a la presencia de una fuente de carbono fácilmente asimilable, como la que supone un material orgánico fresco o inmaduro.

Por el contrario en materiales estables y maduros, como demuestran Iglesias-Jiménez y Álvarez (1993) e Iglesias-Jiménez (2001) con compost de residuos sólidos urbanos, se produce una inmovilización parcial del nitrógeno asimilable incorporado con el compost pero el resultado global es una mineralización neta positiva, pudiendo aportar cantidades importantes de nitrógeno disponible a los cultivos en un corto periodo de tiempo.

En vista a la complejidad de causas y efectos se han planteado diversas estrategias para evaluar y caracterizar convenientemente los efectos fitotóxicos.

Algunos componentes tóxicos pueden ser identificados mediante procesos analíticos, aunque estos procedimientos suelen resultar caros y largos. Puede además ocurrir, que el material analizado presente contaminantes inesperados que no sean detectados en los análisis de rutina. Por otra parte, no existen por el momento procedimientos analíticos que midan los efectos de sinergismo y antagonismo de los compuestos tóxicos (Emino y Warman, 2004) y demás factores influyentes.

Por ello sería necesaria una herramienta que nos permitiera, por un lado, caracterizar el proceso de compostaje para reducir la duración del proceso al mínimo y, por otro, comparar distintos sistemas de compostaje. Diversos autores (Zucconi y col., 1981;

Tiquía, 2000; Emino y Warman, 2004) utilizan el índice de germinación (IG) para medir fitotoxicidad. Este índice, como señalan Aparna y col. (2008), ha sido probado como uno de los parámetros más sensibles, que es capaz de detectar tanto bajas toxicidades que afectan al crecimiento radicular como toxicidades altas que afectan a la germinación. Así, esta variable integra un porcentaje de germinación relativo, que mide una toxicidad severa, y el crecimiento o elongación relativa de las radículas, que determina una toxicidad moderada. De esta forma el IG constituye un parámetro sensible y completo para determinar la toxicidad de residuos orgánicos. El IG se determina mediante la realización de bioensayos de germinación en placa Petri (Figura 10).

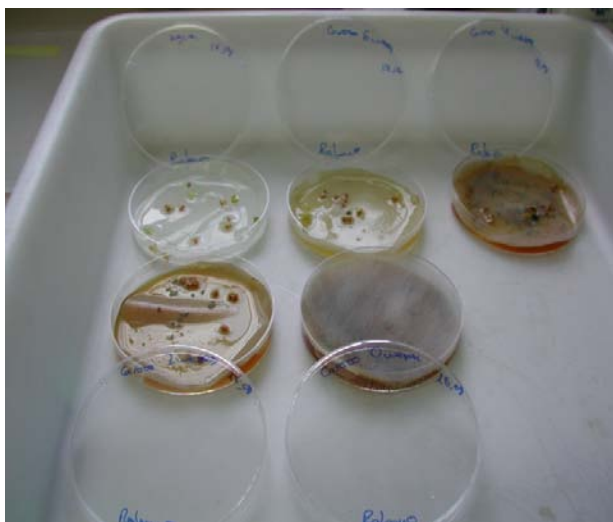


Figura 10. Placas Petri preparadas para determinar el IG.

En función de este índice Varnero y col. (2006) basándose en Zucconi y col. (1981) estiman que valores de IG iguales o superiores al 80% indicarían ausencia de fitotoxinas y valores de IG menores del 50% representarían un valor elevado de estas sustancias que se traducirían en problemas de fitotoxicidad más o menos acusada, en función de la especie vegetal que se utilice.

Para poder garantizar el uso del carozo se consideró necesario evaluar los posibles riesgos de fitotoxicidad, tanto de este material por sí solo, como de todos los derivados y mezclas realizadas en los distintos ensayos. Para ello se ha elegido la realización de

bioensayos, que como ya hemos comentado son una herramienta rápida y eficiente con la que detectar la presencia de sustancias tóxicas utilizando especies indicadoras (Varnero y col., 2007). Entre las especies más apropiadas, debido a su conocida sensibilidad, podemos citar berro (*Lepidium sativum* L.), utilizado como indicador por Zucconi y col. (1981), Aparna y col. (2008) o Aslam y col. (2008) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) en los trabajos de Celis y col. (2006, 2007). Aunque se han realizado numerables estudios con otras especies como los de Ortega y col. (1996) que utilizan pimienta, coles chinas, coliflor, lechuga, calabaza, rábano, sandía y tomate; los de Araujo y col. (2001) con soja y trigo o los de Komilis y Tziouvaras (2009) usando semillas de berro, calabaza, lechuga, pimienta, rábano, espinaca y tomate.

---

## **II. MATERIALES Y MÉTODO**

---





### II. 1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.

#### II. 1. 1. MATERIAL UTILIZADO.

Se han realizado análisis físico-químicos de todos los materiales estudiados, que se detallan a continuación:

- Carozo (Cz): se analizaron seis muestras recogidas en dos localizaciones a lo largo de seis años.
  - Muestras recogidas en Apicasfer: en los años 2002, 2004 y 2006 en Valero (Salamanca) y en el año 2008 en las nuevas instalaciones situadas en Arapiles (Salamanca).
  - Muestras procedentes de la cooperativa Apihurdes, Pinofranqueado (Cáceres), una recogida en el año 2004 y otra en 2008.
- Carozo con 40, 90 y 150 días de compostaje.
- Granulados obtenidos mediante mezclas en peso de carozo con yeso:
  - Mezcla de 1 parte de carozo y 1 parte de yeso (1Cz:1Y).
  - Mezcla de 4 partes de carozo y 3 partes de yeso (1Cz:3Y).
- Granulados obtenidos mediante mezclas en peso de carozo con escayola:
  - Mezcla de 1 parte de carozo y 1 parte de escayola (1Cz:1E).
  - Mezcla de 4 partes de carozo y 3 partes de escayola (4Cz:3E).
- Granulados obtenidos mediante mezclas en peso de carozo con superfosfato cálcico:
  - Mezcla de 1 parte de carozo y 1 parte de superfosfato cálcico (1Cz:1Sf).
  - Mezcla de 4 partes de carozo y 3 partes de superfosfato cálcico (4Cz:3Sf).
  - Mezcla de 2 partes de carozo y 1 parte de superfosfato cálcico (2Cz:1Sf).

- Compost procedente del co-compostaje de una mezcla en proporción 1:1 en volumen de carozo y sustrato agotado de champiñón (CzCh). Seguimiento a los 40, 90, 120 y 150 días.
- Compost de mezcla en volumen de una parte de carozo y una parte de paja de cereal (CzPj). Seguimiento a los 40, 90, 120 y 150 días.

Parte de los análisis fueron realizados internamente, en el Departamento de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales perteneciente a la Universidad de Salamanca, los procedimientos utilizados para determinar los distintos parámetros analizados se detallan en el epígrafe siguiente (II. 1. 2.). Algunas de las determinaciones fueron llevadas a cabo, de forma externa, por el Servicio General de Análisis Químico Aplicado de la Universidad de Salamanca.

### **II. 1. 2. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.**

#### **II. 1. 2. 1. Determinación del contenido de humedad (H).**

Se pesó en balanza de precisión una cierta cantidad de cada muestra, aproximadamente 10 g, que constituyó el peso húmedo. A continuación se introdujeron las muestras en una estufa a 105 °C durante 24 h.

Una vez transcurrido ese tiempo las muestras habrán perdido toda la humedad. Se sacaron las muestras de la estufa pasándolas rápidamente a un desecador hermético, para evitar la captación de la humedad ambiental. Se trasladaron hasta la báscula y se procedió a pesarlas nuevamente para obtener el peso seco.

Por último se calcula el contenido de humedad, en forma porcentual, relacionando el peso seco con el húmedo mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

### II. 1. 2. 2. Determinación del contenido de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica (MO) se determinó relacionando el peso seco de las muestras con el peso de las cenizas obtenidas tras someter dichas muestras a un tratamiento de combustión consistente en mantenerlas a una temperatura de 450 °C durante 6 h en un horno Mufla.

Tras este tratamiento se considera que el residuo obtenido ha perdido por combustión toda la materia orgánica.

De esta forma podríamos calcular el porcentaje de MO aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso cenizas}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

### II. 1. 2. 3. Conductividad eléctrica.

Se determinó la Conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación.

#### *i. Material.*

- Recipientes plásticos de 250 ml.
- Matraz kitasatos.
- Bomba de vacío.
- Embudo Büchner.
- Tubos de medida.
- Conductímetro Crison con corrección automática de temperatura y control de la constante de la célula.

#### *ii. Procedimiento.*

Para la preparación de la pasta saturada se pesaron 250 g de cada sustrato y se colocaron en los recipientes plásticos, se añadió agua lentamente por las paredes hasta que toda la masa quedó humedecida por capilaridad. Se siguió añadiendo agua y mezclando hasta que se alcanzó la saturación. En este punto no debe quedar agua libre en la superficie pero la pasta debe aparecer brillante y deslizarse suavemente cuando se inclina el recipiente. Se dejó reposar 15 minutos y se comprobó la saturación, añadiendo más

agua cuando fue necesario. Una vez preparada la pasta se dejó reposar entre 20 y 24 h. Transcurrido ese tiempo se filtró la pasta saturada en un embudo Büchner con un disco de papel de filtro, sobre un matraz kitasatos acoplado a la bomba de vacío. De esta forma se obtuvo el extracto de saturación.

### *iii. Lectura.*

Se extrajo una alícuota de 5 ml del extracto que se depositó en los tubos de medida. Se sumergió la célula del conductímetro, calibrado previamente, en el extracto y se anotó el valor de la medida.

### **II. 1. 2. 4. Determinación del pH.**

Para realizar la medida del pH se realizó una mezcla muestra-agua en una proporción 1:2,5.

Para ello se procedió de la siguiente manera: se pesaron 10 g de cada muestra y se depositaron en matraces de 50 ml. A continuación se añadieron a cada matraz 25 ml de agua destilada y se agitó enérgicamente la solución con una varilla de vidrio. Se dejó reposar la mezcla 30 minutos, transcurrido ese tiempo se agitó nuevamente y se procedió a la lectura del pH.

La medición se realizó con un pH-metro con electrodo combinado y sonda de temperatura Crison – 2001.

### **II. 1. 2. 5. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).**

Se utilizó el método del acetato amónico que comprende una serie de fases que describimos a continuación:

#### II. 1. 2. 5. 1. Saturación con $\text{NH}_4^+$ y preparación del extracto.

##### *i. Material.*

- Columnas de percolación con llave desmontable.
- Matraces aforados de 100 ml.
- Jeringa de plástico de 25 ml para la adición de solución extractante y de lavado.

*ii. Reactivos.*

- Acetato amónico 1 N a pH 7: para prepararlo se disolvieron 77,08 g de  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$  en 800 ml de agua y se llevó a volumen 1 l con agua destilada. Posteriormente se ajustó el pH a 7 con acético o hidróxido amónico según las necesidades.
- Solución de CINA 10% acidificado: se disolvieron 100 g de CINA en 750 ml de agua destilada caliente. Una vez perfectamente disuelto se añadieron 25 ml de CIH 2 N y se llevó hasta un volumen de 1 l con agua destilada.
- Etanol de 95° neutro.

*iii. Preparación de los tubos de percolación.*

Para preparar los tubos de percolación se tomó una bola de algodón de 5-7 mm de diámetro y se introdujo en el fondo del tubo de percolación con la ayuda de una varilla de vidrio. Se pesaron 5 g de muestra (<2mm) y se echaron en el tubo de percolación. A continuación se añadieron 3 g de celite<sup>†</sup> sobre la muestra y se tapó el tubo con un tapón de goma recubierto con una fina torunda extendida de algodón. Se agitó bien el tubo para mezclar la muestra y el celite, una vez bien mezclado se puso el tubo en posición vertical y se golpeó en el lateral hasta conseguir que la mezcla se dispusiera homogéneamente en el fondo, dejando una superficie lo más horizontal posible. Se quitó el tapón de goma dejando la torunda de algodón en la boca del tubo y se introdujo la torunda junto con un anillo de plástico hasta el fondo del tubo (el algodón debe entrar en contacto con la mezcla de muestra y celite, pero sin comprimirla). Por último se colocó la llave en el tubo para poder obtener el extracto.

*iv. Procedimiento.*

Se colocó un matraz de 100 ml debajo del tubo de percolación y se abrió la llave del tubo de percolación. Se agregaron 25 ml de solución de acetato amónico 1 N y cuando se ve que la muestra se ha mojado completamente, pero antes de que la solución comience a gotear, se cierra la llave. Se dejó reposar entre 8 y 14 horas.

---

<sup>†</sup> Celite 535. Este material es harina de Kieselguhr purificada y por tanto inerte.

Posteriormente se abrió la llave y se comenzó la lixiviación. Se repitió ésta con 3 porciones de 25 ml de Acetato  $\text{NH}_4$  (Lixiviado A). El proceso, en su conjunto, debe durar una hora como mínimo. A continuación se lixivió la muestra con 4 porciones de 20 ml de etanol de 95° lavando bien las paredes del tubo de percolación con cada una de las porciones. Este lixiviado A se deshecha (Figura 11).



Figura 11. Obtención de lixiviados desde la batería de tubos de percolación.

Se colocó un matraz aforado de 100 ml debajo del tubo de percolación y se lixivió nuevamente la muestra con 3 porciones de 25 ml y 1 porción de 20 ml de  $\text{CINa}$  acidificado. Se llevó a volumen con la misma solución (Lixiviado B). En este extracto se determinó la capacidad de cambio por destilación de  $\text{NH}_4^+$  desplazado.

#### II. 1. 2. 5. 2. Determinación de la capacidad de cambio.

##### *i. Material.*

- Aparato de destilación de  $\text{NH}_4^+$  de Bovat.

### *ii. Reactivos.*

- Indicador Shiro-Tashiro: se disolvieron 0,125 g de rojo de metileno y 0,080 g de azul de metileno en 100 ml de alcohol etílico.
- $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,005 N con indicador incorporado: se vertieron 25ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,1 N (2,66 ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentrado en 1 l de agua destilada) en un matraz aforado de 500 ml. Se agregaron 40 gotas de indicador Shiro-Tashiro y se enrasó con agua destilada.
- Solución de NaOH al 20%: se disolvieron 200 g de NaOH, en lentejas, en 800 ml de agua destilada mediante agitación moderada, en un matraz aforado de 1000 ml, una vez disuelto se enrasó con agua destilada.

### *iii. Procedimiento.*

Se enrasó la bureta automática del aparato de Bovat que contenía  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,005 N con indicador Shiro-Tashiro incorporado. Se abrió el agua para que pase a través del refrigerante y de la trompa de vacío con suficiente fuerza. Se encendió el mechero para evitar pérdidas de tiempo, dejándolo a un lado. Se pusieron en comunicación, haciendo uso de la llave de paso múltiple del matraz colector, el tubo superior de ese matraz con la trompa de vacío y se vertieron 2 ó 3 ml de ácido de la bureta al matraz colector.

Se tomó una alícuota determinada, en este caso fue de 2 ml, del extracto y se introdujo en el matraz de destilación que se completó con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del bulbo. Se añadieron 20 ml de NaOH al 20% e, inmediatamente se acopló el matraz al aparato de Bovat, con objeto de evitar la pérdida de amonio por volatilización.

Se acercó rápidamente el mechero, que teníamos previamente encendido, y se comenzó a destilar con llama moderada. El paso del agua debe ajustarse previamente de forma que exista un burbujeo tranquilo en ambos matraces. La valoración se realizó con  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,005 N gota a gota conforme se iba produciendo la destilación (el color del viraje es de violeta a verde, la solución debe mantenerse de color violáceo o grisáceo). Cuando la persistencia del viraje fue

suficiente (aproximadamente 30 segundos<sup>†</sup>), se añadieron, a través de la columna refrigerante, aproximadamente 3 ml de alcohol de 50° y se continuó la valoración durante un par de minutos para asegurar que no haya un nuevo cambio de color. Se anotaron los mililitros de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> consumidos para realizar los cálculos.

$$\text{CIC (cmol Kg}^{-1}\text{)} = 10 \frac{V}{Q} \left( 1 + \frac{H}{100} \right) - \text{CIC}_b$$

Siendo: V: ml de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> gastados en la valoración.

Q: ml de la alícuota tomada para la valoración.

H: porcentaje de humedad.

CIC<sub>b</sub>: capacidad de intercambio catiónico obtenida con el blanco realizado con celite.

### II. 1. 2. 6. Relaciones Carbono-Nitrógeno (C/N), Carbono-Fósforo (C/P) y Nitrógeno-Fósforo (N/P).

Estas relaciones se calculan a partir del contenido de carbono orgánico, el contenido de nitrógeno total y el contenido de fósforo total, tomados todos ellos en forma porcentual. Una vez conocidos estos valores se obtienen las relaciones en base a las siguientes expresiones:

$$\text{Relación C/N} = \frac{\text{Carbono Orgánico (\%)}}{\text{Nitrógeno Total (\%)}}$$

$$\text{Relación C/P} = \frac{\text{Carbono Orgánico (\%)}}{\text{Fósforo Total (\%)}}$$

$$\text{Relación N/P} = \frac{\text{Nitrógeno Total (\%)}}{\text{Fósforo Total (\%)}}$$

---

<sup>†</sup> El punto final no persiste indefinidamente; si se espera demasiado tiempo siempre habrá un nuevo viraje al verde y la valoración no acabaría nunca. Si se agota demasiado el líquido del matraz de destilación, destilaría NaOH y se correría riesgo de fractura del matraz.



**II. 1. 2. 7. Densidad aparente ( $D_A$ ).**

La densidad aparente es la relación entre la masa de material seco y el volumen que ocupa en unas condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre las partículas.

Se determinó utilizando un cilindro rígido de ensayo de volumen  $100\text{cm}^3$ . Se taró la balanza con el peso del cilindro. A continuación se llenó el cilindro con el material a analizar, compactando suavemente hasta la marca de  $100\text{ cm}^3$  y se pesó nuevamente para obtener el peso de  $100\text{ cm}^3$  de muestra.

A continuación se obtuvo la densidad aparente aplicando la siguiente fórmula:

$$D_A (\text{g cm}^{-3}) = \frac{\text{Peso de muestra}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

**II. 1. 2. 8. Densidad real ( $D_R$ ).**

La densidad real es la relación entre la masa del material sólido seco y el volumen real ocupado por las partículas que lo forman.

Según Martínez (1993) el método más utilizado para su determinación en materiales con elevada componente orgánica consiste en una estimación indirecta a partir de los contenidos de materia orgánica total y de cenizas obtenidos en el proceso de calcinación de la muestra. Para ello debemos tener en cuenta que la densidad real de los materiales orgánicos es de  $1,45\text{ g cm}^{-3}$  y la de las cenizas como materiales minerales es de  $2,65\text{ g cm}^{-3}$  (De Boodt y col., 1974).

De esta forma calcularemos la densidad real de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_R (\text{g cm}^{-3}) = \frac{100}{\frac{\% \text{ M.O.}}{1,45} + \frac{\% \text{ M.M.}}{2,65}}$$

Siendo: % M.O.: porcentaje de materia orgánica.  
% M.M.: porcentaje de materia mineral (cenizas).

**II. 1. 2. 9. Espacio poroso total (EPT).**

El espacio poroso total se define según Martínez (1993) como el volumen total de un material no ocupado por partículas; es decir, la relación entre el volumen de poros y el volumen aparente del material, expresado como porcentaje en volumen.

La estimación de la porosidad total se realiza a partir de la determinación de las densidades real y aparente mediante la siguiente expresión:

$$\text{EPT (\%)} = \left(1 - \frac{D_A}{D_R}\right) \times 100$$

**II. 1. 2. 10. Determinación de nitrógeno, carbono y azufre totales.**

Para realizar esta determinación se preparó la muestra de la siguiente forma:

- Secado en estufa durante 24 h a 105 °C.
- Pulverización fina en mortero de ónice.



Figura 12. Celdillas para medición en LECO.

Posteriormente se pesaron en báscula de precisión cantidades exactas de muestra determinadas en relación con la curva de patrones y que se sitúan, en este caso, entre 0.15 y 0.20 g, depositándolas sobre las celdillas de medición (Figura 12), este dato se introdujo en el autoanalizador.

Por último, se procedió a su lectura introduciendo las celdillas de material cerámico en el alimentador automático del autoanalizador LECO CNS-2000.

### II. 1. 2. 11. Determinación de nitrógeno Kjeldahl.

#### *i. Reactivos.*

- $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado.
- Mezcla de sales: 79 g de  $\text{SO}_4\text{K}_2$ , 10g de  $\text{SO}_4\text{Fe}$ , 10 g de  $\text{SO}_4\text{Cu}$  y 1 g de metal selenio.
- Solución de NaOH al 20%: se preparó diluyendo 200 g de NaOH en lentejas en agua destilada mediante agitación. Se llevó a volumen de 1 l con agua destilada en matraz aforado.
- Indicador Shiro-Tashiro: se disolvieron 0,125 g de rojo de metilo y 0,08 g de azul de metileno en 100 ml de alcohol etílico.
- Acido sulfúrico 0,005 N con indicador incorporado: Se pusieron 25 ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0.1 N en un matraz aforado de 500 ml al que se agregaron 40 gotas de indicador Shiro-Tashiro. Se enrasó con agua destilada.
- Alcohol al 50%.

#### *ii. Digestión.*

Se pesaron 2 g de muestra (<0,5mm), se pasaron a un matraz Kjeldahl agregando seguidamente 4.0 g de mezcla de sales, 2 ml de agua destilada y 10 ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentrado. Se introdujeron los matraces en el digestor (Velp Scientifica Heating Digestor) y se realizaron dos rampas de calentamiento, la primera de 30 minutos a 100 °C y la segunda de 90 minutos a 450 °C. Se dejó enfriar (Figura 13 izquierda) y posteriormente, se vertió el contenido de cada matraz Kjeldahl en un matraz aforado de 100 ml, llevándose a volumen con agua destilada.

#### *iii. Destilación.*

Se enrasó la bureta automática del Aparato Bovat que contiene el  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0.005 N con indicador incorporado. Posteriormente se abrió el

agua para que pasase a través del refrigerante y de la trompa de vacío con suficiente fuerza y se encendió el mechero, dejándolo a un lado. Después se vertió aproximadamente 1 ml de ácido de la bureta en el matraz colector.

A continuación se tomó una alícuota (Q) de entre 5 y 15 ml y se pasó a un matraz de destilación, se añadió agua hasta la mitad del bulbo. Se añadieron 20 ml de NaOH al 20% y se acopló el matraz inmediatamente al aparato de Bovat (Figura 13, derecha), con objeto de evitar pérdidas de amonio.

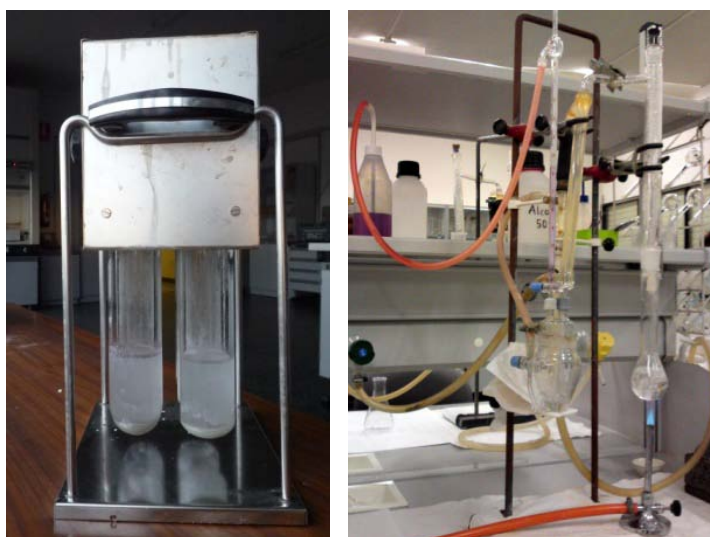


Figura 13. Matraces Kjeldahl (izquierda) y Aparato de Bovat (derecha).

Se acercó rápidamente el mechero encendido y se destiló con llama moderada; el paso del agua debe ajustarse previamente de tal forma que exista un burbujeo tranquilo en ambos matraces; se valoró con  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,005 N gota a gota conforme se producía la destilación (el color del viraje es de violeta a verde, la solución debe mantenerse de color violáceo a gris) Cuando la persistencia del viraje fue suficiente (aproximadamente 30 segundos) se añadió a través de la columna de relleno, unos 3 ml de alcohol al 50% y se continuó la valoración durante un par de minutos hasta asegurarse de que no había un nuevo cambio de color. Se anotaron los ml de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  consumidos (V). El colector se vació comunicándolo mediante la llave múltiple a la

trompa de vacío. Una vez vaciado el colector, se pasó la llave de nuevo a la posición de burbujeo para la siguiente valoración.

*iv. Cálculos.*

Para obtener el porcentaje de Nitrógeno (N) se realizaron los siguientes cálculos:

$$V \times 0,005 = \text{meq } \text{SO}_4\text{H}_2 = \text{meq de N}$$

$$V \times 0,005 \times 100/Q = \text{meq de N en 2 g de muestra.}$$

$$V \times 0,005 \times 100/Q \times 14/1000 = \text{g de N en 2 g de muestra}$$

$$\%N = V \times 0,005 \times 100/Q \times 14/1000 \times 100/2$$

Finalmente, simplificando la anterior, llegamos a la siguiente expresión:

$$\%N = 0,35 \times V/Q$$

Siendo: V: volumen de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,005N gastado en valoración.  
Q: alicuota tomada.

### II. 1. 2. 12. Determinación de fósforo asimilable.

*i. Reactivos:*

- Solución extractante: se preparó disolviendo 1,11 g de  $\text{NH}_4\text{F}$  y 2,1 ml de HCl en 1 l de agua destilada. La solución combinada resultante sería 0,03 N  $\text{NH}_4\text{F}$  más 0,025 N HCl.
- Reactivo A: para su preparación se disolvieron 12 g de molibdato amónico en 250 ml de agua destilada y 0,2908 g de tartrato potásico y antimónico en 100 ml de agua. A continuación se añadieron esas dos soluciones a 1 l de sulfúrico 2,5 M. Se mezcló vigorosamente y se llevo hasta un volumen exacto de 2 l en un matraz aforado. Este reactivo se puede almacenar refrigerado en frascos de vidrio *pirex*.
- Reactivo B: se disolvieron 1,056 g de ácido ascórbico en 200 ml del reactivo A y se mezcló bien. Este reactivo se preparó diariamente, puesto que no se puede guardar durante más de 24 horas a temperatura ambiente.

### *ii. Procedimiento de extracción.*

Se pesaron 2,5 g de muestra, esta cantidad se pasó a un matraz de 50 ml al que se añadieron 25 ml de solución combinada 0,03 N  $\text{NH}_4\text{F}$  + 0,025 N HCl. Esta mezcla se agitó durante 1 minuto exactamente y a continuación se filtró con embudo y papel de filtro, de tal forma que el tiempo de filtrado no sobrepasar 10 minutos, hasta obtener un extracto claro.

### *iii. Curva de patrones.*

Para realizar la curva de patrones se tomaron 0, 2, 5, 10, 15 y 20 ml de la solución patrón de 1 ppm de fósforo y se echaron en matraces aforados de 50 ml. Se añadieron a cada uno 2 ml de solución extractante y 8 ml de solución combinada B y se enrasaron con agua destilada hasta el volumen de 50 ml. La concentración de fósforo en estos patrones será de 0; 0,04; 0,10; 0,20; 0,30 y 0,40  $\text{mg l}^{-1}$  respectivamente. A continuación se calibró, con esa curva de patrones, el espectrofotómetro.

### *iv. Procedimiento de lectura.*

Para proceder a la lectura se tomaron 2 ml de alícuota del extracto filtrado utilizando una pipeta estéril y se pasaron a un matraz aforado de 50 ml. A continuación se añadieron 8 ml de solución combinada B y se enrasó dicha mezcla hasta el volumen de 50 ml con agua destilada.

Después de 10 minutos (cuando la solución cambió de color y pasó a ser azul), se procedió a leer en el espectrofotómetro la concentración de fósforo a 882 nm.

## **II. 1. 2. 13. Determinación de potasio, calcio y magnesio asimilables.**

### *i. Reactivos.*

- Solución extractora de acetato amónico 1 N a pH 7,0.
- Solución madre de Ca, Mg y K.

### *ii. Procedimiento.*

Se pesaron 5 g de muestra previamente molida, para asegurarnos de que todas las partículas tuvieran menos de 2 mm de diámetro. Se introdujo cada muestra en un matraz erlenmeyer de 250 ml al que se agregaron 50 ml de solución extractora. Se agitó esta mezcla durante 30 minutos a 120 revoluciones por minuto y, a continuación se filtró el extracto obtenido con un papel de filtro sobre embudo de cristal.

Para cada uno de los elementos a determinar se prepararon las diluciones convenientes, adaptadas al rango de patrones que se utilizó para calibrar el espectrofotómetro y se efectuaron las lecturas correspondientes.

### **II. 1. 2. 14. Elementos totales por calcinación (calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo, hierro, cobre, cinc y manganeso).**

El procedimiento utilizado fue el propuesto por Kalra y Maynard (1994). Se tomaron 0,5 g de muestra molida, homogeneizada y seca, y se colocaron sobre una cápsula de porcelana (Figura 11), previamente tarada, para poder calcular el contenido en cenizas. La cápsula se introdujo en un horno de mufla y se fue aumentando la temperatura de forma gradual hasta la desaparición de humos, con el fin de evitar una rápida combustión y una pérdida de P por volatilización. Una vez que desaparecieron los humos, se elevó la temperatura hasta 450 °C manteniéndose durante 6 horas. Las cenizas se pesaron una vez frías y a continuación, se atacaron con una mezcla de HCl: HNO<sub>3</sub>: H<sub>2</sub>O en proporciones 1:1:8 durante 3 horas. Posteriormente, el residuo se filtra sobre un matraz aforado de 25 ml a través de papel de filtro, enrasando el filtrado resultante con la misma mezcla de ataque, hasta el volumen indicado. De esta forma se obtuvo la solución que llamaremos "madre". De esta solución se tomaron alícuotas para la determinación de calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo, hierro, cobre, cinc y manganeso.

Calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc y manganeso se midieron por absorción atómica, mientras que sodio y potasio se determinaron por fotometría de llama.

Calcio y magnesio se determinaron conjuntamente tomando una alícuota de la solución "madre" y diluyéndola 100 veces. A esta disolución se le añadió potasio hasta llegar a una concentración final de  $400 \mu\text{g ml}^{-1}$ , para eliminar la posible ionización tanto del calcio como del magnesio. Las condiciones de trabajo utilizadas para el calcio fueron: llama de óxido de nitroso-acetileno; longitud de onda  $422,7 \text{ nm}$  y patrones comprendidos entre  $1$  y  $4 \mu\text{g ml}^{-1}$ . Las condiciones de trabajo utilizadas para el magnesio fueron: llama de óxido de nitroso-acetileno; longitud de onda  $285,2 \text{ nm}$  y/o patrones comprendidos entre  $0,1$  y  $0,4 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

El potasio se midió añadiendo CsCl a una alícuota extraída de la solución "madre" y diluyéndola lo suficiente para que la concentración final de potasio estuviera dentro del intervalo de los patrones utilizados que fue de  $0,5$  a  $2,0 \mu\text{g ml}^{-1}$ . Se empleó llama de aire-acetileno y se midió a una longitud de onda de  $766,5 \text{ nm}$ .

El sodio se determinó añadiendo KCl a un alícuota de solución "madre" y diluyéndola 25 veces. Se adicionó KCl, para suprimir la posibilidad de ionización del sodio, hasta tener una concentración final de  $2000 \mu\text{g ml}^{-1}$ . Para la medida se utilizó llama de aire-acetileno, y una longitud de onda de  $589,0 \text{ nm}$ , con patrones comprendidos entre  $0,8$  y  $0,5 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

Para el manganeso se tomó un alícuota y se diluyó 20 veces. La lectura se realizó con llama de aire-acetileno a una longitud de onda de  $279,5 \text{ nm}$ . Se utilizó un rango de patrones de  $1,0$  a  $4,0 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

En el caso de cobre, hierro y cinc no es necesario añadir ninguna sustancia para eliminar interferencias y para todos ellos se emplea llama de aire-acetileno. Para el cobre la longitud de onda utilizada fue de  $324,7 \text{ nm}$  y los patrones fueron desde  $0,1$  a  $1,0 \mu\text{g ml}^{-1}$ . Para el hierro la medida se efectuó con una longitud de onda de  $248,3 \text{ nm}$  y los patrones oscilaron entre  $2,5$  y  $10 \mu\text{g ml}^{-1}$ . El cinc se determinó con una longitud de onda de  $213,9 \text{ nm}$  y los patrones utilizados fueron de  $0,4$  a  $1,6 \mu\text{g ml}^{-1}$ .

El fósforo se determinó por colorimetría mediante el método de vanadato-molibdato. Los patrones de trabajo utilizados se situaron entre  $1$  y  $5 \mu\text{g ml}^{-1}$  y las lecturas se realizan a  $400 \text{ nm}$  en un espectrofotómetro.



### II. 1. 3. ANÁLISIS QUÍMICOS EXTERNOS.

Las determinaciones de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y B totales llevadas a cabo a partir del año 2008 fueron realizadas por el Servicio General de Análisis Químico Aplicado que obtuvo en Agosto de 2007 la certificación ISO 9001:2000 otorgada por Bureau Veritas Certificación (Certificado n° 7002907-B).

El envío de muestras para la realización de estos análisis requería una preparación previa de las mismas, que se llevó a cabo de la siguiente forma: se pesaron aproximadamente 3 g de cada muestra, a continuación se molieron finamente en un mortero de ónice. Una vez que las muestras tenían un tamaño de partícula muy fino y homogéneo se sometieron a secado en estufa a 105 °C durante 24 h. Por último se introdujo cada muestra en un sobre de papel debidamente etiquetado y precintado. Todas las muestras se llevaron, personalmente, al Servicio de Análisis antes mencionado.

En dicho servicio las mediciones, en función del tipo de elementos, se llevaron a cabo con un ICP Masas Perkin Elmer Elan 6000, cuyo inyector automático se encuentra dentro de una campana de flujo laminar. El equipo ICP Óptico es un Yobin Ivon Ultima II.



### II. 2. GRANULACIÓN.

#### II. 2. 1. MATERIAL.

El carozo que se utilizó procedía de la empresa Apicasfer (Valero, Salamanca) y fue recogido en otoño del año 2006. El carozo había pasado por un período de aproximadamente 4 meses formando una pila en el exterior de las instalaciones de la empresa. Dicha pila estaba a la intemperie sobre un suelo de tierra. Estas condiciones son similares a las que se producen en un proceso de compostaje, luego dicho carozo habría sufrido algunas de las transformaciones propias del compostaje, principalmente la reducción de la CE por lavado del agua de lluvia y posterior drenaje al encontrarse sobre un suelo de tierra que absorbería los efluentes procedentes de la pila.

Se realizaron distintas pruebas de granulación utilizando diferentes materiales aglutinantes: escayola, superfosfato cálcico y yeso. Se probaron mezclas en distintas proporciones de carozo con cada uno de estos aglutinantes.

#### II. 2. 2. PROCEDIMIENTO.

Se optó por un método en que los gránulos se forman mediante rotación del material en un tambor rotatorio o trómel. Durante el proceso de rotación es necesario realizar un control de humedad y temperatura de la muestra.

El proceso completo de granulación comprende la siguiente sucesión de operaciones:

- Limpieza: se realizó un triaje del carozo para eliminar posibles restos de materiales indeseables que podrían dañar la picadora y alterar la composición del material.
- Picado: se procedió a picar finamente el carozo utilizando una picadora convencional de uso domestico de 400 W de potencia.
- Pesado: se pesaron los distintos componentes de cada mezcla (carozos, escayola, superfosfato cálcico y/o yeso) de acuerdo a las proporciones determinadas en el ensayo.

- **Premezcla:** se realizó una homogeneización manual, en seco, de los componentes de cada mezcla para garantizar una formación de gránulos con composición similar.
- **Humectación previa:** se aplicó agua caliente (70 °C) sobre la mezcla mediante pulverización y mezcla manual. Este procedimiento se realizó cuantas veces fue necesario. La cantidad de agua aplicada se determinó en base al momento en que dicha mezcla dejaba de desprender polvo al ser removida. De esta forma la cantidad de agua fue diferente según las proporciones y materiales integrantes de cada mezcla.
- **Rotación:** se incorporó la mezcla al trómel y se comenzó el proceso de rotación, durante el cual se aplicó agua caliente en la mayoría de los casos, una parte mediante pulverización y otra mediante vaporización, y en el resto únicamente por pulverización. El agua se determinó mediante observación de la evolución del proceso y se añadió según las necesidades de cada mezcla. La pulverización se llevó a cabo con un pulverizador manual y la vaporización con una máquina eléctrica de producción de vapor de agua.



Figura 14. Granulado 1C:1Sf.

- **Granulación:** después de un tiempo variable, que dependió de las características de cada mezcla y de la humedad necesaria para cada material, se dio por finalizado el proceso.

En la mayoría de los casos se produjo una correcta granulación (Figura 14).

- **Secado:** por último, se extrajo el material granulado del trómel con cuidado de no deshacer los gránulos, puesto que estaban húmedos y blandos. Se dispusieron bien extendidos en bandejas de plástico cubiertas de papel secante, de este modo se produjo un secado gradual y lento al aire a temperatura ambiente.
- **Envasado:** se pasó cada muestra a envases plásticos de 1 l de capacidad etiquetados convenientemente hasta su uso posterior (Figura 15).



Figura 15. Envases plásticos para granulados.

### II. 2. 3. PRUEBAS DE GRANULACIÓN REALIZADAS.

#### II. 2. 3. 1. Granulado de carozo solo.

Se partió de una cantidad 600 g de carozo. Inicialmente se añadieron mediante pulverizador 100 ml de agua y durante el tiempo de rotación en el trómel otros 700 ml más (450 ml mediante pulverización y 250 ml por vaporización).

Se mantuvo la rotación durante 150 minutos.

### II. 2. 3. 2. Mezcla de carozo con escayola.

En este caso se utilizó escayola como aglomerante y se realizaron ensayos con distintas proporciones carozo:escayola.

Según el fabricante, la escayola utilizada tiene las siguientes características:

- Densidad:  $0,65 \text{ g cm}^{-3}$
- pH: 7,1
- Tamaño de grano:  $<0,2 \text{ mm}$
- Relación agua/yeso:  $0,8-1,2 \text{ l kg}^{-1}$ .

Se realizaron pruebas con las siguientes proporciones:

- ✓ Relación 1:1 en peso de carozo:escayola (relación en volumen 4:1). Se pesaron 800 g de carozo e igual cantidad de escayola. Inicialmente se aplicaron 200 ml de agua a la mezcla, y durante el proceso de giro se añadieron 1,25 l mediante pulverizador y 0,7 l mediante vaporizador. Se mantuvo el tambor girando durante 3 horas.
- ✓ Relación 4:3 en peso. Se realizó una mezcla de 600 g de carozo y 450 g de escayola. Inicialmente se añadieron 0,4l de agua a la mezcla. Durante la rotación en el tambor, se pulverizó 1 l más y se aplicaron 1,25 l de agua vaporizada. El proceso duró 2,5 horas.
- ✓ Relación 2:1 en peso de carozo:escayola. Supone una relación en volumen 8:1. Inicialmente no se aplicó agua a la mezcla. Se partió de 800 g de carozo y 400 g de escayola. Durante el tiempo de rotación del tambor se añadieron gradualmente 1,5 l de agua con pulverizador y 0,5 l de vapor. El proceso duró 1,5 horas.

### II. 2. 3. 3. Mezcla de carozo y superfosfato cálcico.

En este caso el aglomerante utilizado fue superfosfato cálcico con una riqueza del 18% en  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Se realizaron pruebas con tres proporciones distintas que se explicitan a continuación:

✓ Relación 1:1 en peso de carozo: superfosfato. Supone una relación en volumen 3 carozo:1 superfosfato. Se realizó una mezcla de 500 g de carozo y 500 g de superfosfato, se humedeció inicialmente con 300 ml de agua pulverizada. Posteriormente, en el proceso de giro, que duró 2,5 horas, se añadieron 1 l de agua pulverizada y 0,5 l de agua vaporizada.

✓ Relación 4:3 en peso. Para ello se mezclaron 600 g de carozo y 450 g de superfosfato cálcico. Dicha mezcla se humedeció inicialmente con 400 ml de agua pulverizada, posteriormente, en el proceso de rotación se administraron 700 ml de agua pulverizada y 0,5 l de vapor de agua. El tiempo invertido fue de 2,5 horas.

✓ Relación 2:1 en peso de carozo: superfosfato. Se utilizaron 600 g de carozo y 300 g de superfosfato, que se mezclaron manualmente. Dicha mezcla se humedeció inicialmente con 200 ml de agua mediante pulverización. A continuación se introdujo en el trómel donde se añadieron 0,8 l de agua pulverizada. El proceso de rotación se extendió a lo largo de 1,5 horas.

### II. 2. 3. 4. Mezcla de carozo y yeso.

El material utilizado como aglomerante en este grupo de pruebas de granulación fue sulfato cálcico hemihidratado, conocido comúnmente como yeso. Se realizaron las siguientes mezclas:

✓ Relación 1:1 en peso de carozo: yeso. Supone una relación en volumen 3 carozo:1 yeso. Partimos de 600 g de carozo y 600 g de yeso, se pulverizó inicialmente la mezcla con 200 ml de agua caliente. Posteriormente, en el proceso de giro, que duró 2 horas, se añadieron 1200 ml de agua, 800 ml por pulverización y 400 ml por vaporización (Figura 16).

✓ Relación 4:3 en peso de carozo:yeso. Para realizar la mezcla de partida, se pesaron 600 g de carozo y 450 g de yeso, a continuación se humedeció dicha mezcla con 400 ml de agua pulverizada. Posteriormente, en el proceso de rotación en el trómel fueron necesarios 300 ml de agua pulverizada y 0,5 l vaporizada. Se mantuvo la rotación durante un tiempo de 1,5 horas.

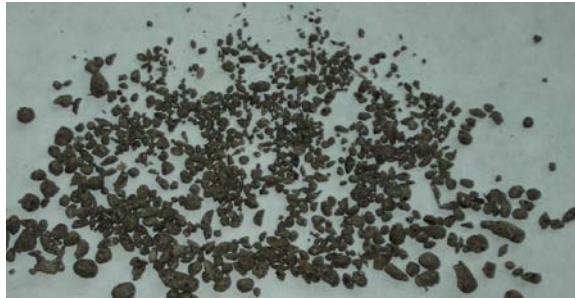


Figura 16. Granulado 1Carozo:1Yeso.

✓ Relación 2:1 en peso. La proporción en volumen fue 1 carozo:5 yeso. Para esta prueba se utilizaron 600 g de carozo y 300 g de yeso. Se humedecieron inicialmente con 250 ml de agua pulverizada y, posteriormente durante el periodo de rotación se añadieron 0,5 l de agua pulverizada y 0,5 l en forma de vapor de agua. El proceso de rotación duró en este caso 1,25 horas.



**II. 3. CO-COMPOSTAJES.****II. 3. 1. MATERIALES UTILIZADOS.**

Con el objeto de conseguir el mejor producto posible a base de carozo, que pudiera ser utilizado como sustrato o fertilizante sin ningún tipo de restricción, nos planteamos el co-compostaje como una estrategia adecuada para mejorar algunas de las características más negativas detectadas en los análisis físico-químicos y ensayos de producción realizados anteriormente con carozo.

Para ello, se eligieron dos tipos de materiales, sustrato agotado de champiñón y paja, que se compostaron en mezcla con carozo.

Las características físico-químicas del sustrato agotado de champiñón, proporcionado por el Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón de La Rioja, son:

– Materia orgánica total	81,9%
– Materia seca	59%
– pH	8,0
– CE	6,17 dS m <sup>-1</sup>
– Relación C/N	8,1
– Nitrógeno Kjeldahl (N)	3,00%
– Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,45%
– Potasio total (K <sub>2</sub> O)	2,46%
– Magnesio (Mg)	1,25%
– Calcio (Ca)	7,46%
– Hierro	0,33%

La paja de cereal utilizada en co-compostaje con el carozo presentaba las siguientes características:

– Materia seca	80%
– Relación C/N	70
– Nitrógeno Kjeldahl (N)	0,47%
– Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,13%
– Potasio total (K <sub>2</sub> O)	1,01%

La elección de estos materiales se basó en las siguientes razones:

- Sustrato agotado de champiñón: se seleccionó este producto debido a que presentaba un pH básico, lo que pensamos que permitiría neutralizar, al menos en parte, el pH

ácido del carozo. De esta forma el compost final tendría un pH más adecuado para el cultivo de planta. Además, era un residuo ampliamente estudiado en la bibliografía (López-Cuadrado y col., 2004; Benito y col., 2004) y disponible, debido a contactos previos con investigadores del Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón de La Rioja.

- Paja de cereal: el motivo principal que nos llevó a elegir este material para realizar el co-compostaje fue el hecho de que esta mezcla contribuiría a mejorar la estructura del compost final obtenido, disminuyendo los riesgos de compactación que habíamos observado en algunos de los ensayos realizados anteriormente. Además su relación C/N es elevada lo que haría aumentar la relación C/N inicial, y compensaría el elevado contenido en nitrógeno del carozo. También resultó determinante la disponibilidad de la paja de cereal en la zona y su reducido coste.

### II. 3. 2. PROCEDIMIENTO.

En primer lugar se homogeneizaron todos los materiales en cuanto a tamaño de los componentes integrantes de cada uno de ellos. Para conseguir este objetivo se pasaron por una picadora de compost Viking GE-250.

Las mezclas se realizaron en volumen y las proporciones elegidas fueron:

- 1 parte carozo: 1 sustrato agotado de champiñón (1Cz: 1Ch).
- 1 carozo: 1 paja de cereal (1Cz: 1Pj).

Se mezclaron los componentes de forma manual asegurándose de realizar una mezcla lo más homogénea posible y se introdujo cada una de estas mezclas en una compostadora de dimensiones 40x60x50 cm con orificios de ventilación laterales y rejilla inferior para evacuación de líquidos (Figura 17 izquierda).

Estas compostadoras se situaron dentro del Invernadero 1, sobre suelo de tierra, en la zona del invernadero con cubierta de polietileno y ventilación con ventanas cenitales automática.

A lo largo del proceso se realizaron volteos cada 20 días y se humedecieron las mezclas, mediante rociado con agua, durante el volteo, para asegurar una humectación homogénea de toda la masa.

Además, cada 40 días se tomaron muestras para controlar las variaciones de pH, CE y contenido de humedad sufridas durante el co-compostaje.



Figura 17. Compostadora (izquierda) y pilas de co-compostaje (derecha) al final del proceso.

A los 120 días de compostaje se vaciaron las compostadoras y se depositaron los compost en el suelo del Invernadero 2 sobre plástico transparente (Figura 17 derecha). Se mantuvieron así durante 30 días para finalizar su proceso de maduración, periodo tras el cual se dio por terminado el proceso y se procedió a la toma de muestras para determinar las características físico-químicas más importantes de los compost finales obtenidos.



### II. 4. DETERMINACIÓN DE FITOTOXICIDAD MEDIANTE BIOENSAYOS DE GERMINACIÓN.

Los bioensayos o ensayos biológicos han surgido como una herramienta eficiente, rápida y económica para determinar los niveles de fitotoxicidad de materiales orgánicos de cualquier procedencia y tipo de procesado.

#### II. 4. 1. MATERIAL VEGETAL.

Se utilizaron semillas indicadoras de fitotoxicidad, y las utilizadas en los ensayos de producción posteriores. Así, en las distintas pruebas de fitotoxicidad se utilizaron algunas de las siguientes especies, que se concretarán en cada ensayo:

- ✓ Lechuga: *Lactuca sativa* L. cv. Maravilla de Verano y cv. Batavia Rubia-Munguía.
- ✓ Rabanito: *Raphanus sativus* L.
- ✓ Berro: *Lepidum sativum* L.
- ✓ Tomate: *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Roma.

#### II. 4. 2. DISEÑO DEL ENSAYO.

##### II. 4. 2. 1. Bioensayos de fitotoxicidad en extracto líquido.

En este caso se utilizó la metodología descrita por Vanero y col. (2007). Se prepararon extractos de todos los materiales en proporción 1:5 (material objeto del ensayo: agua destilada) para lo cual se siguieron los pasos que se enumeran:

- Se pesaron en balanza de precisión 50 g de cada uno de los materiales a analizar.
- Se colocó cada material pesado en un bote de plástico y se añadieron 250 ml de agua destilada, para conseguir un extracto en una proporción 1:5.
- Se agitó enérgicamente la mezcla, se tapó y se dejó reposar durante 3 horas para asegurar la extracción de compuestos con posible acción fitotóxica desde el material objeto de estudio al agua.
- Posteriormente, se filtró la solución saturada obtenida mediante bomba de vacío para obtener el extracto.

A continuación se prepararon placas Petri con un disco de papel de filtro Whatman 41 en el fondo sobre el que se añadieron 10 ml de cada extracto que humedecieron totalmente el papel de filtro. Por último, se depositaron 10 semillas por placa (Figura 18) de la especie indicadora seleccionada en cada caso.

Se realizó también un tratamiento testigo, con 10 ml de agua destilada, para actuar como control en cada ensayo.

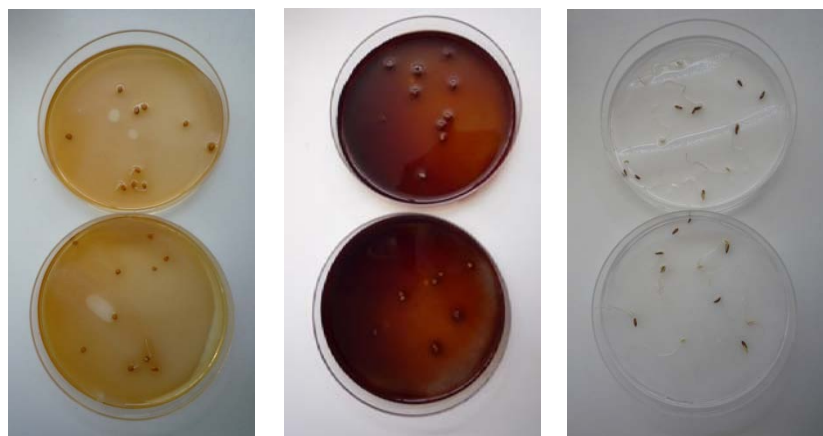


Figura 18. Distintas semillas sobre extractos en proporción 1:5 (izquierda y centro) y control sobre agua (derecha).

Una vez preparadas todas las placas se introdujeron en una cámara de germinación, donde se mantuvieron a 24 °C hasta que el porcentaje de germinación del testigo alcanzó el 90%. Este tiempo osciló entre 3 y 6 días para las distintas semillas. Se colocaron las placas en la cámara siguiendo un diseño experimental en bloques al azar, teniendo en cuenta que contábamos con 5 repeticiones para cada uno de los tratamientos.

### II. 4. 2. 1. Bioensayos de fitotoxicidad sobre sustrato.

En este tipo de bioensayos se trata de determinar la fitotoxicidad de los sustratos o mezclas de sustratos utilizados en producción. Su interés radica en que la semilla se encuentra en unas condiciones similares a las que tendría al germinar en contenedor una vez sembrada.

Para ello se procedió de la siguiente forma: se prepararon placas de Petri con un disco de papel de filtro Whatman 41 en el fondo, se añadió un volumen de sustrato sin apelmazar, de tal forma que llegara hasta el borde de la base de la placa. Se humedeció el sustrato con agua y se depositaron sobre él 10 semillas de la especie indicadora seleccionada en cada caso.

Se realizó un tratamiento testigo con turba para actuar como control (Figura 19).

A continuación se introdujeron las placas en una cámara de germinación, donde se mantuvieron a 25 °C en oscuridad durante un tiempo determinado que, según el tipo de semilla utilizada, osciló entre 3 y 6 días.

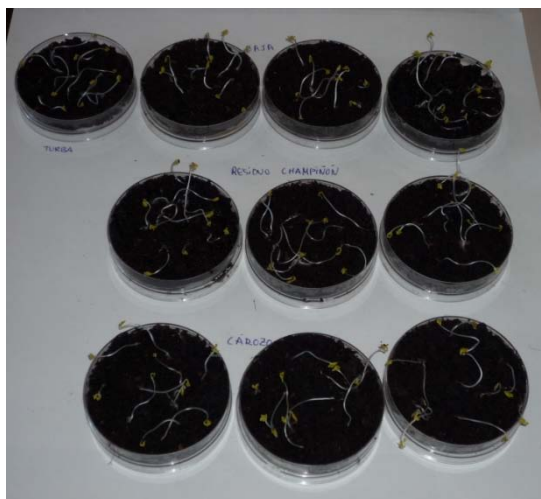


Figura 19. Ensayo de fitotoxicidad sobre sustrato.

Se realizó un diseño experimental en bloques al azar contando cada uno de los tratamientos con 5 repeticiones para cada una de las especies de semillas evaluadas.

### II. 4. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS.

Tanto en los ensayos de fitotoxicidad en extracto acuoso, como en los realizados directamente sobre sustrato, se calcularon los siguientes parámetros:

✓ Porcentaje de Germinación (G). Se determinó el número de semillas germinadas, una vez transcurrido el tiempo de ensayo, respecto al total de semillas depositadas en cada placa, que fueron 10 en todos los casos. Con este dato se obtuvo una media aritmética de las semillas germinadas por placa y se calculó el porcentaje de germinación según la siguiente expresión:

$$G = \frac{\text{N}^\circ \text{ semillas germinadas}}{10}$$

✓ Porcentaje de Germinación Relativo (PGR). Su cálculo fue necesario para obtener posteriormente el Índice de Germinación (IG). Este parámetro se calculó utilizando el porcentaje de germinación anterior, mediante la expresión que aparece a continuación:

$$\text{PGR} = \frac{\% \text{ de Germinación en el extracto}}{\% \text{ de Germinación en el control}} \times 100$$

✓ Crecimiento de la radícula. Se midió la elongación de la raíz de cada semilla germinada mediante un calibrador o regla milimétrica (Figura 20). Estos datos se sometieron a tratamiento estadístico, mediante el programa informático STATGRAPHICS-PLUS 5.0, para determinar si existían diferencias significativas entre los distintos materiales evaluados.



Figura 20. Medida del crecimiento de radícula mediante regla milimétrica.



Los datos obtenidos de crecimiento radicular se utilizaron para poder calcular la Elongación de Radícula Relativa (ERR) utilizando la siguiente expresión:

$$ERR = \frac{\text{Elongación media de radículas en extracto (cm)}}{\text{Elongación media de radículas en control (cm)}} \times 100$$

✓ Índice de germinación (IG). Una vez conocidos el PGR y la ERR se calculó el Índice de Germinación, de la siguiente forma:

$$IG = \frac{PGR \times ERR}{100}$$

El valor que tome este índice nos sirve para determinar los riesgos de fitotoxicidad de cada uno de los materiales evaluados, para su posible utilización en producción de plantas. Hemos utilizado la siguiente escala para categorizar la fitotoxicidad de los distintos materiales:

- ✓ IG  $\geq$  80%: materiales libres de fitotoxicidad.
- ✓ IG entre 50-79%: materiales moderadamente fitotóxicos.
- ✓ IG  $<$  50%: materiales con elevado riesgo de fitotoxicidad.

El valor de este índice está en función del tipo de semilla, puesto que cada una responde a la fitotoxicidad con una sensibilidad diferente.



---

## **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---



**III. 1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.****III. 1. 1. CAROZO.**

Se analizaron seis muestras de carozo recogidas entre los años 2002 y 2008, cuatro procedentes de la empresa Apicasfer y dos de la cooperativa Apihurdes.

A la vista de los resultados medios de los análisis recogidos en la Tabla 1 podemos ver que este material tiene un porcentaje de humedad del 6,87%, este valor está muy por debajo del 15% de humedad que se considera limitante para la comercialización de un producto como sustrato.

Respecto al porcentaje de materia orgánica (MO), señalar que es muy alto, puesto que alcanza un valor de más del 82%. En base a este nivel tan elevado, este residuo puede ser considerado con valor orgánico, según Danés y Boixadera (2001), ya que el contenido de materia orgánica es mayor del 40% sobre materia seca. Debemos señalar además, que la presencia de materia orgánica en un sustrato es una característica muy importante de cara a su posterior utilización en producción, ya que actúa como un reservorio dosificador de nutrientes, no sólo en cuanto a que dota a los materiales de una capacidad de intercambio catiónico elevada, sino también por la capacidad que posee de posibilitar la transformación de cationes metálicos en complejos metálicos solubles en forma disponible para la planta. Por otro lado, también actúa como sumidero de metales pesados, reduciendo los riesgos de fitotoxicidad causada por los mismos (Burés, 1997). En vista de todo ello, podemos concluir que la materia orgánica tiene una influencia favorable, ampliamente asumida por todos los autores, sobre la fertilidad del suelo o sustrato y en consecuencia, sobre el desarrollo de los cultivos realizados sobre ellos.

En segundo lugar analizaremos la conductividad eléctrica (CE) que nos sirve para caracterizar los riesgos de salinidad de cualquier material. En el caso del carozo es de 6,05 dS m<sup>-1</sup>, este valor es elevado puesto que se consideran valores apropiados, para el cultivo de plantas, aquellos comprendidos entre 2 y 3,5 dS m<sup>-1</sup> como señalan Abad y col. (2002) en su trabajo. Este valor limitaría la utilización de este residuo como sustrato único, aunque sería adecuado para utilizarlo como fertilizante o como sustrato en mezcla con materiales poco salinos. De hecho es un problema habitual en muchos materiales orgánicos, por ejemplo Herrera y col. (2008) referencian

valores de más de  $10 \text{ dS m}^{-1}$  en distintas muestras de compost de residuos sólidos urbanos y Albuquerque y col. (2006) utilizan distintos materiales con conductividades eléctricas situadas entre 3,1 y  $5,3 \text{ dS m}^{-1}$ .

Tabla 1. Resultados medios del análisis físico-químico de carozo.

	<b>Carozo</b>	<b>Valores óptimos<sup>1</sup></b>
<b>Humedad (%)</b>	6,87 (4,04)	
<b>Materia Orgánica (%)</b>	82,67 (4,04)	>80
<b>CE (<math>\text{dS m}^{-1}</math>)</b>	6,05 (2,91)	2-3.5
<b>pH</b>	4,74 (0,6)	5,2-6,3
<b>CIC (<math>\text{cmol Kg}^{-1}</math>)</b>	45,72 (11,00)	>20
<b>Relación C/N</b>	8,42 (2,16)	20-40
<b>Relación C/P</b>	125 (19,4)	
<b>Relación N/P</b>	13,89 (3,3)	
<b>D<sub>A</sub> (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</b>	0,41 (0,08)	<0,4
<b>D<sub>R</sub> (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</b>	1,57 (0,05)	1,45-2,65
<b>EPT (%)</b>	73,5 (6,2)	>85

CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, D<sub>A</sub>: densidad aparente, D<sub>R</sub>: densidad real, EPT: espacio poroso total, 1: de acuerdo con Abad y col. (1993). Desviación estándar entre paréntesis.

El pH es ácido (4,74) y por tanto, poco adecuado para el cultivo de la mayoría de las especies vegetales. Ésta es una de las características susceptibles de ser mejoradas mediante la mezcla de carozo con otros materiales capaces de aumentar el pH final de la mezcla hasta niveles dentro del rango de pH tolerable por los cultivos.

El carozo presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta, de  $45,72 \text{ cmol Kg}^{-1}$ , como era de esperar debido al contenido tan elevado de materia orgánica comentado anteriormente, puesto que estos dos parámetros suelen tener una relación directa, del mismo modo Noguera y col. (1997) obtienen una capacidad de intercambio catiónico también alta, de  $73,3 \text{ cmol Kg}^{-1}$ , en residuos de fibra de coco. La CIC se podría definir de manera sencilla como la capacidad que tiene cualquier material de retener nutrientes en forma catiónica. Es importante que los compost tengan una CIC alta, puesto que es uno de los parámetros que se utilizan para determinar la

calidad de un sustrato. Así podemos concluir que los materiales utilizados como sustratos con una CIC elevada retienen los elementos nutritivos y, como señala Burés (1997), los ponen a disposición de la planta por intercambio con iones hidrógeno generados en la respiración radicular. Además, retienen no sólo los nutrientes propios, sino también los nutrientes que se añadan a lo largo del cultivo por medio del abonado, evitando su pérdida por lavado y poniéndolos a disposición de las plantas.

La relación C/N es indicativa del origen, grado de madurez y estabilidad de la materia orgánica, ya que su valor depende de la naturaleza del material y decrece a medida que fermenta la materia orgánica, como señalamos anteriormente. Como nos dice Burés (1997), la relación C/N varía en los sustratos, de forma general, entre 5 y 30 y un valor inferior a 20 se suele tomar como indicador de madurez y estabilidad. En nuestro caso, esta relación se encuentra alrededor de 10.

Las relaciones C/P y N/P son también importantes en los procesos de transformación de la materia orgánica, Bueno y col. (2008) estudiando el compostaje de forma general señalan que la relación C/P óptima estaría entre los valores de 75 y 150, en nuestro caso tenemos una relación C/P de 125, que se encuentra dentro de los valores óptimos señalados. En el caso de la relación N/P estos mismos autores dan un rango óptimo de 5-20, en el carozo esta relación se sitúa en 13,9, valor que estaría encuadrado dentro del rango óptimo.

La densidad aparente es de  $0,41 \text{ g cm}^{-3}$ , este valor se considera adecuado, aunque está en el límite de los considerados óptimos por Abad y col. (1993). Urrestarazu y col. (2005) en su estudio sobre residuos de cáscara de almendra tienen también unas densidades de  $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ . La densidad real, siempre mayor que la densidad aparente tiene un valor medio de  $1,57 \text{ g cm}^{-3}$ , dicho valor se encuentra dentro del rango óptimo. El EPT representa un 73,5% y está por debajo del óptimo que según Abad y col. (1993) debe ser superior a un 85% en volumen.

En cuanto al contenido en elementos químicos (Tabla 2) analizaremos aquellos que se consideran importantes desde el punto de vista de la nutrición vegetal.

Tabla 2. Resultados medios del análisis químico de carozo.

	<b>Carozo</b>
<b>Nitrógeno total (%)</b>	5,42 (0,75)
<b>Fósforo total (%)</b>	0,39 (0,21)
<b>Fósforo asimilable (ppm)</b>	6,9 (9,14)
<b>Potasio total (%)</b>	0,50 (0,27)
<b>Potasio asimilable (ppm)</b>	2300 (1100)
<b>Carbono total (%)</b>	48,79 (9,23)
<b>Azufre total (%)</b>	0,32 (0,15)
<b>Calcio total (ppm)</b>	3207 (1735)
<b>Calcio asimilable (ppm)</b>	262 (29)
<b>Magnesio total (ppm)</b>	1130 (583)
<b>Magnesio asimilable (ppm)</b>	28 (3)
<b>Boro total (ppm)</b>	165 (43)
<b>Hierro total (ppm)</b>	1283 (721)
<b>Cobre total (ppm)</b>	34 (12)
<b>Cinc total (ppm)</b>	252 (69)
<b>Manganeso total (ppm)</b>	82 (60)

Desviación estándar entre paréntesis.

Si analizamos los porcentajes de nitrógeno recogidos por Soliva y Paulet (2001) para distintos tipos de residuos utilizados como sustratos, podemos ver que se encuentran comprendidos entre 1,25% y 2,23%. Este porcentaje es mucho mayor en el carozo, ya que se sitúa en un 5,42%. El compost de residuos sólidos urbanos tiene contenidos menores, del 3% (Herrera y col., 2008) y aún menores los encontramos en fibra de coco, con porcentajes de nitrógeno del 0,4% (Noguera y col., 1997).

El contenido medio de fósforo total es de 0,39% y sería un poco bajo si lo comparamos con los valores de otros materiales utilizados como sustratos cuyos porcentajes, según Soliva y Paulet (2001) oscilan entre 0,57 % y 2,73%, aunque en compost de residuos sólidos urbanos Herrera y col. (2008) referencian valores más bajos, menores de 0,2%.

Los niveles de potasio total son bajos. Sin embargo, el contenido en potasio asimilable, mucho más importante desde el punto de vista



de la nutrición de las plantas, se considera óptimo (Casas y Casas, 1999).

Los porcentajes de magnesio total son medios ya que se sitúan en 1130 ppm, con bastantes diferencias entre las distintas muestras analizadas, puesto que tenemos una desviación de 583. Albuquerque y col. (2006) obtienen unos valores de magnesio altos, de 2900 ppm, en compost de alperujo.

Respecto al último de los nutrientes secundarios, el calcio, vemos en la Tabla 1, que el contenido medio de calcio total es de 3207 ppm, de las cuales 262 ppm estarían en forma asimilable.

En cuanto a los oligoelementos podemos señalar que:

- El hierro aparece en proporciones consideradas altas, 1283 ppm, aunque no resulta fitotóxico.
- El contenido en boro es de 165 ppm, este valor sería medio-bajo.
- El cobre presenta unas proporciones bajas, de 34 ppm, situándose muy por debajo de 70 ppm, por lo que sería considerado como un fertilizante de Clase A (Real Decreto 824/2005).
- Los niveles de cinc son elevados, de hecho debido a este valor y según el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes y el Real Decreto 865/2010 sobre sustratos de cultivo, el carozo estaría en la Clase B, que integra productos con contenidos de cinc situados entre 200 y 500 ppm. En nuestro caso, el valor medio de cinc es de 252 ppm, cerca del límite inferior de dicha clase, de hecho alguna de las muestras analizadas tenían menos de 200 ppm. En base a esta clasificación el carozo no podría utilizarse para el cultivo de plantas destinadas al consumo humano como sustrato único, aunque sí en distintas mezclas con otros materiales, de forma que se redujeran los niveles de cinc por debajo del valor de referencia.
- El manganeso se considera alto cuando un material continen más de 50 ppm y en nuestro caso tenemos unos valores muy altos ya que el contenido medio del carozo es de 82 ppm.

### III. 1. 2. ANÁLISIS DEL CAROZO A LO LARGO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.

Se han analizado algunos parámetros importantes cuya variación sirve para caracterizar el proceso de compostaje, los resultados obtenidos (al inicio, a los 40, 90 y 150 días) pueden verse recogidos en la Tabla 3.

La materia orgánica desciende ligeramente durante el compostaje a causa de la acción de los microorganismos. Estas pérdidas se producen por difusión del CO<sub>2</sub>, generado en la respiración celular, hacia la atmósfera. Este hecho ha sido referenciado por otros autores (Alburquerque y col., 2006).

Tabla 3. Evolución de algunos parámetros importantes para la caracterización del compostaje de carozo.

	0 días	40 días	90 días	150 días
<b>Materia Orgánica (%)</b>	92,1	90,1	88,7	89,2
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	6,9	6,1	3,5	2,9
<b>pH</b>	4,6	5,3	6,1	5,9
<b>Relación C/N</b>	7,96	8,85	10,98	10,69
<b>Nitrógeno total (%)</b>	5,7	5,57	5,39	5,09

CE: conductividad eléctrica.

Respecto a la conductividad eléctrica, representativa de la salinidad, vemos en la Tabla 3 que el carozo es un material muy salino en origen, con una conductividad media de 6,9 dS m<sup>-1</sup> y, como era de esperar, esta salinidad disminuye a medida que avanza el compostaje situándose en 2,9 dS m<sup>-1</sup> al final del proceso (Figura 21). Este descenso se produce principalmente por lavado de parte de las sales, puesto que durante el proceso de compostaje se añade agua que se evacúa posteriormente por drenaje produciendo un arrastre de las sales presentes inicialmente en el carozo.

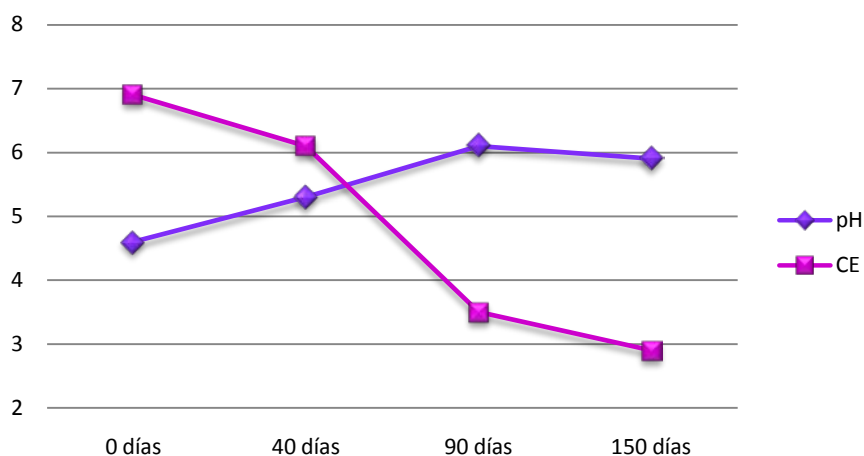


Figura 21. Evolución de pH y CE (dS m<sup>-1</sup>) durante el proceso de compostaje.

El pH del material en origen es bastante ácido (4,6), debido seguramente a la presencia de ácidos orgánicos de cadena corta. Este hecho hace que el carozo no pueda ser utilizado directamente, sino que debe sufrir algún tipo de transformación, como las que tienen lugar durante el compostaje, para poder ser utilizado como sustrato para cultivo. Como vemos en la Tabla 2, durante el proceso de compostaje el pH se eleva y luego desciende ligeramente al final del periodo de maduración (150 días), esta evolución del pH, que puede verse gráficamente en la Figura 19, es similar a la observada por Aparna y col. (2008) que señalan que el aumento del pH ocurriría debido a la producción de amonio, por degradación del nitrógeno orgánico, llevada a cabo por los microorganismos presentes durante el compostaje. El descenso posterior sería debido a la rápida conversión del amonio en nitrato y/o nitrito (Tiquia y col, 1997). Bunt (1988) determinaba como rango de pH óptimo, para el crecimiento de plantas en contenedor, el situado entre 5,2 y 6,3. Por otro lado, Abad y col. (2001) estiman que este rango óptimo debe situarse entre 5,3 y 6,5. El pH del carozo es de 5,9, al final del proceso sufrido, luego se encuentra dentro del rango óptimo determinado en ambos trabajos y por tanto, este factor no sería limitante para el crecimiento de la mayoría de las plantas.

La relación C/N se sitúa en torno a 10 a lo largo de todo el proceso de compostaje por lo que el material, desde el punto de vista de este parámetro, se considera estable tanto fresco como compostado. Este hecho se produce por el elevado contenido en

nitrógeno del residuo que hace que el valor de esta fracción se mantenga bajo.

A la vista de los parámetros estudiados hemos detectado que el carozo presenta algunos inconvenientes para someterse a un proceso de compostaje. Uno de ellos sería la baja relación C/N en el material fresco, que supone un desequilibrio en nitrógeno, que al inicio del compostaje no es adecuado para el proceso. También influye negativamente el pH ácido (4,6), puesto que está comprobado que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos (Bueno y col., 2008). Otro aspecto importante, es el hecho de que en el proceso de extracción se alcanzan temperaturas de 90-100 °C, con lo cual la mayor parte de los microorganismos, necesarios posteriormente para llevar a cabo el proceso de compostaje, desaparecen. El último factor a tener en cuenta sería la alta resistencia a la degradación de muchos de los componentes del carozo, sobre todo los restos de insectos con alto contenido en quitina.

Por todo ello, hemos de decir que, aunque las condiciones a las que hemos sometido al carozo con el objetivo de obtener compost han mejorado en cierta medida alguna de sus características (aumento del pH y disminución de la CE), en realidad no hemos obtenido un compost típico.

## III. 2. GRANULACIÓN.

## III. 2. 1. GRANULADOS OBTENIDOS.

Los resultados de las pruebas de granulación realizadas fueron satisfactorios puesto que se obtuvo una granulación positiva en 7 de las 10 pruebas realizadas. Únicamente resultó imposible obtener un granulado a partir de carozo sólo y de las mezclas 2Carozo:1Yeso y 2Carozo:1Escayola. En el caso del carozo la granulación no fue posible debido a la ausencia de un material aglutinante y en los otros dos casos debido probablemente, a que la cantidad de aglutinante utilizada (yeso y escayola respectivamente) resultó insuficiente para conseguir la cohesión adecuada que diera lugar a gránulos durante el proceso de rotación.

Las cantidades utilizadas de cada producto, el agua aportada y el resultado de la granulación de todas las pruebas realizadas puede consultarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen del procedimiento y resultados de granulación.

Peso inicial (g)		R	Agua añadida (ml)			T (m)	Resultado
Cz	Aglomerante		Inicial	Pulverización	Vapor		
600			100	450	250	150	No
800	800 E	1:1	200	1250	700	180	Si
600	450 E	4:3	400	1000	1250	150	Si
800	400 E	2:1		1500	500	90	No
500	500 Sf	1:1	300	1000	500	150	Si
600	450 Sf	4:3	400	1000	500	150	Si
600	300 Sf	2:1	200	800		90	No
600	600 Y	1:1	200	800	400	120	Si
600	450 Y	4:3	400	1000	1250	90	Si
600	300 Y	2:1	250	500	500	75	Si

Cz: Carozo, Y: yeso, Sf: superfosfato, E: escayola, R: relación, T: tiempo.

Por tanto se consiguieron formular fertilizantes granulados con las siguientes composiciones: 1Carozo:1Yeso, 4Carozo:3Yeso, 1Carozo:1Escayola, 4Carozo:3Escayola, 1Carozo:1Superfosfato cálcico, 4Carozo:3Superfosfato cálcico y 2Carozo:1Superfosfato

cálcico. A la vista de los resultados consideramos que el resultado de los ensayos de granulación fue altamente positivo.

Como resumen de las experiencias de granulación se pueden realizar las siguientes consideraciones:

- Para producir gránulos mediante el método utilizado es necesario añadir una sustancia aglomerante (escayola, superfosfato, o yeso) al carozo. Este resultado concuerda con los de (Wilson, 1962), en que independientemente de la cantidad de agua utilizada no se consigue granulación de la materia orgánica sólo mezclando. Otras experiencias (Roepel y col., 2005) han logrado la granulación mediante el control de la humedad de la mezcla, pero utilizando mecanismos en que se modifica el grado de humedad durante el proceso mediante corrientes de aire y usando mezcladoras cerradas en que se puede administrar y variar la presión del ambiente. Además, supone tiempos de rotación del orden de dos días. Otras experiencias de granulación de materia orgánica sin aplicación de aglomerante implican el uso de maquinaria que somete el material a presiones y temperaturas muy superiores a las del ambiente, a diferencia de nuestros ensayos, en que se emplea un material básico y un procedimiento respetuoso con el medio ambiente y con un gasto energético mínimo.
- Para que se produzca la granulación es necesaria la adición de una cierta cantidad de agua. Esta cantidad parece estar en relación con la proporción y características del agente aglomerante utilizado. Según Hardesty y col. (1942) la cantidad de agua y su temperatura deben ser apropiadas para que, en la fase líquida, se produzcan fuerzas de cohesión suficientes entre las partículas pequeñas del material, pero de forma que las grandes no se aglomeren durante el proceso de rotación, puesto que si no tendríamos una masa esférica en lugar de pequeños gránulos.
- El control de la humedad de la mezcla es muy importante, de forma que un exceso en la cantidad de agua añadida impide la granulación formando una masa pastosa o da lugar a pocos gránulos, irregulares y con mucha pérdida de material, ya que este queda adherido en grandes cantidades a las paredes del tambor.

- La adicción de vapor de agua mediante vaporizador eléctrico no parece determinar críticamente el resultado del granulado, respecto a la adicción mediante pulverización, si bien resulta importante el aumento de temperatura que ocasiona el vapor en la mezcla.

### III. 2. 2. ANÁLISIS DE GRANULADOS OBTENIDOS.

Los resultados del análisis de granulados se muestran en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Análisis físico-químico de granulados con carozo.

	H (%)	MO (%)	CE (dS m <sup>-1</sup> )	pH	CIC (cmol Kg <sup>-1</sup> )	C/N	D <sub>A</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	D <sub>R</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	EPT (%)
<b>1Cz:1Y</b>	6.8	42.7	10.3	5.3	25.0	10.6	0,54	1,96	72,4
<b>4Cz:3Y</b>	3.8	43.3	10.1	5.8	31.5	9.0	0,50	1,95	74,4
<b>1Cz:1E</b>	3.1	42.3	9.3	4.7	21.7	9.6	0,51	1,96	74,0
<b>4Cz:3E</b>	3.7	43.4	11.0	5.1	26.2	9.5	0,50	1,95	74,3
<b>1Cz:1Sf</b>	2.9	35.5	15.3	3.1	29.5	10.4	0,57	2,05	72,2
<b>4Cz:3Sf</b>	3.9	38.5	14.4	3.2	40.7	10.2	0,56	2,00	72,1
<b>2Cz:1Sf</b>	5.3	55.0	13.7	3.4	38.5	9.4	0,55	1,82	69,8

H: contenido de humedad, MO: materia orgánica, CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, C/N: relación carbono-nitrógeno D<sub>A</sub>: densidad aparente, D<sub>R</sub>: densidad real, EPT: espacio poroso total.

El porcentaje de humedad de los granulados se sitúa en torno al 4%, esta humedad es muy adecuada para su almacenamiento, transporte y distribución mecanizada en campo. Este valor está, en todos los casos muy por debajo del contenido máximo en humedad permitido por el Real Decreto 824/2005 para los abonos granulados o peletizados, que es del 14%.

El contenido en materia orgánica oscila entre 35,5 y 55%, estos valores superan el valor de referencia del 35% sobre materia seca que se toma como límite para que cualquier tipo de material sea considerado con valor como fertilizante orgánico.

La valores de CE (entre 9,3 y 15,3 dS m<sup>-1</sup>) son normales, teniendo en cuenta que una parte importante del gránulo es de naturaleza mineral.

Respecto al pH, tenemos bastantes diferencias entre unos gránulos y otros, en función del aglutinante utilizado, así los gránulos formulados a base de yeso tienen valores de pH (5,3 y 5,8) dentro del rango óptimo (5,2-6,3) marcado por Abad y col. (1993), mientras que el resto de granulados estarían fuera de dicho rango. Los gránulos que llevan escayola tienen unos pH cercanos al límite inferior del rango óptimo situándose en 4,7 y 5,1 y los gránulos con superfosfato presentan unos valores de pH tanto más ácidos cuanto más superfosfato integre la mezcla (de 3,1 a 3,4).

La CIC es menor que en el carozo, puesto que el contenido en materia orgánica disminuye a causa de la mezcla. Los valores varían entre 25,0 y 40,7 cmol Kg<sup>-1</sup>.

Por los valores de la relación C/N, entre 8 y 11, podemos deducir que los granulados son estables respecto a la materia orgánica que contienen, puesto que se sitúa por debajo de 20 que es el límite aceptable para la mayoría de los autores.

La densidad aparente de los gránulos es similar en todos ellos y oscila entre 0,50 y 0,57 g cm<sup>-3</sup>. La densidad real osciló entre 1,82 y 2,05 g cm<sup>-3</sup> y el EPT entre 69,8 y 74,4%, resultados normales para un granulado órgano-mineral.

Tabla 6. Análisis químico de granulados con carozo.

	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>Ca (ppm)</b>	<b>Mg (ppm)</b>
<b>1Cz:1Y</b>	3.0	0,2	0.3	32.0	3.6	103690	3000
<b>4Cz:3Y</b>	3.7	0,2	0.3	32.8	3.5	97000	3000
<b>1Cz:1E</b>	3.1	0,1	0.2	29.6	3.4	129230	5000
<b>4Cz:3E</b>	3.3	0.1	0.1	31.1	3.2	119440	5000
<b>1Cz:1Sf</b>	3.2	2.3	0.1	33.4	3.9	120350	3000
<b>4Cz:3Sf</b>	3.6	2.1	0.1	36.5	3.6	109610	2000
<b>2Cz:1Sf</b>	3.9	2.0	0.2	39.3	3.1	96050	1000

Al analizar los resultados del análisis químico (Tabla 6) podemos destacar la buena aportación de elementos principales, nitrógeno, fósforo y potasio con valores que permiten considerar a los granulados muy adecuados para su utilización en producción vegetal



como fertilizantes. De hecho, puesto que los granulados se han obtenido mediante la mezcla de un producto orgánico, el carozo, y un producto mineral, el material aglutinante, serían productos Organo-Minerales.

Respecto a los elementos secundarios azufre, calcio y magnesio (Tabla 6), vemos que las cantidades que presentan las distintas muestras son suficientes para responder a las necesidades de las plantas.

El contenido en calcio es mayor en los gránulos formulados utilizando superfosfato, lo cual es lógico porque el aglomerante utilizado aporta este elemento en cantidades elevadas. En menor medida, también aportan calcio a los gránulos, yeso y escayola, por ello todos los gránulos tienen un mayor contenido en calcio que el carozo. Algo similar ocurre con el azufre puesto que todos los materiales usados como aglomerantes aportan este elemento en cantidades variables.

Tabla 7. Análisis de microelementos en granulados con carozo.

	<b>Cu (ppm)</b>	<b>Fe (ppm)</b>	<b>Mn (ppm)</b>	<b>Zn (ppm)</b>	<b>B (ppm)</b>
<b>1Cz:1Y</b>	25	4000	40	200	*
<b>4Cz:3Y</b>	30	4000	50	300	*
<b>1Cz:1E</b>	30	2000	23	300	*
<b>4Cz:3E</b>	25	2000	27	200	*
<b>1Cz:1Sf</b>	20	2000	20	300	*
<b>4Cz:3Sf</b>	20	2000	25	300	*
<b>2Cz:1Sf</b>	30	2000	23	200	*

\* No detectado (menor de 50 ppm).

Señalar que la presencia de los micronutrientes, recogidos en la Tabla 7, es también, cuantitativamente importante desde el punto de vista de la nutrición vegetal, no presentándose problemas por exceso en ninguno de ellos. Según el Real Decreto 824/2005 podríamos encuadrar nuestros granulados de la siguiente forma:

- Clase A = 1C:1Y, 3C:4E y 2C:1Sf. Por debajo de los límites en los elementos analizados y con posibilidad de ser utilizados para cualquier tipo de cultivo.
- Clase B = 4C:3Y, 1C:1E, 1C:1Sf y 4C:3Sf. Por encima de 200 ppm de zinc, pero menores de 500 ppm.

## III. 3. CO-COMPOSTAJE.

## III. 3.1. SEGUIMIENTO DEL PROCESO.

Durante el proceso de co-compostaje de mezclas de carozo con sustrato agotado de champiñón y carozo con paja de cereal se extrajeron muestras a los 40, 80, 120 y 150 días con el fin de hacer un seguimiento de la evolución del contenido de humedad expresado en forma de porcentaje, de la conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y del pH, que nos permitieran caracterizar, en cierta medida, el transcurso del proceso.

Los resultados obtenidos para la evolución de estos tres parámetros pueden consultarse en la Tabla 8.

Tabla 8. Evolución de pH, CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y Humedad (%) a los 40, 80, 120 y 150 días de co-compostaje.

		40d	80d	120d	150d
CzCh	H (%)	27,5	25,0	15,1	12,4
	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	13,6	11,8	12,2	12,4
	pH	5,98	6,26	6,18	6,16
CzPj	H (%)	15,4	14,4	9,1	7,8
	CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	6,8	5,8	4,5	2,2
	pH	5,48	6,04	5,95	5,88

CzCh (mezcla de 1 carozo+1 sustrato agotado de champiñón), CzPj (mezcla de 1 carozo+1 paja de cereal), H: contenido de humedad, CE: conductividad eléctrica.

Como vemos (Tabla 8) la humedad disminuye de forma gradual a medida que avanza el proceso de compostaje, de forma similar a como sucedía en el caso del compostaje de carozo. Esta humedad está por debajo del 40%, que es el límite para la comercialización de sustratos a base de compost fijado en el Real Decreto 824/2005.

La CE (Figura 22) en el caso del CzCh disminuye ligeramente hasta los 80 días de compostaje y después se eleva, situándose al final del proceso en  $12,4 \text{ dS m}^{-1}$ , en este sentido Benito y col. (2004) referencian un comportamiento parecido en la evolución de la CE durante el compostaje de restos de poda cuando no existe control de los lixiviados. Esta evolución podría ser debida al alto porcentaje inicial de sales existentes, que habría producido una obturación total o parcial de los orificios de drenaje de la compostadora,

produciéndose problemas en el lavado de sales. Es posible que tenga lugar además, una mineralización elevada que compense en cierta medida las posibles pérdidas por lavado.

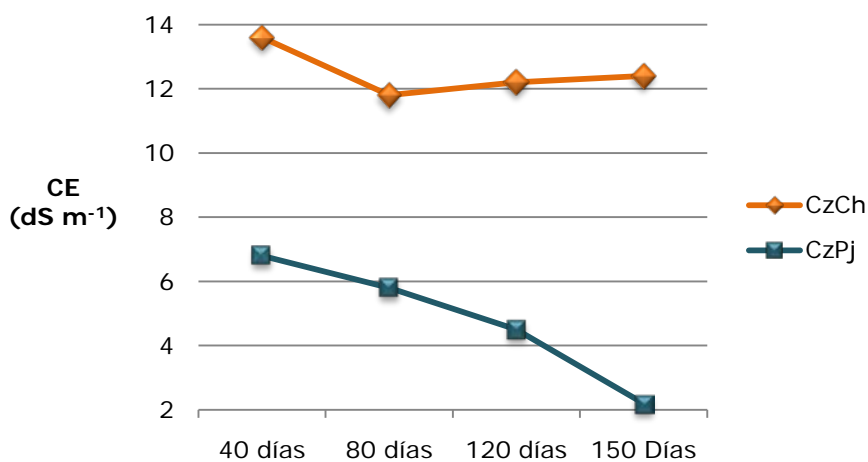


Figura 22. Evolución de la CE a lo largo del proceso de compostaje.

Para el co-compostaje de CzPj, lo que observamos es algo distinto, puesto que la CE disminuye durante el proceso pasando de un valor inicial de  $6,8 \text{ dS m}^{-1}$  a  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  al final del compostaje, seguramente debido a una mayor pérdida de sales por lavado, puesto que la mayor parte de sales proceden del carozo y la presencia de paja provoca una lixiviación más eficiente. Ésta es la evolución más habitual de la CE durante el proceso de compostaje (Kalamdhad and Kazmi, 2009).

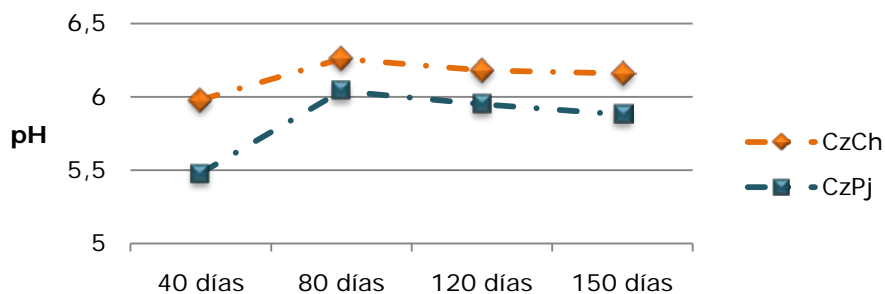


Figura 23. Evolución del pH durante el compostaje.

El pH en ambas mezclas aumenta hasta los 80 días y luego disminuye ligeramente, situándose al final del proceso en 6,16 para CzCh y en 5,88 para CzPj (Figura 23). Esta evolución es la más habitual en los procesos de compostaje y podemos ver un comportamiento parecido en el trabajo de Aparna y col. (2008) para compostajes de mezcla utilizando residuos industriales contaminados.

### **III. 3. 2 ANÁLISIS DE CO-COMPOST DE CAROZO CON RESIDUO AGOTADO DE CHAMPIÑÓN Y PAJA.**

Los resultados del análisis físico-químico de los productos finales obtenidos mediante el proceso de co-compostaje se muestran en la Tabla 9.

Como podemos ver el contenido de materia orgánica es alto en ambas mezclas (80,6% y 86,5% para CzCh y CzPj respectivamente), situándose por encima del valor óptimo fijado por Abad y col. (1993) en un 80% y mucho mayor del aportado por Danés y Boixadera (2001) para considerar a un residuo con valor orgánico, que se sitúa en el 40%.

Respecto a la CE tenemos grandes diferencias entre ambas mezclas, así el compost CzCh tiene un contenido en sales muy elevado puesto que presenta una CE de  $12,4 \text{ dS m}^{-1}$ , debido a que los dos materiales integrados en el co-compostaje eran muy salinos en origen. La CE del carozo era de  $6,05 \text{ dS m}^{-1}$  y del residuo agotado de champiñón de  $6,17 \text{ dS m}^{-1}$ , por lo que vemos que han existido problemas de lixiviación produciéndose una concentración de sales en el producto final. Sin embargo, aunque esto supone un problema a priori, encontramos en la bibliografía compost con conductividades aún mayores, como el compost de restos vegetales de cosecha estudiado por Mazuela y col. (2005) con una CE de  $26,98 \text{ dS m}^{-1}$ , que han sido utilizados con éxito en producción agrícola en mezcla con otros sustratos.

Por otra parte, en el caso del compost CzPj el valor de CE es de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ , este valor está dentro del rango óptimo propuesto por Abad y col. (1993). En este caso, la mezcla con paja ha servido para reducir la CE del carozo llevándola hasta niveles adecuados para el cultivo de plantas en contenedor.

Tabla 9. Análisis físico-químico de compost de carozo con residuo agotado de champiñón (CzCh) y paja (CzPj).

	<b>CzCh</b>	<b>CzPj</b>
<b>Humedad (%)</b>	12,4	7,8
<b>Materia Orgánica (%)</b>	80,6	86,5
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	12,4	2,2
<b>pH</b>	6,16	5,88
<b>Relación C/N</b>	9,21	9,60
<b>D<sub>A</sub> (g cm<sup>-3</sup>)</b>	0,36	0,20
<b>D<sub>R</sub> (g cm<sup>-3</sup>)</b>	1,58	1,54
<b>EPT (%)</b>	77,2	87,0
<b>CIC (cmol Kg)</b>	80,0	72,4
<b>Nitrógeno total (%)</b>	4,94	5,29
<b>Fósforo total (%)</b>	0,86	0,61
<b>Potasio total (%)</b>	1,43	1,36
<b>Azufre total (%)</b>	0,95	0,39
<b>Calcio total (ppm)</b>	30953	5802
<b>Magnesio total (ppm)</b>	5489	2422
<b>Boro total (ppm)</b>	*	*
<b>Hierro total (ppm)</b>	2024	1709
<b>Cobre (ppm)</b>	*	*
<b>Cinc total (ppm)</b>	376	352
<b>Manganeso total (ppm)</b>	352	276

CE: conductividad eléctrica, D<sub>A</sub>: densidad aparente, D<sub>R</sub>: densidad real, EPT: espacio poroso total, \*: No detectado (menor de 50ppm).

Los valores de pH en los dos compost son adecuados para el cultivo y están dentro del rango óptimo de pH de un sustrato (Abad y col., 1993). Esto es importante puesto que el pH de muchos compost de residuos orgánicos resulta ser bastante problemático, presentando valores demasiado básicos como son: compost de restos vegetales de cosecha (Mazuela y col., 2004), compost de estiércol vacuno

(Lazcano y col., 2009), compost de cáscara de almendra (Benito y col., 2005) y compost de residuos sólidos urbanos (Herrera col., 2008), entre otros.

La relación C/N, comúnmente usada como indicadora de madurez y estabilidad en la materia orgánica (Herrera y col., 2008), es similar en los dos productos obtenidos y está por debajo de 20, lo que nos indica que los compost son estables y maduros.

En cuanto a la densidad aparente, vemos en la Tabla 9 que está por debajo de  $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ , luego estaría dentro de los niveles óptimos marcados por Abad y col. (1993).

La CIC es de  $80,0 \text{ cmol Kg}^{-1}$  en CzCh y de  $72,4 \text{ cmol Kg}^{-1}$  en CzPj. Estos valores nos indican que los dos compost tendrán una alta capacidad para retener los nutrientes y ponerlos a disposición de las plantas cuando los necesiten.

Si nos fijamos ahora en el contenido en los tres nutrientes principales N, P y K, podemos ver que los niveles de nitrógeno son muy altos en las dos muestras. En la mezcla CzCh tenemos un contenido de 4,94% y en CzPj de 5,29% de nitrógeno. En ambos casos la mezcla de carozo no ha hecho disminuir demasiado los contenidos en este elemento, puesto que los valores medios de nitrógeno en el carozo eran de 5,42%.

Respecto a los valores de fósforo y potasio observamos que mejoran a los obtenidos en el carozo, debido al aporte de ambos elementos por el residuo agotado de champiñón y la paja de cereal. Tenemos 0,86 y 0,61% de fósforo en CzCh y CzPj respectivamente, frente a los 0,39% del carozo, estos valores son adecuados y estarían dentro del rango (0,57-2,73%) aportado por Soliva y Paulet (2001).

Los niveles de potasio son aún mayores, 1,43 y 1,36% en CzCh y CzPj respectivamente, mientras que el carozo contenía un 0,39%. Estos valores son altos si los comparamos con los encontrados por Herrera y col. (2008) para el compost de residuos sólidos urbanos que eran de 0,45% o los valores de 0,35% para compost de residuos de industrias papeleras (Stoffella y col., 1997).

Del resto de elementos químicos destacar el alto contenido en calcio aportado por el residuo agotado de champiñón a la mezcla, debido al encalado que sufren estos compost, dado que el pH óptimo de crecimiento del champiñón es básico.

Por último señalar que ambos compost contienen niveles de cinc por encima de 200 ppm luego, según el Real Decreto 865/2010 sobre sustratos de cultivo, serían de Clase B y no podrían ser utilizados como sustrato único para la producción de planta destinada al consumo humano. Podrían realizarse mezclas con turba que harían descender esos niveles, hasta situarlos en valores menores al límite de 200 ppm, de tal forma que dichas mezclas podrían ser utilizadas para producción de plantel hortícola sin ningún tipo de problema.



### III. 4. DETERMINACIÓN DE FITOTOXICIDAD MEDIANTE BIOENSAYOS DE GERMINACIÓN.

#### III. 4. 1. FITOTOXICIDAD DEL CAROZO.

En la siguiente tabla (Tabla 10) se muestran el Porcentaje de Germinación Relativo (PGR), la Elongación de Radícula Relativa (ERR) y el Índice de Germinación (IG) del carozo después de 40, 90 y 150 días de compostaje, determinados utilizando como especies indicadoras lechuga, rabanito, tomate y berro.

Tabla 10. Valores de los parámetros que indican fitotoxicidad durante el compostaje de carozo en semillas de lechuga, rabanito, tomate y berro.

		40 días	90 días	150 días
<b>Lechuga</b>	<b>PGR (%)</b>	34,8	44,6	62,8
	<b>ERR (%)</b>	25,7	38,5	39,5
	<b>IG (%)</b>	8,9	17,2	24,8
<b>Rabanito</b>	<b>PGR (%)</b>	25,0	75	100
	<b>ERR (%)</b>	26,6	64,4	84,4
	<b>IG (%)</b>	6,6	48,3	84,4
<b>Tomate</b>	<b>PGR (%)</b>	2,7	13,5	50,5
	<b>ERR (%)</b>	10,7	6,4	8,9
	<b>IG (%)</b>	0,3	0,9	4,5
<b>Berro</b>	<b>PGR (%)</b>	17,9	9,5	18,6
	<b>ERR (%)</b>	9,2	48,7	45,8
	<b>IG (%)</b>	1,6	4,6	8,5

PGR: porcentaje de germinación relativo, ERR: elongación de radícula relativo, IG: índice de germinación.

Con el carozo de 40 días los IG se sitúan por debajo de 9%, como vemos la inhibición del proceso de germinación y elongación radicular es bastante acusada. El carozo, después de 90 días de compostaje, todavía presenta valores de IG que indican una fitotoxicidad alta en lechuga, tomate y berro, con valores de 17,2%, 0,9% y 4,6% respectivamente. En el caso del rabanito esta fitotoxicidad es mucho menor puesto que se alcanzan valores de IG de 48,3%.

Si nos fijamos en la evolución del IG podemos ver como la inhibición va disminuyendo, por tanto el valor de IG aumenta, a medida que avanza el proceso de compostaje. Esta misma evolución ha sido constatada por otros autores como Aparna y col. (2008) que tienen valores de IG iniciales del 9-18% y finales del 74-86% en compost de sedimentos industriales contaminados y Raj y Antil (2011) estudiando el compostaje de residuos agroindustriales. Podemos ver este hecho de forma gráfica en la Figura 24, donde aparece representada la variación del Índice de Germinación para lechuga, rabanito, tomate y berro, a lo largo del proceso de compostaje.

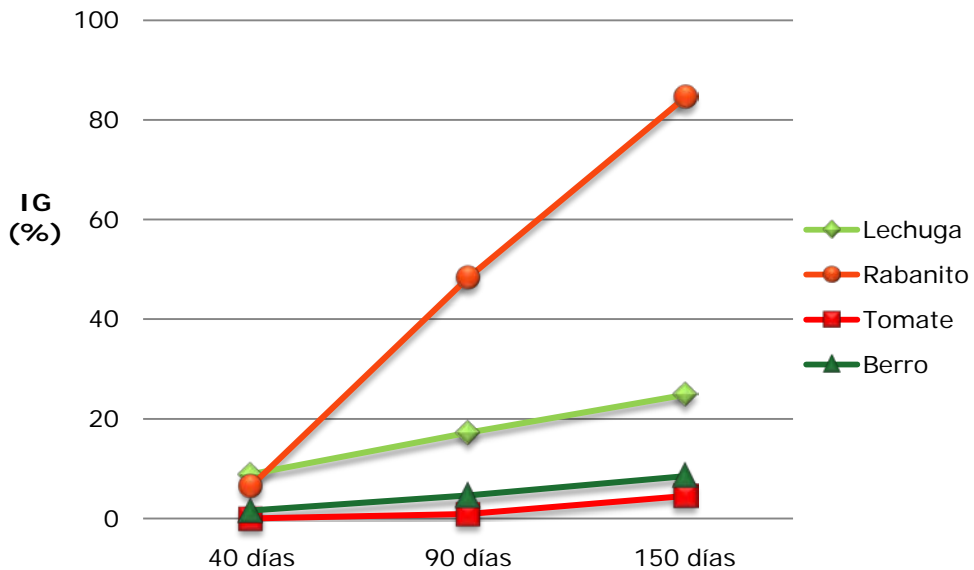


Figura 24. Evolución del IG utilizando semillas de lechuga, rabanito, tomate y berro durante el compostaje de carozo.

Con los datos finales y, teniendo en cuenta que para que un material pueda ser considerado no fitotóxico y por tanto utilizado como sustrato agrícola tiene que presentar un IG mayor o igual del 80% y para poder ser usado como fertilizante se requiere al menos un 50% de IG (Ortega y col., 1996), podemos concluir que tan solo en el caso del rabanito, con un IG al final del proceso de compostaje de 84,4% podríamos usar el carozo compostado como fertilizante y como sustrato.

En el caso de la lechuga al IG no llega al 30% luego tendremos que considerar al compost de carozo fitotóxico para este cultivo. La alta sensibilidad mostrada por la lechuga puede ser debida, entre otros factores, a la baja tolerancia de este cultivo a la salinidad (Carrión y col., 2004).

El tomate se revela como una especie altamente sensible a fitotoxicidad con los IG finales más bajos (4,5%). Ortega y col. (1996) ya obtuvieron valores de IG muy bajos, de 1,6% para las semillas de esta especie, en sustratos formulados a base de corteza de árboles.

Por último el berro, que es la especie más utilizada en la bibliografía desde que Zucconi y col. (1981) propusieran su metodología para evaluar la fitotoxicidad, aparece con un IG final de 8,5%. Estos valores son muy bajos y están lejos de los obtenidos en otros sustratos (Tiquia, 2010; Raj y Antil, 2011 y Aparna y col., 2008).

Como comentario final respecto al compostaje de carozo, si observamos en conjunto los valores presentados en la tabla, podemos ver que su fitotoxicidad no desaparece durante el proceso de compostaje, este hecho nos indica que dicho proceso no transcurre con normalidad y nos ha hecho pensar que este residuo, por las razones expuestas en el epígrafe III. 1. 2. de esta discusión, no composta bien por sí sólo. Por ello, podría ser necesario un pre-tratamiento como, por ejemplo, la realización de una siembra microbiana para posibilitar la descomposición de la materia orgánica presente, o la mezcla con otros componentes que garanticen un correcto transcurso del proceso de compostaje y que minimicen o incluso eliminen sus características más negativas o inadecuadas, que como hemos ido señalando son, principalmente: pH ácido y elevada salinidad.

### **III. 4. 2. FITOTOXIDAD DE LAS MEZCLAS DE CAROZO DURANTE EL PROCESO DE CO-COMPOSTAJE.**

Los resultados de fitotoxicidad del co-compostaje de carozo con sustrato agotado del cultivo de champiñón (CzCh) y con paja (CzPj) utilizando como especies indicadoras lechuga, berro y tomate, se presentan en las Tablas 11 y 12.

Si analizamos la fitotoxicidad a lo largo el proceso de compostaje de otros residuos observamos que en todos ellos la fitotoxicidad es alta en el residuo fresco y durante las fases iniciales del compostaje, mientras que al final del proceso esta fitotoxicidad se reduce mucho e incluso, en la mayoría de los casos desaparece (Tiquia, 2010; Raj y Antil, 2011 y Aparna y col., 2008).

En nuestro caso constatamos esa misma evolución, que puede verse con claridad en la representación gráfica recogida en la Figura 25. Para CzCh tenemos unos valores iniciales de IG que oscilan entre 7,5 y 37,3% y unos valores, al final del compostaje, de 35,9-131,9% (Tabla 9). Para el compostaje de CzPj tenemos unos valores iniciales de IG de más del 40% y los finales se sitúan entre 57,4% y 115,6% (Tabla 10).

Como podemos ver los valores de IG iniciales son mayores en todos los casos para la mezcla CzPj (línea discontinua en la Figura 25) que para la mezcla CzCh (línea continua en la Figura 25), mientras que los valores finales alcanzados en semillas de lechuga y berro son mayores en CzCh y en semillas de tomate son más altos en CzPj.

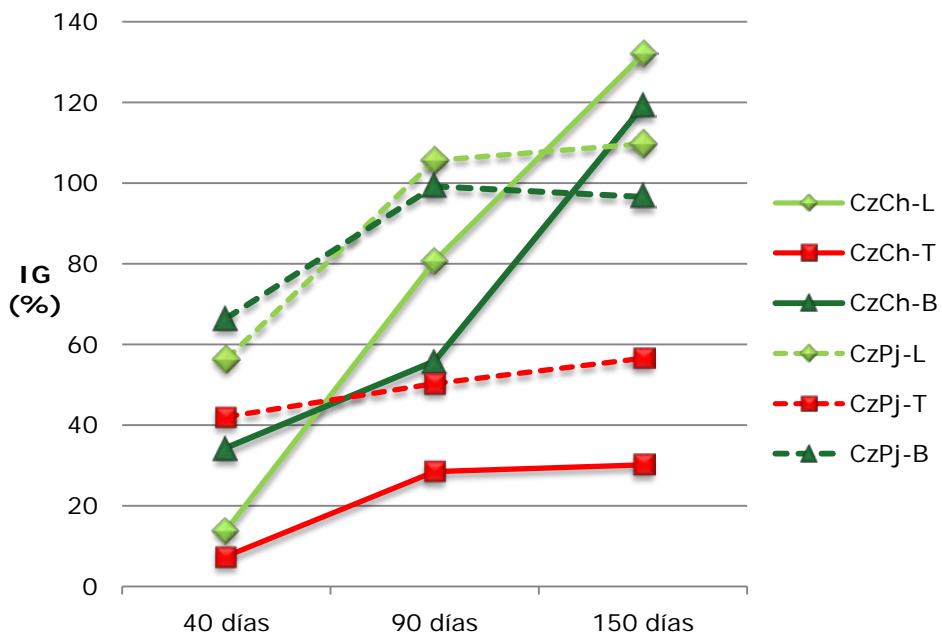


Figura 25. Evolución del IG de CzCh (línea continua) y CzPj (línea discontinua) en lechuga (verde claro), tomate (rojo) y berro (verde oscuro) durante el proceso de co-compostaje.

Si nos fijamos en los valores alcanzados al final del proceso en CzCh (Tabla 11) podemos ver que, el IG para lechuga y berro está en valores mayores que el control, puesto que se sitúa por encima del 100%. Este hecho nos indica que el compost de mezcla CzCh no sólo no resulta tóxico para lechuga y berro, sino que además favorece el proceso de germinación y elongación radicular. Si comparamos estos resultados con los obtenidos por Bernal y col. (1998), en su estudio de fitotoxicidad en berro con compost obtenidos a partir de siete mezclas distintas de residuos, vemos que el mayor IG que obtienen es de 94,4%. Por el contrario, la semilla de tomate presentó una sensibilidad mayor a la fitotoxicidad como señalamos en el epígrafe anterior, quedándose por debajo (35,5) del valor de referencia del 80%.

Tabla 11. Parámetros para caracterizar la fitotoxicidad de CzCh a lo largo del proceso de compostaje en semillas de lechuga, tomate y berro.

		40 días	90 días	150 días
<b>Lechuga</b>	<b>PGR (%)</b>	87,7	82,5	77,3
	<b>EER (%)</b>	15,9	97,9	170,8
	<b>IG (%)</b>	14,0	80,8	131,9
<b>Tomate</b>	<b>PGR (%)</b>	55,0	65,8	72,9
	<b>EER (%)</b>	13,7	43,3	49,2
	<b>IG (%)</b>	7,5	28,5	35,9
<b>Berro</b>	<b>PGR (%)</b>	30,9	16,2	65,1
	<b>EER (%)</b>	120,5	344,5	182,9
	<b>IG (%)</b>	37,3	55,9	119,1

PGR: porcentaje de germinación relativo, EER: elongación de radícula relativo, IG: índice de germinación.

Analizando los resultados obtenidos con la mezcla CzPj (Tabla 12) vemos que, en el caso de lechuga y berro, ocurre algo similar a lo que veíamos con el CzCh, situándose el IG por encima del 100%. Por el contrario en tomate obtenemos valores más altos que en CzCh, situándose el IG en 57,4%, este valor está por encima del 50% luego, dicho material podría utilizarse como fertilizante para este cultivo (Ortega y col., 1996).

Tabla 12. Parámetros para caracterizar la fitotoxicidad de CzPj a lo largo del proceso de compostaje en semillas de lechuga, tomate y berro.

		40 días	90 días	150 días
<b>Lechuga</b>	<b>PGR (%)</b>	89,8	97,5	93,2
	<b>EER (%)</b>	61,3	108,4	117,8
	<b>IG (%)</b>	55,0	105,7	109,8
<b>Tomate</b>	<b>PGR (%)</b>	95	78,9	81,4
	<b>EER (%)</b>	44,3	63,7	70,5
	<b>IG (%)</b>	42,1	50,3	57,4
<b>Berro</b>	<b>PGR (%)</b>	52,4	37,8	69,8
	<b>EER (%)</b>	125,9	261,9	138,5
	<b>IG (%)</b>	66,0	99,1	96,61

PGR: porcentaje de germinación relativo, ERR: elongación de radícula relativo, IG: índice de germinación.

En el caso de la elongación radicular, uno de los componentes determinados para realizar el cálculo del IG, se realizó un análisis estadístico que nos permitiera ver si había diferencias significativas entre las medidas tomadas. Los resultados obtenidos para este parámetro, en cada una de las especies, se pueden consultar en la Tabla 13.

Si analizamos en detalle los resultados mostrados, vemos que al inicio del compostaje (40 días) el crecimiento radicular en tomate y lechuga es mayor en el Control, a continuación tendríamos el extracto de compost CzPj y con los peores resultados estadísticos encontramos las semillas germinadas en extractos de compost CzCh. En el berro, por el contrario, no se observan diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos.

A los 90 días del proceso de compostaje la situación es distinta, puesto que en lechuga no encontramos diferencias entre el control realizado con agua y los dos extractos de compost, en tomate el Control tiene una elongación mayor que los dos extractos (sin diferencias significativas entre ambos compost) y por último, en berro el Control tiene un crecimiento significativamente inferior a los dos extractos. Con estos resultados vemos como a medida que avanza el compostaje la incidencia de los compuestos fitotóxicos sobre el

crecimiento de la radícula va disminuyendo en lechuga y berro, siendo el tomate la especie más sensible, sobre todo al final del compostaje, como ya apuntamos anteriormente.

Tabla 13. Elongación radicular (cm) media de semillas de lechuga, tomate y berro durante el proceso de compostaje.

		40 días	90 días	150 días
Lechuga	CzCh	0,62 (0,3) c	2,80 (0,9) a	2,80 (0,9) a
	CzPj	2,39 (0,9) b	3,10 (1,0) a	1,97 (0,8) b
	Control	3,90 (1,4) a	2,86 (0,9) a	1,67 (1,1) b
Tomate	CzCh	0,53 (0,2) c	0,68 (0,4) b	0,93 (0,8) b
	CzPj	1,73 (0,8) b	1,01 (0,8) b	1,11 (0,7) b
	Control	3,92 (1,9) a	1,58 (0,8) a	1,88 (1,3) a
Berro	CzCh	0,83 (0,5) a	1,53 (2,0) a	2,82 (3,2) a
	CzPj	0,87 (1,3) a	1,16 (1,6) a	2,14 (3,0) a
	Control	0,69 (0,5) a	0,44 (0,6) b	1,54 (2,5) b

CzCh: co-compost 1carozo:1sustrato agotado de champiñón, CzPj: co-compost 1carozo:1paja. Desviación estándar entre paréntesis. Letras distintas en la misma columna e igual color de celda indican diferencias estadísticamente significativas.

Al final del compostaje continúa esta misma evolución, que aparece representada de forma gráfica en la Figura 26. Se puede observar que el comportamiento de las semillas de berro y lechuga es similar, mientras que el comportamiento de la semilla de tomate es totalmente distinto, como venimos comentando en todo el capítulo.

De esta forma, en berro y lechuga con ambos compost se obtiene mayor elongación radicular que con el Control, si bien las diferencias en lechuga no son estadísticamente significativas entre el control y el compost CzPj.

En el caso de tomate ocurre lo contrario, los mejores resultados se obtienen con el Control y a continuación tendríamos ambos compost con unos resultados estadísticamente similares.

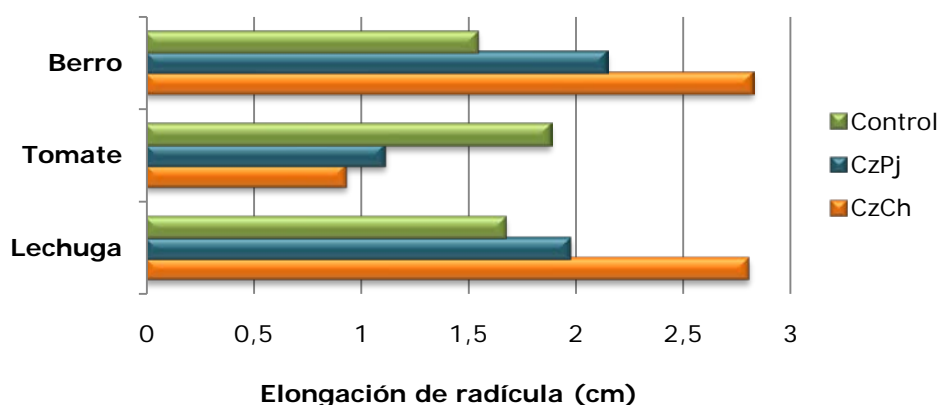


Figura 26. Representación gráfica de la elongación de radícula (cm) obtenida con semillas de berro, tomate y lechuga en extractos 1:5 de CzCh y CzPj y Control en agua al final del compostaje.

### III. 4. 3. FITOTOXICIDAD DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE CO-COMPOSTAJE.

Los resultados de evaluación de la fitotoxicidad sobre los sustratos utilizados posteriormente en los ensayos de producción, realizados con semillas de lechuga, tomate y berro, se recogen en la Tabla 14.

Tabla 14. Índices de germinación (IG) en sustrato para las distintas mezclas en % con turba (T) utilizadas en los ensayos de producción.

	LECHUGA	TOMATE	BERRO
<b>17Cz-83T</b>	19,29	90,08	75,92
<b>10Cz-90T</b>	98,24	69,40	89,93
<b>5Cz-95T</b>	58,47	94,78	91,33
<b>17CzCh-83T</b>	69,59	73,67	93,13
<b>10CzCh-90T</b>	57,89	79,32	101,31
<b>5CzCh-95T</b>	70,76	77,61	97,75
<b>17CzPj-83T</b>	89,47	64,92	78,17
<b>10CzPj-90T</b>	102,34	92,11	89,24
<b>5CzPj-95T</b>	126,90	44,46	101,39

Cz: carozo, T: turba, CzCh: co-compost 1carozo:1sustrato agotado de champiñón, CzPj: co-compost 1carozo:1paja.



Como podemos observar el comportamiento de las tres especies es diferente, este hecho aparece con frecuencia, así Raj y Antil (2011) comentan en su reciente trabajo que los resultados de IG deben ser interpretados con precaución puesto que se ven afectados por el tipo de semilla utilizado.

En esta misma línea Emino y Warman (2004) realizaron un test de germinación sobre sustrato (residuos sólidos urbanos) con 10 especies distintas y constataron un comportamiento diferente.

En vista de ello comentaremos los datos obtenidos por especie. En el caso de **lechuga**, en los sustratos con carozo tenemos un IG muy bajo (19,26%) en el sustrato que lleva un 17% de Cz, un IG muy alto (98,24%) con un 10% de carozo y un IG medio (58,47%) en el sustrato que lleva un 5% de carozo. Esta variabilidad puede ser debida a que la germinación sobre sustrato se ve influenciada por diversos factores como son: diferencia de humedad en superficie y presencia de partículas de gran tamaño que pueden obstaculizar el crecimiento radicular. Los sustratos preparados a base de compost CzCh tiene unos IG similares, que se sitúan en unos niveles medios y que oscilan entre 57,89% y 70,76%. Por último, los tres sustratos generados a partir de mezclas con CzPj más turba, están totalmente libres de fitotoxicidad puestos que los IG están por encima del 80%. De hecho con las proporciones 5% y 10% de CzPj los valores de IG son superiores al 100% (126,90% y 102,34% respectivamente), luego superan a los resultados obtenidos con el control.

Si nos fijamos en los resultados obtenidos para **tomate** vemos que tenemos valores de IG que denotan ausencia de fitotoxicidad con las mezclas 5Cz-95T (94,78%), 10CzPj-90T (92,11%) y 17Cz-83T (90,08%). El resto de tratamientos tienen unos valores de IG medios, situándose en el rango 50-80%, excepto el sustrato 5CzPj-95T que tiene un valor de IG bajo (44,46).

Por último, en el caso del **berro**, sólo tenemos dos sustratos con valores por debajo del 80%, pero con valores cercanos a esa cifra. Estos sustratos son 17Cz-83T con un IG de 75,92% y 17CzPj-83T con IG de 78,17%. El resto de mezclas arroja unos IG mayores del 89% luego podemos decir que se encuentran libres de fitotoxinas que afecten al proceso de germinación.

A modo de resumen podríamos decir que, en el caso de lechuga y berro, las mezclas realizadas para co-compostaje mejoran los

resultados obtenidos con el carozo, puesto que si comparamos los IG por proporciones de mezcla con turba, vemos que la mayoría de ellos son más elevados en los co-compost. El caso más relevante lo tenemos en la proporción del 17% para lechuga donde los IG son de 89,47% para la mezcla 17CzPj-83T, 69,59% para 17CzCh-83T y tan sólo de 19,29% para la mezcla con un 17% de carozo.

Si analizamos los resultados estadísticos de las medidas del largo de radícula (Tabla 15) vemos que en las semillas de lechuga, a pesar de tener elongaciones radiculares que oscilan entre 9,9 y 16,8 mm, no existen diferencias estadísticamente significativas.

En tomate encontramos una mayor variabilidad, así tenemos que los sustratos Control, 10CzPj-90T y 5Cz-95T, tienen un crecimiento significativamente mayor que 5CzCh-95T, 17CzPj-83T y 5CzPj-95T.

En los resultados obtenidos para berro podemos observar que existen diferencias estadísticamente significativas entre algunas de las mezclas estudiadas. Podemos afirmar que el crecimiento de la radícula es menor en los tratamientos 17CzPj-83T y 17Cz-83T que los las mezclas 17CzCh-83T, 10CzCh-90T, 5CzCh-95T, 5CzPj-95T y Control.

Tabla 15. Elongación radicular (mm) de semillas de lechuga, tomate y berro germinadas sobre sustrato.

	LECHUGA	TOMATE	BERRO
<b>17Cz-83T</b>	16,50 (19,09) a	44,47 (16,60) ab	49,05 (10,24) c
<b>10Cz-90T</b>	16,80 (11,22) a	43,40 (10,16) abc	58,10 (15,51) abc
<b>5Cz-95T</b>	10,00 (7,78) a	49,39 (15,25) a	59,00 (13,27) ab
<b>17CzCh-83T</b>	13,22 (7,90) a	46,07 (14,23) ab	62,10 (15,04) a
<b>10CzCh-90T</b>	9,90 (10,11) a	46,50 (11,94) ab	65,45 (22,97) a
<b>5CzCh-95T</b>	13,44 (10,19) a	38,32 (17,80) bcd	63,13 (11,12) a
<b>17CzPj-83T</b>	10,20 (6,90) a	33,83 (11,21) cd	50,50 (15,38) bc
<b>10CzPj-90T</b>	12,50 (10,15) a	48,00 (12,77) a	57,65 (15,06) abc
<b>5CzPj-95T</b>	15,50 (9,56) a	32,08 (15,10) d	65,50 (17,44) a
<b>Control</b>	14,25 (9,83) a	52,11 (18,28) a	64,60 (18,52) a

Cz: carozo, CzCh: co-compost 1carozo:1sustrato agotado de champiñón, CzPj: co-compost 1carozo:1paja. Desviación estándar entre paréntesis. Letras distintas en la misma columna denotan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Estos resultados pueden verse más claramente en la representación gráfica que se muestra en la Figura 27.

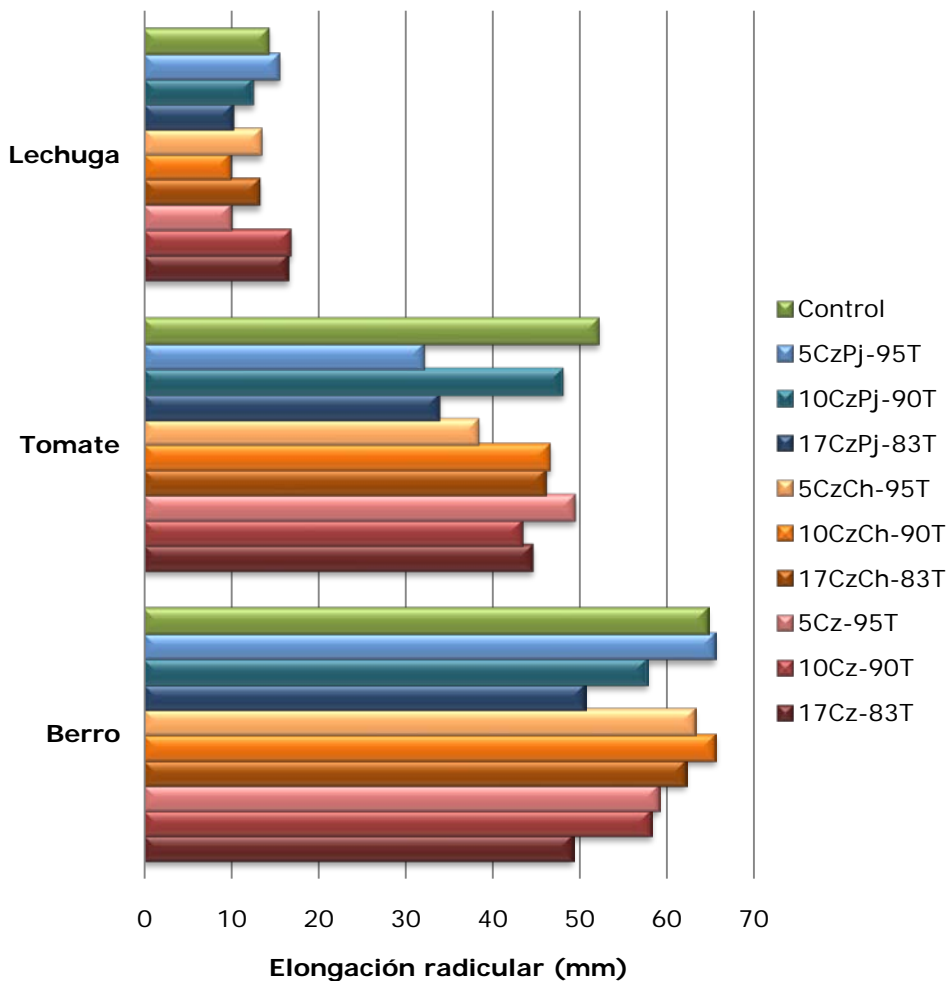


Figura 27. Representación gráfica de la elongación de radícula de semillas de berro, tomate y lechuga sobre sustrato.

#### III. 4. 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Respecto a la fitotoxicidad del extracto de carozo vemos que los IG, excepto en el rabanito (84%), presentan valores muy bajos, siendo el menor IG el de tomate con un 4,5%. Esto nos indica una acusada fitotoxicidad del residuo si se utiliza como sustrato único.

En las pruebas de fitotoxicidad en extracto de los compostajes de mezcla, los resultados indican que para lechuga y berro los compost CzCh y CzPj no presentan ningún riesgo de fitotoxicidad, puesto que se sitúan por encima del 95%. Sin embargo el tomate se revela como una especie mucho más sensible, pues tiene valores de IG del 35,9% para el compost CzCh y del 57,4% para el CzPj.

Es importante señalar que el extracto utilizado tiene una proporción de 1:5, mientras que otros autores realizan diluciones mayores como por ejemplo 1:10 (Abad y col., 2001; Komilis y Tziouvaras, 2009), con lo que la sensibilidad es menor. Nuestro objetivo al elegir esta dilución era detectar cualquier riesgo de toxicidad existente.

En el caso de los ensayos de fitotoxicidad sobre sustrato, los resultados son distintos en cada una de las especies utilizadas, hecho que ya fue señalado por Spohn en el año 1969 (Spohn, 1969) cuando comenzaron este tipo de estudios. Así en lechuga los tres sustratos con compost CzPj y el 10Cz-90T tienen valores por encima del 80% (libres de fitotoxicidad). El sustrato con un 17% de carozo es muy fitotóxico y el resto tienen unos IG entre el 50 y el 79%. En tomate los sustratos 10Pj-90T, 5Cz-95T y 17Cz-83T tienen IG por encima del 80% y en berro todos los valores son cercanos o están por encima de ese 80% que marca la ausencia de fitotoxicidad.

Como vemos, de nuevo la especie que detecta mejor la fitotoxicidad parece ser el tomate donde sólo tres sustratos se tienen IG por encima del 80%.

---

*D*

---

**ENSAYOS DE  
PRODUCCIÓN**

---



---

# I. INTRODUCCIÓN

---





#### I. 1. SEMILLEROS.

La realización de una fase de cultivo de plantas hortícolas y ornamentales en semillero persigue un doble objetivo: por un lado presenta la ventaja de que permite producir muchas plantas en un espacio reducido, lo que hace que se les pueda proporcionar el medio y los cuidados adecuados a sus exigencias, y por otro posibilita una anticipación en la salida al mercado de las producciones, con el incremento económico del valor de las mismas que ello conlleva. Como señala Hoyos (1996) la producción de plantas hortícolas tiene como objetivo la obtención de plantas que tras el trasplante, permitan que el agricultor consiga una importante producción de alta calidad, y en una determinada fecha.

Para evaluar la calidad de los plántulos producidos en semillero se miden distintos parámetros, de entre los cuales el peso seco es el más útil. En general, un mayor peso seco influye de forma muy importante en el prendimiento de la planta después del trasplante y puede conferir a la planta un mejor comportamiento si se hace trasplante mecanizado (Tessi, 1987), que se está imponiendo en los últimos años.

Existen muchos trabajos encaminados a relacionar los parámetros de crecimiento en semillero y los productivos en cultivo, con es el de Basoccu y Nicola (1989) en tomate que establecieron la siguiente relación entre la producción total (PT) y el peso seco de la parte aérea (PSA) de plantel:

$$PT(\text{g m}^{-2}) = 12,145 \text{ PSA (mg)} + 6.405,8 R^2 = 06465$$

Los semilleros pueden ser, simplemente, pequeñas parcelas convenientemente situadas, donde se realizarán las siembras. Estas parcelas tienen que estar bien orientadas, con buena aireación, abrigadas de los vientos dominantes y de fácil atención por parte del horticultor. Se pueden proteger mediante túneles de plástico (Yuste, 1998).

Actualmente la producción profesional de plantel hortícola y de planta ornamental se realiza en invernadero de multiplicación. Dentro del invernadero la planta puede situarse en el suelo en bandejas o cajoneras, de tal forma que la siembra se puede realizar directamente en el interior de la bandeja o en alvéolos que se colocarán dentro de la bandeja o cajonera. En los casos más

tecnificados dentro del invernadero existen mesas de cultivo con riego por inundación donde se sitúan los alvéolos.

Existen bandejas de alvéolos de distintos materiales como, dados de turba, polietileno rígido negro, polietileno expandido, cartón... Los tamaños también son muy variables dependiendo del tipo y tamaño del plantel que se esté cultivando, tenemos bandejas de 28, 54, 70, 88, 120... Algunos tipos de bandejas de alvéolos pueden verse en la Figura 28.



Figura 28. Semilleros de hortalizas en alvéolos de distintos tipos.

Con la utilización de semilleros con compartimentos o alvéolos, se consiguen plántulas con cepellón, es decir con una porción de tierra que rodea las raíces. Este método evita los retrasos en el cultivo y los fallos por falta de arraigo y, además, evita la paralización de la planta en el proceso de repicado, siendo ésta trasplantada sin roturas en el sistema radicular (Yuste, 1998).

Los sustratos utilizados para los semilleros deben tener textura fina, estructura estable y alta capacidad de retención de agua para lograr el mantenimiento de la humedad constante (Ballester-Olmos, 1992).

En todos los casos, después de la siembra y una vez que se produce la germinación, se debe realizar un aclareo que consiste en eliminar plántulas una vez germinadas, para evitar competencias de

luz, fertilizante, espacio radicular, etc. Con esta operación se consiguen dejar el número de plantas que se considera adecuado para cada producción. En el caso de semilleros compartimentados se debe dejar una única planta por alvéolo (Yuste, 1998). Para realizar el aclareo, el sustrato debe estar húmedo y mullido para evitar mover y dañar las raíces de las plantas que no son aclaradas.



#### I. 2. MATERIAL VEGETAL.

##### I. 2. 1. PIMIENTO.

##### I. 2. 1. 1. Descripción botánica y morfología.

El pimiento es originario de la zona Andina de América del Sur y pertenece a la familia Solanaceae. Debido a su gran variabilidad genética, encontramos distintas posturas en cuanto a su denominación botánica, si bien, la mayoría de los autores coinciden en denominar *Capsicum annum* L. a la especie que engloba todas las variedades cultivadas para el consumo (Bailey, 1977; Milla, 1996).

La planta de pimiento es de tipo herbáceo perenne, aunque en nuestras condiciones de cultivo se comporta como herbácea anual. En la Figura 29 se pueden ver plantas de pimiento en distintos momentos de su ciclo de cultivo, desde plantel hasta fructificación.



Figura 29. Planta de pimiento en distintos estadios de crecimiento desde semillero hasta fructificación.

El sistema radical está formado por una raíz pivotante y es voluminoso y profundo. Las hojas son simples, lanceoladas y ovaladas, de borde entero o apenas sinuado en la base del limbo, glabra y de tacto liso. Está formada por un largo peciolo que une la hoja con el tallo en disposición alterna. Las flores son individuales y aparecen en la axila de las hojas, son hermafroditas y alógamas. El fruto es una baya hueca con un pericarpo grueso y un tejido placentario al que se unen las semillas, que son redondeadas o

ligeramente reniformes y tienen un tamaño de 3-5 mm de diámetro (Salas y Urrestarazu, 2004).

#### **I. 2. 1. 2. Importancia del cultivo.**

Si estudiamos la producción de pimiento a escala mundial constataremos que en la cuenca mediterránea se produce casi la mitad del pimiento que se consume en el mundo. Dentro de este área el principal país productor es Turquía seguido por España e Italia (www.horticom.com, 2009).

En España se cultivaron en 2008 un total de 18.681 ha, el 99% de ellas en regadío y de ellas el 57% en cultivo bajo invernadero. No obstante, debido a que los rendimientos obtenidos en cultivo protegido son mucho mayores que al aire libre (65.630 Kg ha<sup>-1</sup> frente a 28.475 Kg ha<sup>-1</sup>), en realidad el 75% de la producción de pimiento se realiza bajo invernadero, siendo Andalucía la Comunidad Autónoma donde se concentra la mayor parte de esta producción, 579.150 toneladas de un total de 918.140 toneladas (MAPA, 2009).

#### **I. 2. 1. 3. Material vegetal disponible.**

Existen múltiples clasificaciones de las distintas variedades de pimiento, debido a que es una especie con gran complejidad taxonómica, si bien, desde el punto de vista práctico se pueden considerar tres grupos varietales:

- ✓ Variedades dulces: suelen tener frutos de tamaño grande, dentro de este grupo podemos diferenciar tres tipos de pimientos:
  - Tipo California: frutos cuadrangulares, con una longitud que oscila de 7 a 10 cm y una anchura de 6-9 cm, con tres o cuatro cascotes bien marcados y carne más o menos gruesa (3-7 mm).
  - Tipo Lamuyo: frutos rectangulares (largos y de sección cuadrada) de carne gruesa.
  - Tipo dulce italiano: bayas alargadas, estrechas, acabadas en punta y de carne fina, su color puede ser verde, rojo o amarillo.

✓ Variedades con sabor picante: muy cultivadas en Sudamérica, suelen ser variedades de fruto largo y delgado, en ocasiones con forma de cuerno.

✓ Variedades para la obtención de pimentón: en realidad son un “subgrupo” de las variedades dulces. Son variedades bastante rústicas, lo que les permite vegetar en condiciones de medio físico desfavorables. Se caracterizan por poseer unas buenas aptitudes para la conservación y una alta resistencia a las podredumbres después de la recolección (Maroto, 1995).

#### I. 2. 1. 4. Requerimientos del cultivo.

El pimiento es una especie con unos requerimientos de temperatura altos, incluso en su desarrollo vegetativo para el que necesita una media mensual entre 18 °C y 22 °C. Por otro lado, como señala Serrano (1996) si la temperatura aumenta demasiado la planta puede vegetar en exceso lo que disminuiría la producción si no se equilibran luminosidad y humedad. La temperatura óptima para la germinación son 25 °C (12 °C y 40 °C) y para la floración requiere como mínimo 18 °C.

Respecto a la higrometría, los valores óptimos se sitúan entre el 60% y el 70%, lo que obliga a disponer de una buena ventilación en el invernadero (Salas y Urrestarazu, 2004) *C. annuum* es muy exigente en luminosidad durante todo su ciclo y extremadamente sensible en el periodo de floración

En términos generales las variedades de pimiento “picantes” y pimiento para la obtención de pimentón tienen menores exigencias, tanto térmicas como hídricas, que las variedades “dulces” (Maroto, 1995), aunque estas últimas son cultivadas mayoritariamente debido a que son las más demandadas por los consumidores.

El pimiento muestra una gran plasticidad para su desarrollo en distintos tipos de suelos, si bien los suelos más adecuados para el cultivo son los franco-arenosos, profundos, ricos, bien aireados y, sobre todo, bien drenados ya que es una especie con un sistema radicular sensible a la asfixia y a la fatiga del suelo (Maroto, 1995). Los valores de pH óptimos oscilan entre 6,5 y 7, aunque puede resistir condiciones de acidez hasta un pH de 5,5 (Casseres, 1971).

Es una especie que presenta una moderada tolerancia a la salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

Se realiza normalmente un trasplante a los 35-60 días de la siembra, cuando la planta tiene de 6 a 10 hojas verdaderas. Este trasplante puede hacerse a raíz desnuda, aunque para obtener mayor precocidad de la cosecha se recomienda hacerlo con cepellón. Con la introducción de variedades híbridas, cuyas semillas tienen un costo elevado, y sobre todo en el cultivo forzado, se ha extendido el uso de "jiffys" (cubos de turba prensada), bandejas de poliestireno con alvéolos, etc, para obtener planteles de calidad con cepellón. Con estos sistemas se facilita el trasplante mecanizado y se consigue una mayor uniformidad en las plantaciones, al mismo tiempo que se reduce considerablemente la parada vegetativa que suele producirse tras el trasplante a raíz desnuda (Maroto, 1995).

El marco de plantación se establece en función del porte de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. Es frecuente el establecimiento de surcos simples separados entre sí entre 75-90 cm, en función de la maquinaria que se vaya a utilizar posteriormente, siendo la distancia entre plantas del mismo surco de 30-50 cm (Maroto, 1995).

En el cultivo de pimiento es imprescindible el entutorado ya que los tallos se parten con facilidad debido al peso de los frutos y prácticas culturales. El uso de tutores facilita, además las labores de cultivo y aumenta la ventilación (Salas y Urrestarazu, 2004).

#### **I. 2. 2. TOMATE.**

##### **I. 2. 2. 1. Descripción botánica y morfología.**

El tomate es una planta considerada de origen mexicano, aunque posiblemente provenga de las regiones andinas de Sudamérica (Cuartero, 2001). Pertenece a la familia Solanaceae y su nombre científico más habitual es *Lycopersicon esculentum* Mill. (Maroto, 1995).

La planta de *L. esculentum* es perenne y de porte arbustivo, pero se cultiva normalmente como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta y es muy sensible a las heladas lo que determina su ciclo anual.



El sistema radicular tiene una raíz principal pivotante y densas ramificaciones adventicias. El tallo es erguido durante los primeros estadios de desarrollo, pero pronto se tuerce a consecuencia del peso y debe ser entutorado. Las hojas son alternas y compuestas, con el limbo fraccionado en siete, nueve y hasta 11 foliolos (Rodríguez y col., 1997). Las flores se presentan formando inflorescencias racemosas de distintos tipos, son regulares e hipóginas con la tipología propia de las solanáceas (Chamarro, 2001). El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo y su forma puede ser redondeada, achatada o de pera con la superficie lisa o asurcada. Las semillas son redondeadas y se hallan insertas en el tejido placentario del interior del fruto rodeadas de una pulpa gelatinosa. En la Figura 30 pueden verse plántulas de tomate en dos momentos de desarrollo.



Figura 30. Plántulas de tomate sobre alvéolos y plántula individual con raíces lavadas.

#### I. 2. 2. 2. Importancia del cultivo.

Actualmente se cultiva en todos los continentes, constituyendo el producto hortícola de mayor importancia económica, con más de 90 millones de toneladas producidas al año en todo el mundo ([www.horticom.com](http://www.horticom.com), 2009). Nuestro país ocupa el segundo lugar a nivel mundial en volumen de comercio de exportación, con un valor de más de 900 millones de euros en 2008 ([www.fao.org](http://www.fao.org), 2008).

En países como España se cultiva en distintos ciclos que abarcan todo el año, gracias a nuestro clima y al uso extendido de invernaderos, lo que permite mantener un comercio exterior más o menos constante durante todo el año.

Si consultamos los datos facilitados por el Anuario de Estadística (MAPA, 2009) vemos que en España es el cultivo hortícola más importante con 54.868ha de cultivo (479 ha en secano, 34951 ha en regadío al aire libre y 19.438 ha en regadío protegido) y una producción anual de más de 4 millones de toneladas.

Actualmente los tomates desempeñan un papel fundamental en la dieta diaria, debido a su disponibilidad, su alto valor nutritivo, basado sobre todo en su riqueza en sales minerales y vitaminas, y su versatilidad de usos, ya que puede consumirse crudo, cocido, estofado, frito, encurtido, como salsa o combinado con otros alimentos. También puede procesarse industrialmente entero, como pasta, jugo, polvo, etc. El porcentaje de tomate dedicado a industria se sitúa entre el 25 y el 30% de la producción mundial anual.

#### **I. 2. 2. 3. Material vegetal disponible.**

Existen múltiples clasificaciones debido a la gran variabilidad de esta especie, señalaremos aquí únicamente los principales tipos de tomates comercializados en la actualidad:

- ✓ Tipo Beef: Frutos de gran tamaño y poca consistencia.
- ✓ Tipo Marmande: El fruto se caracteriza por su buen sabor y su forma acostillada, achatada y multilocular, que puede variar en función de la época de cultivo.
- ✓ Tipo Vemone. Frutos de gran calibre que presentan un elevado grado de acidez y azúcar, inducido por el agricultor al someterlo a estrés hídrico.
- ✓ Tipo Moneymaker: Frutos de calibres medio, lisos, redondos y con buena formación en ramillete.
- ✓ Tipo Cocktail: Frutos de peso comprendido entre 30 y 50 g, redondos, generalmente con dos lóculos, sensibles al rajado y usados principalmente como adorno de platos
- ✓ Tipo Cereza (Cherry). Frutos de pequeño tamaño y de piel fina con tendencia al rajado, que se agrupan en ramilletes.
- ✓ Tipo Larga Vida: La introducción de los genes Nor y Rin es la responsable de su larga vida, confiriéndole mayor consistencia y gran conservación de los frutos de cara a su comercialización, en detrimento del sabor. Generalmente se

buscan frutos de calibres grandes o medios de superficie lisa y coloración uniforme anaranjada o roja.

✓ Tipo Ramillete. De reciente introducción en los mercados. Frutos de calibre medio, de color rojo vivo, insertos en ramilletes en forma de raspa de pescado.

#### I. 2. 2. 4. Requerimientos de cultivo.

El tomate es una planta que produce las mayores cosechas en climas cálidos (Cuartero, 1996). Por ello, la temperatura óptima de desarrollo oscila entre 19 y 24 °C durante el día y entre 13 y 19 °C durante la noche. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que está comprobado que valores cercanos a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas.

La humedad relativa adecuada oscila entre un 55 % y un 60 % según Maroto (1995). Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico.

Respecto a la luminosidad, valores reducidos pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración y fecundación, así como sobre el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura areno-arcillosa, ricos en materia orgánica y profundos.

Se cultiva sin excesivos problemas en terrenos con pH algo elevado y asimismo resiste condiciones de una cierta acidez (Maroto, 1995). Worley (1976) observó que se obtenían rendimientos máximos con intervalos de pH comprendidos entre 6,5 y 6,9.

En cuanto a la salinidad, es la especie cultivada en invernadero que mejor la tolera tanto del suelo como del agua de riego.

Los ciclos de cultivo más frecuentes en España, como señala Maroto (1995), son los siguientes:

- Ciclo extratemprano. El semillero se realiza en el mes de octubre, el trasplante se lleva a cabo bajo invernadero en el mes de diciembre y la recolección puede iniciarse a partir de mediados de febrero.
- Ciclo temprano. Las siembras se realizan en semilleros protegidos desde finales de noviembre a mediados de diciembre. El trasplante se efectúa en el mes de febrero, al aire libre o protegido. La recolección suele iniciarse a partir de mediados de mayo.
- Ciclo normal. Las siembras se realizan a partir de finales de enero. El trasplante se hace al aire libre en el periodo libre de heladas. La recolección se distribuye a lo largo del verano.
- Ciclo tardío. Los semilleros se realizan al aire libre en los meses de junio y julio. El trasplante se efectúa entre julio y septiembre, y la producción se escalona entre mediados de septiembre y finales de febrero.

#### **I. 2. 3. LECHUGA.**

##### **I. 2. 3. 1. Descripción botánica y morfología.**

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, algunos autores afirman que procede de la India o China, aunque otros no están de acuerdo. En todo caso es una planta anual y autógena perteneciente a la familia Compositae, cuyo nombre científico es *Lactuca sativa* L.

Posee un sistema radicular profundo, poco ramificado. Sus hojas se disponen primeramente en roseta y después se aprietan unas junto a otras, formando un cogollo más o menos consistente y apretado en unas variedades que en otras. Sus hojas son simples y pueden ser de forma redondeada, lanceolada o casi espatulada. La consistencia de las mismas puede ser correosa o blanduzca. El borde de los discos foliares puede ser liso, ondulado o aserrado (Maroto, 1995). Las flores se agrupan en capítulos y aparecen sobre un tallo ramificado que sale del centro de la roseta de hojas. Es una planta autógena con frutos en forma de aquenios provistos de vilano. En la

Figura 31 pueden verse distintos momentos del desarrollo del cultivo de lechuga.



Figura 31. Desarrollo del cultivo de lechuga en fase de semillero (izquierda) y lechuga adulta en campo (derecha).

#### I. 2. 3. 2. Importancia del cultivo.

La lechuga es uno de los cultivos hortícolas más importante en España, según el Anuario de Estadística (MAPA, 2009) en el año 2008 la superficie de lechuga alcanzó 32860 ha con una producción de 889.233 toneladas anuales, siendo el 80% de esa producción Iceberg y Romana. A nivel regional destaca la Región de Murcia seguida de Andalucía.

La mayoría del cultivo se realiza en regadío al aire libre ocupando una superficie de 31836 ha.

#### I. 2. 3. 3. Material vegetal disponible.

Existen un gran número de variedades de lechuga cultivadas, todas ellas pueden encuadrarse en alguno de los siguientes grupos botánicos:

- ✓ Romanas: *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. No forman un verdadero cogollo, las hojas son oblongas o aovadas, con bordes enteros y nervio central ancho. Dentro de este grupo encontramos dos tipos principales:
  - Romana propiamente dicha.
  - Baby o Mini Romanas.

- ✓ Acogolladas: *Lactuca sativa* var. *capitata* L. Estas lechugas forman un cogollo apretado de hojas. Existen varios tipos de lechugas acogolladas:
  - Batavia.
  - Mantecosa o Trocadero .
  - Iceberg.
- ✓ De hojas sueltas: *Lactuca sativa* var. *intybasea* Hort. Son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas.
  - Lollo Rossa.
  - Red Salad Bowl.
  - Leaf, Multileaf y Baby leaf.
- ✓ Lechugas espárrago: *Lactuca sativa* var. *augustana* Irish. Se aprovechan por sus tallos, las hojas son puntiagudas y lanceoladas. Sólo se cultivan en China.

#### I. 2. 3. 4. Requerimientos de cultivo.

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18-20 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18 °C por el día y 5-8 °C por la noche, puesto que la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12 °C por el día y 3-5 °C por la noche.

Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, de hecho puede soportar, como temperatura máxima, hasta los 30 °C y como mínima temperaturas de hasta –6 °C.

La humedad relativa conveniente para el cultivo de lechuga oscila del 60 al 80%.

La lechuga requiere suelos ligeros, arenoso-limosos, de buen drenaje. Es un cultivo sensible a la salinidad. Una conductividad de 3,4 dS m<sup>-1</sup> en el agua de riego produce una disminución de los rendimientos del 50%. Los síntomas son necrosis de los bordes de las hojas, podredumbre del follaje etc. Es por tanto recomendable aplicar abonos que salinicen lo menos posible las aguas de riego y del suelo.

El cultivo de lechuga no tolera la falta de humedad en el suelo, sin embargo es importante que el suelo drene bien, de forma que el cuello de la planta no esté expuesto al agua y evitar así enfermedades de podredumbre del cuello. Si las condiciones



climáticas lo permiten, no es recomendable aplicar riegos hasta pasadas unas tres semanas tras la plantación.

#### I. 2. 4. PETUNIA

##### I. 2. 4. 1. Descripción botánica y morfología.

Planta ornamental de la familia de las Solanaceae, cuyo nombre científico es *Petunia x hybrida*. Complejo de híbridos que engloba a las especies *Petunia integrifolia* (Hook.) Schinz & Thell. y *Petunia axillaris* (Lam.) BSP. Este complejo de híbrido comprende todas las formas de petunia habitualmente cultivadas.

Se trata de una planta herbácea o subarborescente perenne, que se comporta como anual cuando se cultiva en nuestras latitudes alcanzando una altura entre 30-50cm. Es una planta compacta, achaparrada y de pleno sol, está provista de hojas enteras y alternas, redondeadas u ovaladas y pubescentes. Florece en primavera y verano presentando flores con la corola infundibuliforme con cinco lóbulos, de hasta 13cm de diámetro, dobles o simples de variados colores: blanco, violeta, rojo, azul cobre, violáceo, etc., con pétalos provistos de venas, jaspeadas o monocromadas, con los bordes simples, ondulados o ribeteados (Figura 32). Tiene un fruto en forma de cápsula dehiscente, con numerosas semillas de pequeño tamaño en su interior.

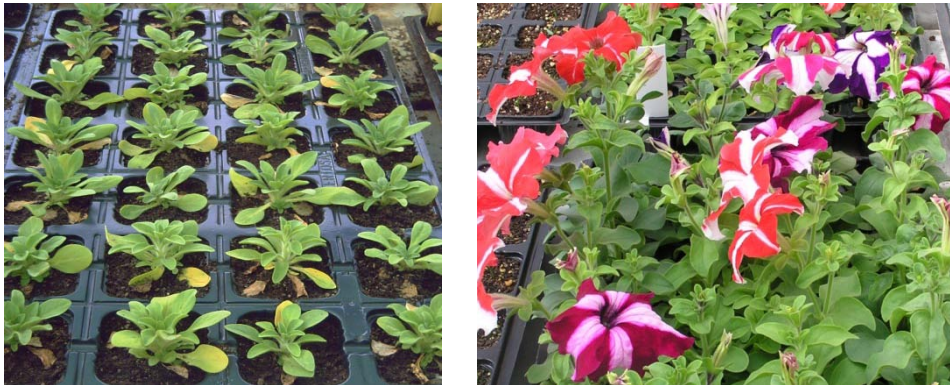


Figura 32. Planta de petunia en distintas etapas de cultivo.

#### I. 2. 4. 2. Importancia del cultivo.

La petunia es una de las principales y más conocidas plantas del grupo de las denominadas "plantas de temporada" por su facilidad de cultivo, su resistencia y la belleza de sus flores. Su principal utilización es para la decoración de jardines, tanto públicos como particulares, en la época de floración que se produce entre los meses de mayo y septiembre, con floraciones sucesivas a lo largo de todo ese período. La parte más apreciada de la petunia es su flor, de forma acampanada, y que desprende un olor dulce.

#### I. 2. 4. 3. Material vegetal disponible.

Existen un gran número de cultivares disponibles en el mercado que podríamos agrupar en las siguientes categorías:

- ✓ Grandiflora: Este tipo de petunias tiene las flores más grandes, hasta 10 cm de diámetro.
- ✓ Hedgiflora: Se caracterizan por su baja altura (por lo general cerca de 15 cm), pero una gran dispersión (de 90 a 120 cm).
- ✓ Multiflora: Tienen una gran cantidad de flores con unos diámetros medios de 5-7 cm de diámetro, no se dañan fácilmente con la lluvia intensa y toleran grandes insolaciones.
- ✓ Milliflora: son las petunias más pequeñas, con corolas de 2,5 cm de ancho.

#### I. 2. 4. 4. Requerimientos de cultivo.

Se adaptan a cualquier tipo de suelo siempre que sea muy fértil, puesto que es una planta con elevados requerimientos nutritivos, sobre todo de nitratos, por ello la fertilización es una de las tareas imprescindibles en el cuidado de las petunias.

Las petunias son excelentes plantas de temporada que se cultivan a pleno sol utilizándose en macizos y en borduras.

En cuanto al riego, hay que procurar que el terreno no esté excesivamente húmedo o encharcado, aunque el agua ha de ser



bastante abundante. No obstante, la petunia no es una planta que necesite excesivos cuidados en el cultivo.

La plántula nacida de semillas debe trasplantarse a una maceta o a plena tierra, ya que la multiplicación se lleva a cabo mediante semillas. Antes de florecer deben ser despuntados una o dos veces para hacerlas más compactas.

#### I. 2. 5. BERRO

##### I. 2. 5. 1. Descripción botánica y morfología.

El berro de jardín o mastuerzo, cuyo nombre científico es *Lepidium sativum* L. procede de Asia Occidental, donde se utilizaba de forma medicinal debido a sus propiedades curativas, para reponer fuerzas después de trabajos físicos intensos.

Pertenece a la familia Cruciferae (Brassicaceae).



Figura 33. Planta de berro en cultivo sobre alvéolos (izquierda) e individual (derecha).

Morfológicamente es una planta herbácea anual que se caracteriza por ser totalmente lampiña (Figura 33). Los tallos pueden llegar a los 60cm, son erectos y más o menos ramosos. Las hojas basales tienen largos pecíolos y son lirado-pinnatipartidas, las caulinares son laciniado-pinnadas y las superiores son habitualmente enteras.

Las flores son pequeñas (4 mm) y tienen pétalos blancos o algo rosados, se agrupan en inflorescencias en forma de densos racimos. El fruto es una silícula elíptica, alada desde la mitad superior y glabra. Florece en estado silvestre entre marzo y junio (Nuez y Hernández, 1991).

Se trata de una planta alógama con formas autocompatibles y autoincompatibles, con diversos grados de tolerancia a la autogamia prolongada. Hay formas diploides y tetraploides.

#### **I. 2. 5. 2. Importancia del cultivo.**

El uso agrícola que se hace de la especie es bastante escaso en España. El cultivo del berro presenta unas necesidades hídricas y climáticas similares al arroz. De esta manera, la introducción de su cultivo como alternativa es posible en las zonas de regadío. Su cultivo en otros lugares depende de la existencia de agua, asociándose a la presencia de pozos y captación de aguas subterráneas, cuestión que favorece su cultivo bajo criterios ecológicos.

Las perspectivas para su utilización como cultivo alternativo pueden ser favorables debido a los siguientes aspectos:

- Creciente demanda de alimentos singulares y de calidad.
- Concentración de la demanda en la restauración y hostelería.
- Reconocidas propiedades dietéticas y medicinales de los productos.
- Escaso nivel de competencia y elevado precio del producto en el mercado.

La distribución y comercialización del berro tiene como destino principal las cadenas de restaurantes y hoteles, grandes superficies y tiendas especializadas en productos ecológicos (en su caso).

Es una especie muy demandada por la cocina centroeuropea y el Reino Unido, formando parte de las "delicatessen" de la cocina francesa. A sus reconocidas propiedades culinarias hay que unir sus usos en medicina natural. En la actualidad alcanza un precio elevado en el mercado.

#### I. 2. 5. 3. Material vegetal disponible.

En relación al mastuerzo común (*L. sativum* L.) y atendiendo a la anatomía de la hoja, tallo y raíz, la especie ha sido dividida en tres variedades botánicas, *vulgare*, *crispum* y *latifolium*, siendo la última la más mesomórfica, *crispum* la más xeromórfica, y *vulgare* intermedia (Nuez y Hernández, 1991).

Se están desarrollando principalmente cultivares precoces, con un período de producción prolongado y una mayor tolerancia al frío.

El mastuerzo puede cultivarse y usarse como la mostaza blanca, y germina más lentamente a temperaturas bajas, alargándose el período de nascencia 3 ó 4 días. La reducción de este período resulta un interesante objetivo de mejora.

#### I. 2. 5. 4. Requerimientos de cultivo.

Se trata de una planta poco exigente y de fácil cultivo, que puede sembrarse a voleo después de las heladas de invierno, o durante todo el año en los climas templados. Cada 15 ó 20 días es necesario efectuar nuevas siembras para que no falten nunca brotes tiernos y hojas nuevas para las ensaladas. La semilla brota a los cuatro o seis días de sembrada, según la estación, y a los 15 días o tres semanas se puede realizar la primera recolección de hojas. Se pueden conseguir rendimientos de  $6 \text{ t ha}^{-1}$ .

En países como el Reino Unido, donde esta hortaliza está presente habitualmente en los mercados, el cultivo se efectúa en invernadero durante todo el año; se consumen los hipocotilos suculentos enteros de las plántulas muy jóvenes.

La semilla se coloca sobre la superficie del suelo dispuesto en camas blandas niveladas y se pulveriza finamente con agua, después se cubre con tela de saco de arpillera esterilizada al vapor y humedecida. Esta última se moja con frecuencia para mantener la humedad y se quita cuando las plántulas alcanzan 4-5 cm de altura (aproximadamente a los 7 días en primavera y otoño y 10 días en invierno). Las hojas amarillentas se vuelven verdes a los 2 a 3 días.



---

## II. MATERIALES Y MÉTODO

---



Se han realizado cuatro tipos de ensayos de producción, tres de ellos de producción de plantel y uno de producción final:

- ✓ Obtención de plantel con mezcla de sustratos.
- ✓ Obtención de plantel utilizando carozo y dos granulados como fertilizantes.
- ✓ Obtención de producción final con carozo y dos granulados como fertilizantes.
- ✓ Ensayo de producción de plantel con sustratos co-compostados y turba.

Todos los materiales y métodos necesarios para la realización de estos ensayos se describen a continuación: los sustratos, suelos y fertilizantes utilizados, el material vegetal (especies y cultivares), las instalaciones, la metodología empleada para la determinación de los parámetros de producción, el análisis estadístico llevado a cabo, los ensayos previos y por último, el diseño de cada uno de los cuatro ensayos de producción realizados.

### II. 1. DESCRIPCIÓN DE SUSTRATOS, SUELOS Y FERTILIZANTES.

#### II. 1. 1. CAROZO.

Para la realización de los distintos ensayos se utilizaron muestras de carozo de diferentes años, desde 2002 a 2008, y procedencias, Apihurdes y Apicasfer, especificadas en la metodología de cada uno de los ensayos.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el traslado de la empresa Apicasfer desde Valero (situado en la Sierra de Francia salmantina) a una nueva Planta de Extracción de cera y Envasado de miel en Arapiles (pueblo del alfoz de Salamanca). La extracción de cera realizada en Valero, se basaba en la utilización de prensas de tipo mecánico que tenían un rendimiento menor, dejando una importante cantidad de cera impregnando el resto de residuos que constituían el carozo. Las nuevas instalaciones de Apicasfer en Arapiles disponen de un sistema de prensado de tipo hidráulico, que consiguen una extracción de cera más eficiente, de tal forma que el carozo resultante tenía unos contenidos menores de cera variando en cierta forma sus características y comportamiento posterior.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis físico-químico completo con los valores medios obtenidos para el carozo puede consultarse en las Tablas 1 y 2 de esta Memoria.

#### II. 1. 2. TURBA.

Se ha utilizado turba como control y como integrante de las mezclas, prácticamente en todos los ensayos, debido a que es el sustrato más ampliamente utilizado tanto en producción de cultivos hortícolas como de ornamentales. La composición de la turba comercial utilizada, dada por el fabricante (Gramoflor GmbH & Co. KG, Vechta, Germany), se muestra a continuación:

- Materia orgánica total	92%
- Humedad máxima	40%
- pH	6
- Nitrógeno total (N)	1,30%
- Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,20%
- Potasio total (K <sub>2</sub> O)	0,20%
- Magnesio (Mg)	0,20%
- Calcio (Ca)	1%
- Hierro	0,25%

#### II. 1. 3. SUELOS.

##### II. 1. 3. 1. Suelo hortícola de la Vega del Tormes.

El suelo hortícola (Sh) utilizado en el ensayo de producción de plantel con mezcla de sustratos procedía de la vega del río Tormes. Se llevó a cabo un análisis físico-químico cuyos resultados más relevantes fueron los siguientes:

- Materia orgánica total	2,19%
- Materia seca	97,59%
- pH	7,72
- Relación C/N	9,56
- CIC	10,9 meq/100g
- Nitrógeno total (LECO)	0,11%
- Carbono total (LECO)	1,27%
- Azufre total (LECO)	0,02%
- Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	423 ppm



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

- Potasio total (K <sub>2</sub> O)	1200 ppm
- Magnesio total (Mg)	3,2 ppm
- Calcio total (Ca)	0,06%
- Hierro total	0,07%
- Cobre total	2 x 10 <sup>-4</sup> %
- Cinc total	2,4 x 10 <sup>-3</sup> %
- Manganeso total	2 x 10 <sup>-3</sup> %

#### II. 1. 3. 2. Suelo hortícola utilizado en los ensayos de producción final.

El suelo donde se realizó el cultivo de lechuga y tomate del ensayo de producción final con carozo y dos granulados como fertilizantes era un suelo hortícola situado en la Escuela de Capacitación Agraria. Los parámetros analizados en dicho suelo se muestran a continuación:

- Materia orgánica total	2,3%
- pH	7,5
- Nitrógeno total (N)	0,15%
- Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	122 ppm
- Potasio total (K <sub>2</sub> O)	308 ppm
- Magnesio total (Mg)	190 ppm
- Calcio total (Ca)	2%

#### II. 1. 4. VERMICULITA.

La elección de vermiculita para los primeros ensayos realizados se hizo en base a su gran capacidad de retención de agua y al hecho de que proporciona una textura suelta y aireada a los sustratos de los que forma parte. La vermiculita exfoliada se obtiene sometiendo a altas temperaturas al mineral vermiculita (silicato aluminico-magnésico) y sus propiedades físicas y químicas más relevantes, recogidas por Bures (1997), se muestran a continuación:

- Materia orgánica total	0%
- pH	8,9
- CE	0,02 dS m <sup>-1</sup>
- Capacidad absorción agua	59%
- Densidad aparente	0,13 g cm <sup>-3</sup>
- Nitrógeno extractable (N)	4 mg l <sup>-1</sup>

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

- Fósforo extractable ( $P_2O_5$ )	3 mg l <sup>-1</sup>
- Potasio extractable ( $K_2O$ )	31 mg l <sup>-1</sup>
- Magnesio extractable (Mg)	390 mg l <sup>-1</sup>
- Calcio extractable (Ca)	175 mg l <sup>-1</sup>

#### II. 1. 5. SUSTRATO AGOTADO DE CHAMPIÑÓN.

El sustrato agotado de champiñón utilizado fue proporcionado por el Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón de La Rioja (CTICH), Ctra Calahorra, Km 4, Autol (La Rioja).

Las características físico-químicas de dicho residuo son:

- Materia orgánica total	51,9%
- Materia seca	59%
- pH	8,0
- CE	6,17 dS m <sup>-1</sup>
- Relación C/N	8,1
- Nitrógeno Kjeldahl (N)	3,00%
- Fósforo total ( $P_2O_5$ )	2,45%
- Potasio total ( $K_2O$ )	2,46%
- Magnesio total (Mg)	1,25%
- Calcio total (Ca)	7,46%
- Hierro total	0,33%

#### II. 1. 6. PAJA.

La paja de cereal utilizada en co-compostaje con el carozo presentaba las siguientes características:

- Materia seca	80%
- Relación C/N	70
- Nitrógeno Kjeldahl (N)	0,47%
- Fósforo total ( $P_2O_5$ )	0,13%
- Potasio total ( $K_2O$ )	1,01%

#### II. 1. 7. GUANO.

Como fertilizante orgánico hemos utilizado Varitas Fertilizantes con Guano de COMPO® con una composición NPK 11-4-8 que, según el fabricante, contenían además magnesio y microelementos en cantidad desconocida.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

---

La elección de este tipo de producto se realizó debido a que la utilización de fertilizantes orgánicos a base de guano está muy extendida y es ampliamente conocida.

#### II. 1. 8. FERTILENT®.

El Fertilent® es un abono mineral granulado (2-4 mm) NPK con nitrógeno de liberación lenta debido a que contiene un inhibidor de la nitrificación. El contenido en elementos minerales, proporcionado por la empresa Mirat. S. A., es:

- Nitrógeno (N)	20%
- Fósforo total ( $P_2O_5$ )	12%
- Potasio total ( $K_2O$ )	8%
- Magnesio (MgO)	2%
- Azufre ( $SO_3$ )	27%



#### II. 2. MATERIAL VEGETAL UTILIZADO.

Con el objeto de abarcar el mayor número de cultivos posibles se realizaron los distintos ensayos utilizando diferentes tipos de plantas, algunas cultivadas por su parte vegetativa, como lechuga y berro, otras por sus frutos, como tomate y pimiento e, incluso un cultivo de flor como la petunia.

De cada una de las especies se emplearon los cultivares que se detallan a continuación:

- ✓ Lechuga: *Lactuca sativa* L. Se utilizaron los siguientes cultivares:
  - cv. Batavia Rubia-Munguia.
  - cv. Attractive.
  - cv. Maravilla de Verano.
  
- ✓ Petunia: *Petunia x hybrida* cv. Multicolor. Se adquirieron planteles comerciales con dos hojas en Agriflor S. A. situados en la localidad de Huerta (Salamanca).
  
- ✓ Tomate: *Lycopersicum esculentum* Mill.
  - cv. Redondo Saint Pierre.
  - cv. Roma.
  
- ✓ Pimiento: *Capsicum annuum* L.
  - cv. Morrón grande.
  - cv. California.
  - cv. Tres cantos.
  
- ✓ Berro: *Lepidium sativum* L.



### II. 3. INSTALACIONES.

Para la realización de todos los ensayos hemos dispuesto de dos invernaderos cuyas características más importantes se recogen a continuación:

- Invernadero 1. Invernadero con cubierta de cristal y control de temperatura y humedad automático mediante cooling-system situado en el antiguo Centro Tecnológico del Toro de Lidia de la Junta de Castilla y León (Salamanca).
- Invernadero 2. Perteneciente a la Escuela de Capacitación Agraria de la Junta de Castilla y León en Salamanca. Este invernadero consta de dos zonas diferenciadas:
  - Zona A: de doble capa, de polietileno la exterior y de policarbonato la interior, con sistema de calefacción mediante aerotermo y ventanas móviles. Está dotado de mesas de cultivo.
  - Zona B: de una sola capa de polietileno con ventilación automática mediante cubiertas cenitales móviles, con mesas de cultivo en 1/3 de su superficie.





#### II. 4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN.

##### II. 4. 1. GERMINACIÓN.

En relación con la germinación se determinaron la velocidad a la que transcurría y el Porcentaje de plantas germinadas

Para evaluar la Velocidad de germinación se anotaron las plantas emergidas desde el momento de la siembra, hasta el momento en que dos conteos consecutivos arrojaban el mismo valor. De esta forma podíamos estimar la velocidad a la que se producía la germinación fijándonos en el número de plantas emergidas en los distintos conteos. La toma de datos se realizó en distintos momentos especificados en cada uno de los ensayos.

El Porcentaje de germinación se calculó mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ plantas germinadas}}{\text{N}^{\circ} \text{ semillas sembradas}} \times 100$$

Se tomó como número de plantas germinadas, el obtenido cuando dos conteos, realizados de forma consecutiva, presentaron el mismo valor.

##### II. 4. 2. VALORACIÓN DEL ESTADO DE LAS PLANTAS.

Se recogió información periódica, determinada concretamente para cada uno de los cultivos y ensayos, de alguno de los parámetros descritos a continuación:

- Número de hojas verdaderas: se determinó contando el número de hojas plenamente desarrolladas en cada planta. Los conteos se realizaron en distintos momentos del desarrollo del cultivo y aparecerán especificados en los parámetros evaluados para cada ensayo.
- Altura de la planta: se midió con una cinta milimétrica tomando siempre como origen el nivel del sustrato y como altura la parte más alta alcanzada por la planta.

▫ Superficie foliar: para su determinación se eligió la tercera hoja basal, puesto que así nos aseguramos un desarrollo total de la hoja y uniformidad en la medida. Para estimar la superficie (S) de la hoja supusimos que su forma era una elipse regular, de tal manera que:

$$S = \pi \frac{L \times A}{4}$$

Siendo: L= longitud.  
A= anchura, por la parte central.

Longitud y anchura se midieron utilizando un calibrador milimétrico digital (COMECTA 0-150 mm).

▫ Nitrógeno foliar: se determinó el porcentaje de nitrógeno total en hoja mediante el autoanalizador LECO-2000 al final del ensayo. Para ello se prepararon muestras secas de tejido foliar, se secaron introduciéndolas en una estufa (P-Selecta-210) durante 48 horas a 60 °C, a continuación fueron pulverizadas finamente en un mortero de Ágata.

▫ Número de frutos presentes en cada planta.

▫ Longitud y anchura de los frutos: se midieron al final del ensayo de producción en campo de pimiento mediante un calibrador milimétrico digital (COMECTA 0-150 mm).

Se evaluó también, de forma visual la presencia de plagas, enfermedades y fisiopatías.

### II. 4. 3. MEDIDA DEL PESO SECO.

Para determinar el peso seco se extrajo cada planta completa de su medio de cultivo. A continuación se llevó a cabo un cuidadoso lavado manual de la parte radicular, de cada planta individualmente, para eliminar los sustratos adheridos. Una vez limpias se dispusieron las plantas de cada tratamiento sobre papel secante (Figura 34), evitando el contacto entre las distintas plantas, puesto que se deben pesar individualmente. Para terminar el procedimiento se introdujo cada papel secante en una estufa (P-Selecta-210) a 60 °C durante 48 horas.



Figura 34. Plantas de berro (izquierda) y plantel de lechuga (derecha) acondicionadas para obtención del peso seco.

Pasado ese tiempo, se considera que la planta ha perdido toda su humedad (Figura 35) y se procede a realizar las pesadas, lo más rápido posible con el objeto de minimizar la absorción de humedad del ambiente, para obtener el peso seco. Raíz y parte aérea se pesaron por separado en balanza de precisión (A&D-ER-120A), para lo cual se realizó un corte a nivel del cuello de cada planta para separarlas, anotando el peso de la raíz y de la parte aérea para cada una de las plantas secadas.



Figura 35. Plantas de berro (izquierda) y plantel de tomate (derecha) secas.

### II. 4. 4. MEDIDA DEL PESO FRESCO.

En las producciones finales de lechuga y pimiento se determinó el peso fresco mediante pesada en balanza convencional.

En el caso de lechuga se realizó una pesada de cada planta completa. Para ello se extrajeron del terreno cuidadosamente, se llevó a cabo un lavado de raíces para eliminar los restos de tierra adheridos y se determinó el peso de cada planta.

Para pimiento se determinó el peso de cada fruto recolectado fresco (Figura 36).



Figura 36. Fruto de pimiento recolectado.

### II. 4. 5. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA FRUCTIFICACIÓN DE PIMIENTO.

En el caso del pimiento cultivado en los ensayos de producción final, se determinaron:

- Tamaño del fruto. En base a que la forma del pimiento utilizado era cuadrangular, se calculó el tamaño del fruto como si éste fuera un prisma rectangular. Para ello se midió la anchura (A) y largo (L) de cada fruto mediante un calibrador y se calculó la dimensión del fruto como:

$$S = L \times A^2$$

- Número de frutos por planta.
- Peso de frutos por planta. Se calculó sumando el peso de todos los frutos recolectados de cada planta.

### II. 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se llevó a cabo un tratamiento estadístico de los resultados mediante el programa informático STATGRAPHICS-PLUS 5.0.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) que compara los datos de las distintas muestras, correspondientes a cada uno de los tratamientos efectuados, y detecta si existen diferencias significativas entre las medias de cada una de ellas, con un margen de confianza del 95%.

Para determinar qué medias son significativamente distintas de otras se realizó el Test del Rango Múltiple. En él se aplican procedimientos múltiples de comparación para determinar las diferencias significativas entre cada par de medias con un nivel de confianza del 95%. Presenta los resultados agrupando las muestras en grupos homogéneos, de tal forma que entre las muestras que integran cada uno de esos grupos no puede decirse que existan diferencias significativas, con un margen de error del 0,05. Sin embargo, sí existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de dos grupos distintos, que se denotan con una letra diferente.



### II. 6. ENSAYOS PREVIOS.

Se realizaron una serie de tratamientos de prueba con el objetivo de ajustar la cantidad de carozo que podíamos utilizar como sustrato. En estos ensayos se realizaron mezclas de carozo con tierra hortícola de la vega del Tormes y con vermiculita. Se diseñaron además dos tratamientos testigo, uno con la misma tierra hortícola y otro con turba comercial. Todas las mezclas son volumen/volumen:

- 50Cz-50V: 50% carozo+50% vermiculita.
- 50Cz-50Sh: 50% carozo+50% tierra hortícola.
- 25Cz-75V: 25% carozo+75% vermiculita.
- 25Cz-75Sh: 25% carozo+75% tierra hortícola.
- 15Cz-85V: 15% carozo+85% vermiculita.
- 15Cz-85Sh: 15% carozo+85% tierra hortícola.
- 100Sh: Testigo suelo hortícola de vega.
- 100T: Testigo turba comercial.

Se establecieron semilleros de tomate y de pimiento, con 10 plantas por tratamiento. Se sembraron dos semillas por alvéolo que se aclararon cuando tenían dos hojas. La duración del este ensayo fue de 65 días, desde el 21 de abril hasta el 24 de junio de 2004.

Solamente se realizó una valoración cualitativa de cada uno de los tratamientos:

- 50Cz-50V: En ambos cultivos se observa una germinación adecuada y buen estado para el trasplante con 4 hojas.
- 50Cz-50Sh: Tanto en el tomate como en el pimiento se produjo una germinación muy escasa, aunque las pocas plantas que se produjeron se encontraban en un estado adecuado para el trasplante con 4 hojas.
- 25Cz-75V: En los dos casos se obtuvieron muy pocas plantas y, además, no viables.
- 25Cz-75Sh: Con este tratamiento las plantas de tomate tuvieron una germinación adecuada, si bien se produjo la muerte de las plantas antes de llegar a 4 hojas. En el caso del pimiento la germinación fue también adecuada y las plantas con 4 hojas presentaban una clorosis generalizada.
- 15Cz-85V: En ambos cultivos se produjo una muerte prematura de todas las plantas germinadas.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

---

- 15Cz-85Sh: La germinación fue buena en los dos cultivos. Las plantas de tomate tenían 4 hojas al final del ensayo pero se encontraban en mal estado, mientras que las de pimiento tenían 4 hojas cloróticas.
- 100Sh: Con este tratamiento testigo se produjo una buena germinación. Las plantas de tomate, no obstante murieron antes de finalizar el ensayo. Las plantas de pimiento presentaban solamente 2 hojas en estado clorótico.
- 100T: En este caso se produjo también una buena germinación. Al igual que en el anterior las plantas de tomate murieron y las de pimiento llegaron al final del ensayo con 2 hojas cloróticas.



## II. 7. OBTENCIÓN DE PLANTEL CON MEZCLA DE SUSTRATOS.

### II. 7. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

A la vista de los resultados cualitativos de los tratamientos previos decidimos realizar el ensayo definitivo utilizando los siguientes sustratos: carozos, se mezclaron a partes iguales carozos procedentes de Apicasfer (Valero) y Apihurdes, vermiculita, suelo hortícola de la vega del Tormes y turba comercial.

Se realizaron mezclas de carozos con suelo y vermiculita en las siguientes proporciones (volumen/volumen):

- 67Cz-33V: 67% carozo+33% vermiculita.
- 67Cz-33Sh: 67% carozo+33% suelo hortícola.
- 50Cz-50V: 50% carozo+50% vermiculita.
- 50Cz-50Sh: 50% carozo+50% suelo hortícola.
- 33Cz-67V: 33% carozo+67% vermiculita.
- 33Cz-67Sh: 33% carozo+67% suelo hortícola.

Se establecieron, asimismo dos testigos:

- 100Sh: Testigo en suelo hortícola de vega.
- 100T: Testigo en turba comercial.

### II. 7. 2. DISEÑO DEL ENSAYO.

El material vegetal utilizado fue tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Redondo Saint Pierre) y pimiento (*Capsicum annuum* L. cv. Morrón grande). La siembra se realizó el día 2 de abril de 2005, en bandejas de turba prensada (jiffy-pots) con 36 alvéolos de 80 cm<sup>3</sup> de capacidad, colocando dos semillas por alvéolo. Una vez preparados los semilleros se colocaron sobre una mesa de cultivo en el Invernadero 1 y se mantuvieron hasta el 11 de junio, con lo que la duración del ensayo fue de 70 días.

Cuando las plantas tenían dos hojas verdaderas se realizó un aclareo dejando una sola planta por alvéolo. El diseño del ensayo constaba entonces de 36 plantas de cada tratamiento dispuestas en bloques al azar, considerando cada planta como una repetición. El momento de finalización se determinó teniendo en cuenta el número de hojas de las plántulas, cuando éstas presentaban 4-5 hojas verdaderas.

Los riegos se realizaron de forma manual dos veces por semana.

### II. 7. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS.

En el ensayo de producción estimamos los siguientes parámetros:

- ✓ Germinación: Velocidad (se anotaron las plantas emergidas cada tres días) y Porcentaje de germinación.
- ✓ Valoración del estado de las plantas: se midió el número de hojas por planta cada cinco días a partir del momento en que se calculó el porcentaje de germinación.
- ✓ Peso seco de parte aérea y raíz.

### II. 8. OBTENCIÓN DE PLANTEL UTILIZANDO CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES.

El objetivo de esta parte del trabajo es determinar la calidad del carozo y sus granulados como fertilizantes para la producción de planta hortícola. Con este fin se diseñaron ensayos de semillero para obtener plantales de lechuga y de pimiento.

El carozo utilizado se recogió en 2004 en la empresa Apicasfer (Valero, Salamanca).

De todos los granulados preparados se eligieron para los ensayos agronómicos dos:

- + El granulado obtenido utilizando 1 parte de carozo y 1 parte de yeso, que denominaremos CzY.
- + El obtenido con 2 partes de carozo y 1 parte de superfosfato cálcico, que denominaremos CzSf.

Las razones de esta elección se basan en la combinación de los siguientes criterios:

- Granulometría lo más homogénea posible, lo que facilitaría la aplicación mecanizada.
- Contenido en nitrógeno más elevado.
- Posibilidad de ser utilizado en agricultura ecológica, para el caso del CzY (Figura 37).

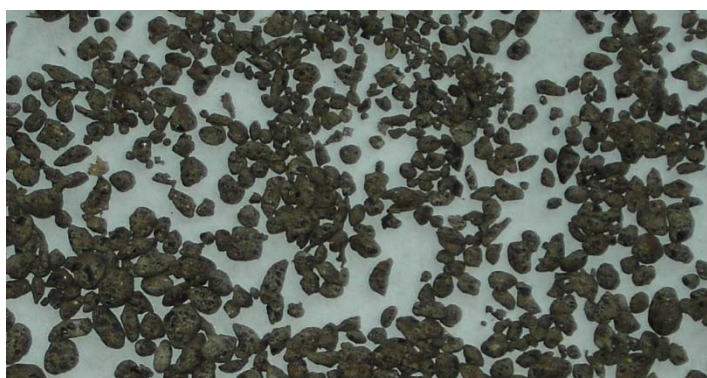


Figura 37. Granulado CzY.

#### II. 8. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Se realizaron mezclas (peso/peso) de los distintos formatos de carozo seleccionados con la turba comercial. Las composiciones correspondientes a los distintos tratamientos son:

- 25CzY-75T: 25% gránulos CzY+75% turba.
- 33CzY-67T: 33% gránulos CzY+67% turba.
- 25CzSf-75T: 25% gránulos CzSf+75% turba.
- 33CzSf-67T: 33% gránulos CzSf +67% turba
- 33Cz-67T: 33% Cz+67% turba.
- 25Cz-75T: 25% Cz+75% turba.

Como tratamientos testigo utilizamos:

- 100T: 100% turba.
- 5G-95T5% varitas con guano+95% turba.
- 2F-98T2% de Fertilent+98% turba.

#### II. 8. 2. DISEÑO DE LOS ENSAYOS.

El material vegetal utilizado fue para lechuga: *Lactuca sativa* L. cv. Attractive) y para pimiento: *Capsicum annuum* L. (cv. California).

Se llevaron a cabo semilleros durante dos años consecutivos 2006 y 2007. Se utilizaron bandejas de polietileno con 28 alvéolos, de capacidad 200 cm<sup>3</sup>. Cada uno de los alvéolos se considera como una repetición, por lo que tendríamos 9 tratamientos con 28 repeticiones por tratamiento.

Las mezclas de los distintos sustratos se realizaron manualmente. Se llenó cada bandeja con el tratamiento correspondiente y se colocaron al azar en una mesa de cultivo en el Invernadero 2. Posteriormente se realizó la siembra depositando dos semillas por alvéolo.

Se procedió a realizar un aclareo, dejando una planta por alvéolo, cuando la mayoría de los plántulas presentaba 2 hojas verdaderas

Se realizaron riegos según las necesidades hídricas marcadas por el testigo realizado en turba y no se llevó a cabo ningún tratamiento fitosanitario.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

Se retiraron los plántulos con 4–5 hojas verdaderas. La duración de este ensayo fue de 48 días en lechuga, tanto en 2006 como en 2007, y para pimiento, 70 días en 2006 y 89 días en 2007.

#### II. 8. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS.

Fueron estimados los siguientes parámetros de producción:

- ✓ Germinación: Porcentaje de germinación.
- ✓ Valoración del estado de las plantas: se determinaron distintos parámetros para evaluar el estado de las plantas a lo largo del ensayo
  - Número de hojas: se tomaron datos en tres momentos:
    - I. A los 12 días de la siembra.
    - II. En la mitad del ensayo.
    - III. Al final del ensayo.
  - Superficie foliar.
  - Porcentaje de nitrógeno foliar.
- ✓ Peso seco (Figura 38) de parte aérea y radicular.



Figura 38. Lechuga lavada para la determinación del peso seco.



### II. 9. OBTENCIÓN DE PRODUCCIÓN FINAL CON CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES.

#### II. 9. 1. DISEÑO DE LOS ENSAYOS.

En el ensayo de campo, realizado durante dos campañas en los años 2006 y 2007, se pretende determinar la influencia del tratamiento fertilizante aplicado durante todo el desarrollo de la planta. Por esta razón las plantas se fertilizaron con los mismos productos utilizados en el ensayo anterior: Cz, CzY y CzSf. En el caso de las producciones hortícolas, este ensayo incluiría el tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la recolección y, en el caso de la ornamental, desde su trasplante hasta la puesta en venta.

El suelo de la parcela utilizada para las producciones de lechuga y pimiento tenía una gran homogeneidad y había sido dedicado a cultivo hortícola durante varios años. Como labor preparatoria se realizó un pase de gradas de disco tres semanas antes del trasplante y una labor de preparación del lecho de siembra consistente en dos pases cruzados con rotavátor. Con esta labor, que se realizó dos días antes del trasplante, se produjo una mezcla total del suelo de la parcela utilizada, con lo que el factor suelo no resulta variable para el cultivo de las plantas, se considera fijo.

Se realizó un abonado de fondo, de forma manual, con los tratamientos objeto de ensayo antes del trasplante. La cantidad de fertilizante en cada caso concreto se calculó en base a la extracción de nitrógeno del cultivo. Así, las plantas que se fertilizaron en semillero con gránulos CzY, en campo son también fertilizadas con esos mismos gránulos. De igual manera, las que en semillero fueron fertilizadas con CzSf, reciben ese mismo granulado como fertilizante en campo. A las plantas que provienen de tratamientos con Cz se les aplica en campo carozo. Se estableció también un tratamiento testigo con plantales procedentes del tratamiento testigo de la fase de semillero: 100T, sin adicción de fertilizante.

#### II. 9. 1. 1. Lechuga.

El trasplante se realizó cuando los plantales, procedentes de la fase de semillero del ensayo anterior, tenían entre 4 y 6 hojas verdaderas. El plantel utilizado para cada uno de los tratamientos ensayados en campo procedía de los tratamientos que habían recibido





## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

## II MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 16. Características de los tratamientos de lechuga en campo.

Identificación	Proviene del tratamiento	Fertilizante aplicado	Cantidad (g m <sup>-2</sup> )
CzY	25CzY-75T	CzY	136
	33CzY-67T		
CzSf	25CzSf-75T	CzSf	119
	33CzSf-67T		
Cz	33Cz-67T	Cz	68
	25Cz-75T		
Control	Controles	Ninguno	-

El riego se llevó a cabo por inundación de los surcos con periodicidad semanal. A los 15 días tras el trasplante se realizó una escarda manual para eliminar adventicias. En la Figura 40 puede verse el aspecto de la plantación en ese momento y la disposición de los caballones.



Figura 40. Imagen del ensayo en campo de lechuga.



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

nitrógeno de un cultivo de pimiento, estas extracciones medias, según indica Maroto (2002), son de 100 U de N por ha.

El aspecto general de la plantación puede verse en la imagen de la Figura 42.



Figura 42. Imagen de la plantación de pimiento en campo.

Las especificaciones correspondientes a cada tratamiento se muestran en la Tabla 17:

Tabla 17. Características de los tratamientos de pimiento en campo.

	Proviene de tratamiento	Fertilizante aplicado	Cantidad (g m <sup>-2</sup> )
<b>CzY</b>	25CzY-75T	CzY	325
	33CzY-67T		
<b>CzSf</b>	25CzSf-75T	CzSf	285
	33CzSf-67T		
<b>Cz</b>	33Cz-67T	Cz	165
	25Cz-75T		
<b>Control</b>	Controles	Ninguno	-

Se realizaron dos escardas manuales, cada 25 días, para eliminación de adventicias de las malas hierbas surgidas a lo largo del ensayo.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

Fue necesario entutorar las plantas debido al peso de los frutos y a la posibilidad de sufrir daños causados por los vientos asociados a las tormentas de verano.

#### II. 9. 1. 3. Petunia.

Se realizaron mezclas (peso/peso) de los distintos formatos de carozo seleccionados con la turba comercial. Las composiciones correspondientes a los distintos tratamientos fueron:

- 25CzY-75T: 25% granulado CzY+75% turba.
- 33CzY-67T: 33% granulado CzY+67% turba.
- 25CzSf-75T: 25% granulado CzSf +75% turba.
- 33CzSf-67T: 33% granulado CzSf +67% turba.
- 33Cz-67T: 33% carozo+67% turba.
- 25Cz-75T: 25% carozo+75% turba

Se estableció como tratamiento testigo:

- 100T: 100% turba.

Para la producción de petunia se adquirieron plántulas comerciales con 30 días y dos hojas de *Petunia x hybrida* cv. Multicolor. A principios del mes de mayo se trasplantaron a bandejas de polietileno con 28 alvéolos, de capacidad 200 cm<sup>3</sup>. Cada uno de los alvéolos se considera como una repetición, por lo que el ensayo consta 7 tratamientos con 28 repeticiones por tratamiento.



Figura 43. Imagen del Invernadero 2 con planta de petunia.

Las mezclas de los distintos fertilizantes se realizaron manualmente. Se llenó cada bandeja de alvéolos con el tratamiento

correspondiente y se colocaron al azar en una mesa de cultivo en el invernadero 2 (Figura 43).

Se realizaron riegos, según necesidades hídricas del testigo con turba, y no fue necesario realizar ningún tratamiento fitosanitario.

El ensayo finalizó cuando la petunia presentaba un tamaño comercial, con aproximadamente 15 hojas por planta y alguna flor.

### II. 9. 2. PARÁMETROS ESTIMADOS.

Los parámetros evaluados en este caso fueron:

- ✓ Valoración del estado de las plantas:
  - Pimiento: en la mitad del ensayo se determinó el número de hojas y la superficie foliar de la cuarta hoja contada desde el cuello de la planta, a los 25 días del trasplante (I) y al final del ensayo justo antes de la recolección (II) se midió la altura de cada planta.
  - Petunia: número de hojas y superficie foliar en la mitad del ensayo.
- ✓ Peso seco en petunia y lechuga.
- ✓ Peso fresco de lechuga.
- ✓ Parámetros relacionados con la fructificación de pimiento: peso y tamaño medio de los frutos, número de frutos por planta y peso de frutos recolectados de cada una de las plantas.



### II. 10. ENSAYO DE PRODUCCIÓN DE PLANTEL CON SUSTRATOS CO-COMPOSTADOS Y TURBA.

Debido a los problemas detectados en el carozo para compostar adecuadamente, nos planteamos la posibilidad de mejorar sus condiciones de uso mezclándolo con otros materiales y realizando compostajes conjuntos. Para ello elegimos sustrato agotado del cultivo de champiñón, ya que tiene un pH elevado que compensaría el pH ácido del carozo, y paja de cereal que podría minimizar los problemas de compactación y elevada densidad de nuestro residuo, además de conseguir una relación C/N más adecuada (mayor de 10) para realizar un compostaje.

El carozo utilizado en este ensayo procedía de una mezcla previa de carozo recogido en 2008, procedente de Apicasfer (nueva Fábrica en Arapiles, Salamanca) y Apihurdes (Pinofranqueado, Cáceres).

#### II. 10. 1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Se eligieron tres proporciones distintas de cada uno de los tres compost (5, 10 y 17%) que se mezclaron con turba. Además se planteó un testigo con turba sola. Las mezclas, que se realizaron en porcentaje de peso, aparecen consignadas en la siguiente lista:

- 17Cz-83T: 17% carozo+83% turba.
- 10Cz-90T: 10% carozo+90% turba.
- 5Cz-95T: 5% carozo+95% turba.
- 17CzCh-83T: 17% compost CzCh+83% turba.
- 10CzCh-90T: 10% compost CzCh +90% turba.
- 5CzCh-95T: 5% compost CzCh +95% turba.
- 17CzPj-83T: 17% compost CzPj+83% turba.
- 10CzPj-90T: 10% compost CzPj +90% turba.
- 5CzPj-95T: 5% compost CzPj +95% turba.
- 100T: 100% turba.

#### II. 10. 2. DISEÑO DE LOS ENSAYOS.

Los ensayos se llevaron a cabo durante dos años consecutivos, 2009 y 2010. Los cultivos seleccionados para este ensayo fueron lechuga, tomate y berro. Los semilleros se realizaron en la zona de doble cubierta del Invernadero 2 utilizando bandejas de polietileno negro de 28 alvéolos con 200 cm<sup>3</sup> de capacidad cada uno de ellos. Se



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

sembraron 28 alvéolos de cada tratamiento, depositando en cada uno de ellos dos semillas. Se realizó un diseño de bloques distribuidos al azar en la mesa de cultivo.

Se regaron a demanda, según las necesidades del testigo, de forma manual, y no fue necesario realizar ningún tratamiento fitosanitario. En la imagen de la Figura 44 puede verse el aspecto de este ensayo en el invernadero.



Figura 44. Imagen del ensayo de producción de plantel con sustratos co-compostados y turba.

Cuando los planteles tenían dos hojas verdaderas se realizó un aclareo, dejando únicamente una planta con alvéolo, de tal forma que cada tratamiento constaba de 28 plantas considerando cada planta como una repetición.

#### II. 10. 3. PARÁMETROS ESTIMADOS.

Para evaluar el desarrollo de la planta durante todo el ensayo y el estado final del plantel obtenido se determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Germinación: Velocidad y Porcentaje de germinación. Para la velocidad de germinación se anotaron las plantas emergidas cada cinco días en lechuga y tomate y cada dos días en berro.



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### II MATERIALES Y MÉTODOS

---

✓ Valoración del estado de las plantas: para valorar el estado de las plantas en este ensayo se determinó únicamente el número de hojas.

Se realizaron conteos en tres momentos:

I. A los 12 días de la siembra.

II. En la mitad del ensayo.

III. Al final del ensayo.

✓ Peso seco de Parte aérea y radicular.



---

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 1. OBTENCIÓN DE PLANTEL CON MEZCLA DE SUSTRATOS.

##### III. 1. 1. SEMILLERO DE TOMATE.

###### III. 1. 1. 1. Germinación.

En la Tabla 18 podemos ver la Velocidad de germinación, determinada cada tres días y que nos permitió valorar la evolución de los semilleros de tomate y el Porcentaje de germinación obtenido con los distintos tratamientos.

La velocidad de germinación se considera elevada en los tratamientos 50Cz-50V, 100Sh y 100T.

En el caso del tratamiento 100T a los 9 días de la siembra (III) habían nacido más del 80% de las semillas, mientras que en los tratamientos 100Sh y 50Cz-50V habían germinado poco más del 60%.

En el tratamiento 33Cz-67Sh la velocidad de germinación fue menor, alcanzándose un 60% de nascencia al cabo de 18 días desde la siembra. El resto de los tratamientos tuvieron una velocidad de germinación considerablemente más lenta.

Tabla 18. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) en tomate.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	G (%)
<b>67Cz-33V</b>	0	0	0	18	19	23	28	38.89 c
<b>67Cz-33Sh</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>50Cz-50V</b>	2	41	44	46	51	53	53	73.61 a
<b>50Cz-50Sh</b>	0	6	7	20	24	40	48	66.67 b
<b>33Cz-67V</b>	0	0	0	3	4	5	7	9.72 d
<b>33Cz-67Sh</b>	0	0	8	31	43	56	57	79.17 a
<b>100Sh</b>	6	44	46	50	50	57	57	79.17 a
<b>100T</b>	29	60	61	68	68	68	68	94.44 a

Valores en la misma columna seguidos por diferente letra son significativamente distintos ( $p < 0,05$ ).

Respecto al Porcentaje de germinación, como puede verse en la última columna de la Tabla 19, los tratamientos 50Cz-50V, 33Cz-67Sh, 100Sh y 100T, presentan porcentajes de germinación adecuados, por encima del 70%. El tratamiento 50Cz-50Sh está cerca de esos valores

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con un Porcentaje de Germinación del 66,67%, aunque este valor es estadísticamente inferior.

El resto de los tratamientos presentan unos porcentajes de germinación muy pequeños, en el caso de los tratamientos 67Cz-33Sh y 67Cz-33V, debido seguramente al importante contenido en cera del carozo, que creó una película superficial dura e impermeable que dificultó la nascencia. Este hecho se produjo de forma más acusada en la mezcla con suelo hortícola (Sh) puesto que aumentó los problemas de compactación, mientras que la vermiculita (V) en esos porcentajes hizo que la porosidad de la mezcla fuera más elevada, por ello los porcentajes de germinación fueron de 0 y 38,39% respectivamente.

El tratamiento 33Cz-67V, presentó un porcentaje de germinación muy bajo (9,72%), posiblemente ocasionado por el mayor contenido en vermiculita de la mezcla que pudo provocar problemas por falta de la humedad en la zona superficial necesaria para el proceso de imbibición de la semilla, previo a la germinación propiamente dicha.

Los tratamientos 67Cz-33Sh y 33Cz-67V tenían unos Porcentajes de germinación no aceptables y fueron retirados de las valoraciones posteriores por no contar con el número mínimo de plantas necesario para obtener resultados estadísticamente significativos.

#### III. 1. 1. 2. Valoración del estado de las plantas de tomate.

En la Tabla 19 se muestran los resultados de la valoración del estado de las plantas que se realizó determinando el número de hojas.

Tabla 19. Número medio de hojas por planta (cada cinco días).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
<b>67Cz-33V</b>	0	Cot	Cot	2	3	3	4	4	4
<b>50Cz-50V</b>	Cot	2	2	2	3	3	4	4	4
<b>50Cz-50Sh</b>	Cot	Cot	Cot	2	2	2	2	2	3
<b>33Cz-67Sh</b>	Cot	Cot	2	2	2	3	3	3	4
<b>100Sh</b>	Cot	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>100T</b>	Cot	2	2	2	2	2	2	2	2

Cot: Cotiledones.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conteo del número de hojas comenzó una vez que se determinó el porcentaje de germinación y a partir de esa fecha se tomaron datos cada 5 días.

Como podemos ver las plantas pertenecientes a los tratamientos 67Cz-33V, 50Cz-50V y 33Cz-67Sh, tenían cuatro hojas verdaderas al final del ensayo, este hecho es importante puesto que el trasplante de los plántulos es uno de los puntos más delicados de la producción de hortalizas. El desarrollo adecuado de los plántulos hace que exista una tolerancia más alta al estrés causado por el trasplante y una mayor viabilidad posterior de la producción.



Figura 45. Plantas de tomate de los tratamientos 67Cz-33V, 50Cz-50V y 100T de izquierda a derecha.



Figura 46. Plantas de tomate de los tratamientos 33Cz-67Sh, 50Cz-50Sh y 100Sh de izquierda a derecha.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas del tratamiento 50Cz-50Sh, presentaron un desarrollo algo menor, ya que únicamente desarrollaron tres hojas verdaderas. Además, al final del período de estudio comenzaron a amarillear.

Por último, las plantas correspondientes a los testigos ensayados, 100Sh y 100T, tuvieron una nascencia muy rápida, como vimos en el epígrafe anterior, pero el desarrollo de las plántulas fue muy inferior (Figuras 45 y 46), de hecho presentaron síntomas de clorosis hacia la mitad del ensayo, presentando sólo dos hojas verdaderas en el momento del trasplante.

#### III. 1. 1. 3. Peso seco de tomate.

Los resultados de peso seco medio de la parte aérea y radicular, para cada uno de los tratamientos, se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Peso seco medio de la Parte aérea y radicular de tomate (mg).

	Parte aérea	Parte radicular
<b>67Cz-33V</b>	137,4 a	36,0 a
<b>50Cz-50V</b>	87,5 b	27,5 ab
<b>50Cz-50Sh</b>	11,4 c	3,2 c
<b>33Cz-67Sh</b>	73,6 b	19,7 b
<b>100Sh</b>	9,9 c	3,6 c
<b>100T</b>	10,4 c	4,8 c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Al realizar el tratamiento estadístico de los datos constatamos que existían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados, con un nivel de confianza del 95%.

A la vista de los resultados podemos afirmar que el tratamiento 67Cz-33V presentó un peso seco medio de la parte aérea superior al resto. La razón de este mayor crecimiento aéreo sería el mayor contenido en carozo de este tratamiento, que pondría unos altos contenidos de nitrógeno a disposición de la planta. Herrera y col. (2008) en su trabajo utilizando compost de residuos sólidos urbanos,



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

señalan como causa probable del mejor resultado obtenido a la existencia de un correcto balance entre la fuente de nutrientes aportada por el compost y las características físicas de la turba rubia, particularmente su porosidad y aireación. Estos resultados son extrapolables a nuestra situación puesto que la vermiculita aporta también estas mismas características físicas a la mezcla.

Tenemos un segundo grupo integrado por los tratamientos 50Cz-50V y 33Cz-67Sh, ambos con un crecimiento menor que el tratamiento anterior pero superior al resto. Por último los tratamientos 50Cz-50Sh, 100T y 100Sh se caracterizaron por tener las medias de peso seco de la parte aérea significativamente más bajas, lo que nos indica que con ellos se obtienen los peores resultados de crecimiento valorados mediante este parámetro.

En cuanto a los resultados correspondientes al peso seco medio de la raíz podemos observar un grupo formado por los tratamientos 67Cz-33V y 50Cz-50V, si bien éste último forma parte, al mismo tiempo, del grupo siguiente. Con estos dos tratamientos se obtuvo el mayor peso seco y tienen, por tanto, la media más alta. El grupo "b" estaba formado por los tratamientos 50Cz-50V y 33Cz-67Sh, ambos con un crecimiento radicular superior al obtenido por las raíces de las plantas sometidas a los tratamientos 50Cz-50Sh, 100T y 100Sh, que presentaban los valores medios más bajos.

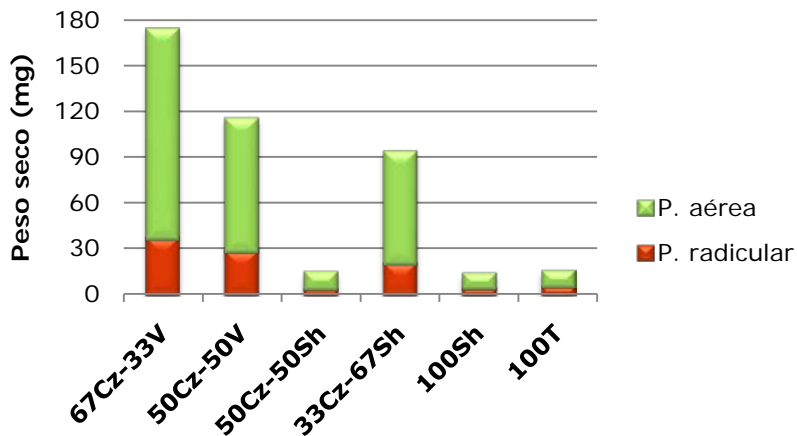


Figura 47. Peso seco medio de planta completa de tomate. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

## **D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN**

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

En la Figura 47 podemos ver representado el peso seco de parte aérea más el peso seco de parte radicular, así se puede ver gráficamente el tamaño del plantel completo.

Estos resultados están en consonancia por los obtenidos por Lazcano y col. (2009) en cuyo trabajo el mayor peso seco medio de plantel de tomate se producía cuando adicionaban compost y vermicompost a la turba en distintas proporciones (menores del 50% en volumen), utilizando como tratamiento control un testigo con un 100% de turba.

El bajo peso seco obtenido para los planteles del tratamiento 50Cz-50Sh, podría ser debido a que en realidad el contenido de carozo de este tratamiento, por el hecho de realizarse las mezclas en volumen, era demasiado elevado. Si convirtiéramos el valor de las mezclas realizadas en volumen a mezclas en peso, el tratamiento 50Cz-50Sh contendría un 25% en peso de carozo, mientras que el tratamiento 33Cz-67Sh contendría un 15%.

En el caso de los testigos el crecimiento tan escaso podría deberse al reducido tamaño de los alvéolos que condicionó la cantidad de nutrientes puestos a disposición de las plantas, mientras que los tratamientos con carozo tenían un mayor contenido en nutritivo en el mismo volumen.

#### **III. 1. 2. SEMILLERO DE PIMIENTO.**

##### **III. 1. 2. 1. Germinación.**

En la Tabla 21 se muestran la Velocidad de germinación, evaluada como el número de plantas emergidas cada tres días, y el Porcentaje de germinación del semillero de pimiento.

Teniendo en cuenta que, igual que en el caso anterior, las dos últimas filas corresponden a los tratamientos testigo, podemos realizar las siguientes valoraciones: la velocidad de germinación fue elevada en los tratamientos 100Sh y 100T, puesto que a los 15 días de la siembra (V) habían nacido más del 70% de las plantas. En esa fecha la nascencia de los tratamientos 50Cz-50V y 33Cz-67Sh, se situaba en valores en torno al 38% y el resto de tratamientos estaban más retrasados.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 21. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) en pimiento.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	G (%)
<b>67Cz-33V</b>	0	0	0	6	18	26	35	48.61 d
<b>67Cz-33Sh</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>50Cz-50V</b>	0	1	10	21	27	39	45	62.50 c
<b>50Cz-50Sh</b>	0	0	1	6	15	28	31	43.06 d
<b>33Cz-67V</b>	0	0	2	4	18	20	27	37.50 d
<b>33Cz-67Sh</b>	0	0	2	25	28	42	42	58.33 c
<b>100Sh</b>	1	12	16	33	51	53	53	73.61 b
<b>100T</b>	2	42	48	48	59	61	61	84.72 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Si analizamos los resultados sobre el Porcentaje de germinación que aparecen en la última columna de la Tabla 22, vemos que son altos en los tratamientos 100Sh y 100T, con valores significativamente superiores en el testigo realizado con turba. En los tratamientos con un 67% de carozo, tenemos unos resultados que nos indican que con esta proporción resulta más adecuada, para facilitar la germinación, la mezcla con vermiculita que la mezcla con suelo, puesto que su presencia aumentaría la porosidad y esponjosidad del sustrato. Para las mezclas con un 50% de carozo, tenemos que resulta también más ventajosa la mezcla con vermiculita, ya que su porcentaje de germinación es del 62,5%, mientras que el de la mezcla 50Cz-50Sh es de 43,06%. Sin embargo en las mezclas con menor proporción de carozo, tenemos unos porcentajes de germinación del 58,33% en la mezcla con suelo hortícola y un 37,50% en la mezcla 33Cz-67V, que seguramente tuvo problemas de humedad en superficie por la elevada porosidad de la vermiculita.

El tratamiento 67Cz-33Sh, debido a la inexistencia de plantas, no aparece en las valoraciones posteriores.

#### III. 1. 2. 2. Valoración del estado de las plantas de pimiento.

En la siguiente tabla se muestran los datos recogidos respecto al número medio de hojas de las plantas de pimiento, parámetro

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

utilizado para determinar la valoración del estado de las plantas en este ensayo (Tabla 22).

Tabla 22. Número medio de hojas por planta (cada 5 días) de pimienta.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
<b>67Cz-33V</b>	0	0	Cot	2	3	3	3	4	4
<b>50Cz-50V</b>	Cot	Cot	2	2	3	3	3	4	4
<b>50Cz-50Sh</b>	0	Cot	Cot	2	2	2	2	3	4
<b>33Cz-67V</b>	0	Cot	Cot	2	2	2	2	3	4
<b>33Cz-67Sh</b>	0	Cot	2	2	2	2	2	3	4
<b>100Sh</b>	Cot	2	2	2	3	3	3	3	3
<b>100T</b>	Cot	Cot	2	2	2	2	2	2	2

Cot: Cotiledones.

Las plantas correspondientes a los tratamientos 67Cz-33V, 50Cz-50V, 50Cz-50Sh, 33Cz-67V y 33Cz-67Sh tenían cuatro hojas verdaderas bien desarrolladas al final del ensayo y su estado era satisfactorio. Este hecho, como ya hemos comentado, hace que los plántulos tengan más posibilidades de sobrevivir al estrés causado por el trasplante. En las Figuras 48 y 49 puede verse el aspecto de las plantas de pimienta de todos los tratamientos al final del ensayo.



Figura 48. Plantas de pimienta de los tratamientos 33Cz-67Sh, 50Cz-50Sh y 100Sh, de izquierda a derecha.



Figura 49. Plantas de pimienta de los tratamientos 33Cz-67V, 67Cz-33V, 50Cz-50V y 100T, de izquierda a derecha.

Las plantas correspondientes al tratamiento 100Sh tuvieron un desarrollo rápido y se mantuvieron en un estado muy satisfactorio hasta 15 días antes de retirar los semilleros, momento en el que tenían tres hojas. Por el contrario, las plantas pertenecientes al tratamiento 100T empezaron a presentar clorosis a los 40 días de comenzado el ensayo y su desarrollo se detuvo en 2 hojas verdaderas. En el momento del trasplante muchas habían muerto y las que quedaban tenían un estado deficiente, posiblemente debido al tamaño del alvéolo, como señalamos en el semillero de tomate.

### III. 1. 2. 3. Peso seco de pimienta.

Los resultados de peso seco medio de parte aérea y radicular están recogidos en la Tabla 23.

Tabla 23. Peso seco (mg) medio de la Parte aérea y radicular del plantel de pimienta.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>67Cz-33V</b>	47,0 a	16,9 a
<b>50Cz-50V</b>	22,5 b	9,1 b
<b>50Cz-50Sh</b>	13,6 bc	5,0 bc
<b>33Cz-67V</b>	19,1 bc	7,0 bc
<b>33Cz-67Sh</b>	15,3 bc	7,0 bc
<b>100Sh</b>	16,6 bc	8,1 bc
<b>100T</b>	7,6 c	4,5 c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el análisis estadístico muestra los mismos resultados para parte aérea y radicular haremos los comentarios conjuntamente.

Podemos observar que el tratamiento con el mayor peso seco medio es, al igual que en el caso de tomate, el 67Cz-33V, debido seguramente al mayor aporte de nitrógeno.

El tratamiento 50Cz-50V, presenta un peso seco medio menor al anterior, pero significativamente superior a la media del tratamiento 100T. No existen diferencias estadísticas con el resto de tratamientos.

Los grupos "b" y "c" se solapan en cuatro tratamientos: 50Cz-50Sh, 33Cz-67V, 33Cz-67Sh y 100Sh, esto significa que entre dichos tratamientos no existen diferencias estadísticamente significativas.

La representación gráfica de estos resultados para la planta completa de pimiento aparece consignado en la Figura 50.

A pesar del bajo porcentaje de germinación obtenido con el tratamiento 67Cz-33V, consideramos que con un manejo adecuado que minimice la compactación (picado fino, granulado, nuevos componentes de mezcla), esta proporción supera notablemente el resultado obtenido con los testigos. También resulta adecuado el tratamiento 50Cz-50V puesto que en las condiciones de ensayo supera al control realizado con turba.

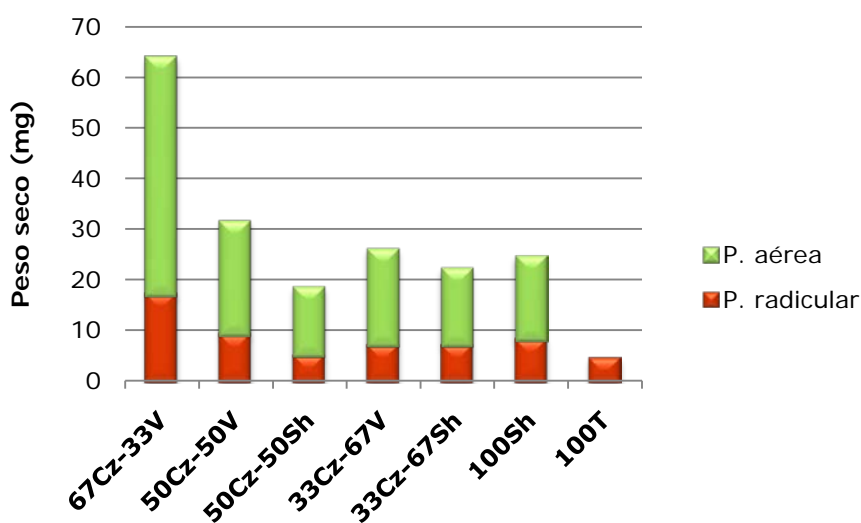


Figura 50. Peso seco medio del plantel de pimiento. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

Del mismo modo, los resultados obtenidos para los tratamientos 50Cz-50Sh, 33Cz-67V y 33Cz-67Sh son positivos, puesto que con ellos se obtienen resultados similares a los obtenidos con los testigos.

Con la utilización de estas mezclas se conseguiría reducir el consumo de turba en un 67%, 50% y 33% según las proporciones de carozo utilizadas.

#### III. 1. 3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

En ambos cultivos, los resultados obtenidos para el peso seco medio con el tratamiento 67Cz-33V son muy superiores a los testigos. Sin embargo, los bajos porcentajes de germinación y el retraso observado en la velocidad a la que transcurre el proceso, hacen necesario buscar y ensayar nuevas estrategias que nos conduzcan a aumentar la velocidad y el porcentaje de germinación de las semillas cultivadas sobre sustratos que contengan carozo.

Por ello nos planteamos una doble estrategia para intentar subsanar estos aspectos:

- ✓ Realizar un picado mucho más fino del carozo hasta un tamaño de partícula menor de 3mm de diámetro.
- ✓ Formular un granulado de carozo con algún tipo de aglutinante para conseguir un producto que no afectara al proceso de germinación (puesto que tardaría más en comenzar a disolverse) y que facilitara el manejo y la posible comercialización del carozo generando un producto, que pudiera ser utilizado como fertilizante órgano-mineral y resultara más atractivo para el mercado.





## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 2. OBTENCIÓN DE PLANTEL UTILIZANDO CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES.

##### III. 2. 1. SEMILLERO DE LECHUGA.

##### III. 2. 1. 1. Germinación de lechuga.

En la Tabla 24 presentamos los resultados de la Velocidad de germinación, evaluada determinando el número de plantas emergidas cada 7 días, y el Porcentaje de germinación, obtenidos en cada uno de los tratamientos ensayados en los semilleros de lechuga.

Tabla 24. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) de lechuga.

	I	II	III	G (%)
<b>25CzY-75T</b>	10,5	39,0	50,5	90,2 a
<b>33CzY-67T</b>	10,8	46,1	51,5	92,0 a
<b>25CzSf-75T</b>	15,0	26,3	32,0	57,1 b
<b>33CzSf-67T</b>	11,1	28,0	31,5	56,2 b
<b>25Cz-75T</b>	31,0	43,1	51,1	91,2 a
<b>33Cz-67T</b>	30,7	41,0	50,4	90,0 a
<b>100T</b>	32,3	51,5	52,0	92,8 a
<b>5G-95T</b>	29,0	45,0	51,6	92,1 a
<b>2F-98T</b>	32,5	50,0	52,2	93,2 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Respecto a la velocidad de germinación podemos ver que, a los siete días de la siembra (I), los tratamientos con granulados están retrasados respecto al resto. A los catorce días (II) este retraso sólo permanece en los tratamientos a base de gránulos CzSf, situación que se mantiene a los 21 días (III). Este efecto podría explicarse debido a que los gránulos tienen una parte mineral importante que afecta negativamente al pH y la CE.

El mayor Porcentaje de germinación (G) corresponde a los tratamientos testigo, a los fertilizados con carozo y a los que llevan gránulos CzY. Los tratamientos con gránulos CzSf tienen unos

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

porcentajes significativamente más bajos. De hecho, se reduce un 35% el porcentaje de germinación respecto a los controles. El efecto inhibitor podría estar asociado a la alta acidez de estos tratamientos, ya que presentan unos pH de 5,3 (25CzSf-75T) y 5,1 (33CzSf-67T). Stoffella y col. (1997) también encontraron reducciones importantes de la emergencia en semillero cuando se aplicaban al sustrato distintos tipos de compost. En las Figuras 51 y 52 puede verse el aspecto de algunos de los tratamientos.

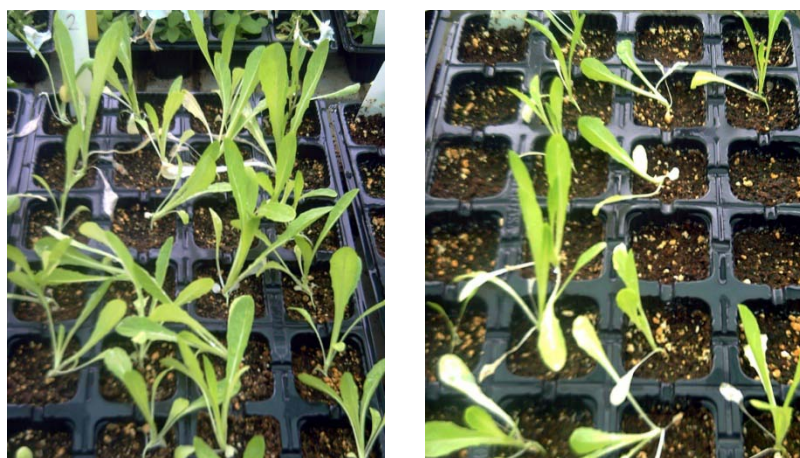


Figura 51. Imágenes del semillero de lechuga correspondientes a los tratamientos 33CzY-67T (izquierda) y 25CzSf-75T (derecha).



Figura 52. Imágenes del semillero de lechuga correspondientes a los tratamientos 33CzSf-67T (izquierda) y 33Cz-67T (derecha).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 2. 1. 2. Valoración del estado de las plantas de lechuga.

##### i. Número de hojas.

Se midió el número de hojas en cada planta en tres momentos a lo largo del ensayo:

- I: A los doce días de la siembra.
- II: En la mitad del ensayo.
- III: Al final del ensayo.

Los resultados medios obtenidos para este parámetro se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Número medio de hojas en el semillero de lechuga.

	I	II	III
<b>25CzY-75T</b>	1,7 a	3,1 a	4,3 ab
<b>33CzY-67T</b>	1,9 a	3,1 a	4,2 ab
<b>25CzSf-75T</b>	0,6 b	1,5 b	2,9 c
<b>33CzSf-67T</b>	0,8 b	1,8 b	3,2 bc
<b>25Cz-75T</b>	1,7 a	3,1 a	5,1 a
<b>33Cz-67T</b>	1,7 a	3,1 a	5,1 a
<b>100T</b>	2,0 a	3,6 a	5,0 a
<b>5G-95T</b>	1,9 a	3,6 a	5,1 a
<b>2F-98T</b>	2,1 a	3,8 a	5,2 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

En general, los tratamientos 25CzSf-75T y 33CzSf-67T tienen un número de hojas significativamente menor, seguramente debido al pH ácido, como ya apuntamos anteriormente y a la elevada CE de estos medios de cultivo. El resto de tratamientos tienen un número de hojas estadísticamente igual en los dos primeros conteos (I y II).

Al final del ensayo (III), los mejores resultados, con plántulas que poseían en torno a 5 hojas de media, se obtuvieron con los tres controles y con los tratamientos con carozo como fertilizante, si bien no se encontraron diferencias significativas entre este grupo y los tratamientos con granulados CzY. Por último, los tratamientos con

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

gránulos formulados a partir de superfosfato presentaban las medias más bajas.

Los tratamientos con CzY que tenían buen ritmo de crecimiento hasta la mitad del ensayo (I y II), se quedan un tanto retrasados al final (III), presentando un número medio inferior de hojas, aunque no significativo.

Estos resultados pueden verse de manera más clara en la Figura 53, donde aparecen los tratamientos con CzY en azul, con CzSf en amarillo, con Cz en granate y los testigos en verde.

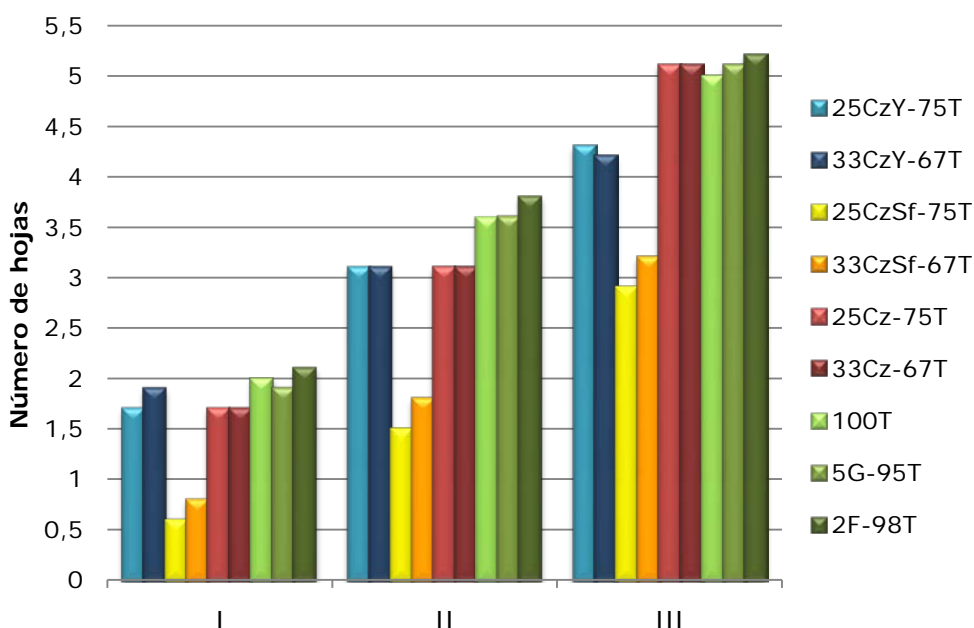


Figura 53. Número medio de hojas por planta de lechuga.

#### ii. Superficie foliar.

En la valoración del estado de las plantas se evaluó también la superficie foliar (realizando una medida de la tercera hoja basal de cada planta) correspondiente a los distintos tratamientos.

Como vemos en la Tabla 26 el área foliar osciló entre 24,2cm<sup>2</sup> y 31,8cm<sup>2</sup>. Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos 25Cz-75T, 33Cz-67T y con el testigo 2F-98T, no habiendo diferencias

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

significativas entre los demás tratamientos evaluados. Estos resultados indicarían, que tanto el carozo picado como el Fertilent son capaces de poner nitrógeno disponible para la planta cuando lo necesita, traduciéndose este aporte en un mayor tamaño de las hojas.

Tabla 26. Superficie foliar (cm<sup>2</sup>) media en hoja fresca y Porcentaje de nitrógeno medio en hoja seca de plantel de lechuga.

	Superficie (cm <sup>2</sup> )	N (%)
<b>25CzY-75T</b>	25,7 b	3,42 a
<b>33CzY-67T</b>	24,9 b	3,23 b
<b>25CzSf-75T</b>	24,2 b	2,87 b
<b>33CzSf-67T</b>	25,2 b	3,06 b
<b>25Cz-75T</b>	31,8 a	3,52 a
<b>33Cz-67T</b>	30,1 a	3,32 a
<b>100T</b>	24,8 b	2,41 c
<b>5G-95T</b>	25,3 b	2,54 c
<b>2F-98T</b>	29,7 a	2,56 c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

#### *iii. Porcentaje de nitrógeno foliar.*

Los resultados del análisis del contenido medio en nitrógeno de las hojas (sobre materia seca) de los distintos tratamientos se pueden observar en la última columna de la Tabla 26.

Los mayores porcentajes medios de nitrógeno corresponden a los tratamientos con carozo y al tratamiento 25CzY-75T. A continuación tenemos el tratamiento 33CzY-67T y los tratamientos con CzSf, mientras que los tratamientos testigo tienen unos porcentajes de nitrógeno foliar menores que el resto. A la vista de los resultados de este parámetro podríamos decir que la adición de carozo y sus granulados, con un contenido en nitrógeno importante, incrementan el porcentaje de nitrógeno en hoja, proporcionando una mejor nutrición a la planta respecto a este elemento.

En el tratamiento con Fertilent, a pesar de tener plantas con unas hojas de gran tamaño, el contenido en nitrógeno foliar de las mismas

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

es significativamente menor que el de los tratamientos con carozo. Posiblemente la cantidad de nitrógeno aportada por el Fertilent no fue suficiente para mantener unos altos porcentajes de nitrógeno en hoja.

#### III. 2. 1. 3. Peso seco de lechuga.

Los resultados correspondientes al peso seco de la parte aérea y radicular de los semilleros de lechuga se recogen en la Tabla 27.

Tabla 27. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de lechuga.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>25CzY-75T</b>	0,20 b	0,06 b
<b>33CzY-67T</b>	0,16 c	0,05 b
<b>25CzSf-75T</b>	0,09 d	0,01 c
<b>33CzSf-67T</b>	0,08 d	0,01 c
<b>25Cz-75T</b>	0,34 a	0,07 a
<b>33Cz-67T</b>	0,32 a	0,06 a
<b>100T</b>	0,22 b	0,07 a
<b>5G-95T</b>	0,21 b	0,06 a
<b>2F-98T</b>	0,24 b	0,07 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Los valores de peso seco medio de la parte aérea ponen de manifiesto una superioridad de los tratamientos 25Cz-75T y 33Cz-67T, posiblemente debido al importante aporte de nitrógeno proporcionado por el carozo. El tratamiento 25CzY-75T tiene un comportamiento similar a los tres testigos. El resto de tratamientos tiene un peso seco medio de la parte aérea menor, obteniéndose los peores resultados con los tratamientos a base de CzSf.

Respecto al peso seco de la raíz hay tres grupos bien diferenciados, siendo el formado por los tratamientos 25CzSf-75T y 33CzSf-67T al que le corresponde un peso medio inferior. Este resultado está en consonancia con lo visto en los parámetros anteriores y las causas de este escaso crecimiento serían las elevadas

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tasas de acidez y conductividad producidas por la adición de estos gránulos a la turba.

En un segundo grupo tenemos los tratamientos con gránulos CzY y por último las medias más altas corresponden a los tratamientos con carozo junto con los testigos.

En la representación gráfica de la Figura 54 podemos ver el peso seco medio total para cada tratamiento.

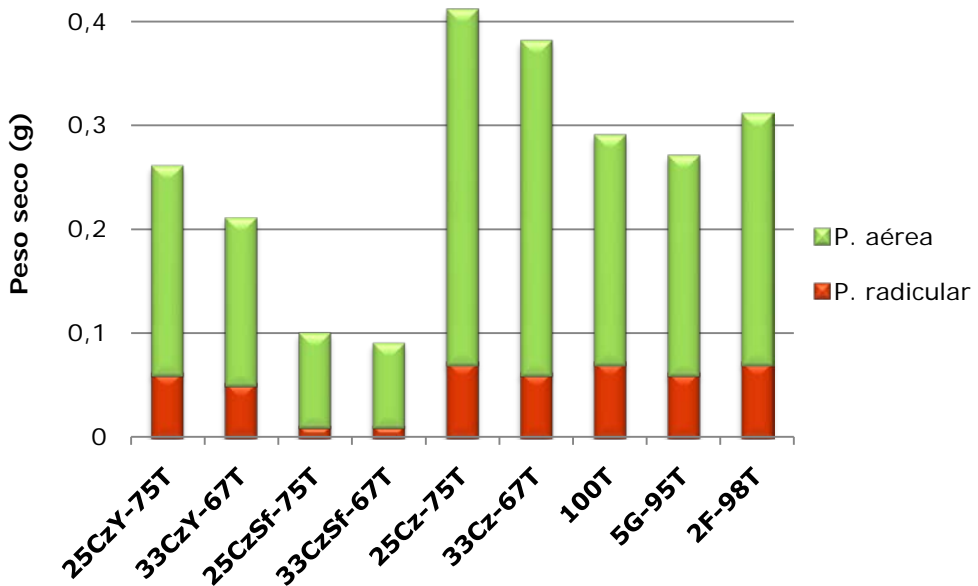


Figura 54. Peso seco medio de planta completa de lechuga. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

Vemos como el mayor peso seco se obtiene con los tratamientos con carozo, a continuación tendríamos los tres testigos y el tratamiento 25CzY-75T, después el 33CzY-67T y por último, los dos tratamientos con CzSf, con unos planteles significativamente más pequeños.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 2. 2. SEMILLERO DE PIMIENTO.

##### III. 2. 2. 1. Germinación.

En la Tabla 28 podemos ver la Velocidad de germinación, determinada realizando conteos de plantas emergidas cada siete días, y el Porcentaje de germinación medio obtenido por las plantas de pimiento de los distintos tratamientos ensayados.

Tabla 28. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) medio de pimiento.

	I	II	III	G (%)
25CzY-75T	16,5	36,5	46,5	83,05 a
33CzY-67T	14,8	37,0	41,5	74,1 a
25CzSf-75T	0	19,0	31,0	55,3 b
33CzSf-67T	0	14,5	22,5	40,2 b
25Cz-75T	9,0	33,5	41,0	73,2 a
33Cz-67T	7,0	31,0	37,0	66,1 ab
100T	27,5	45,0	50,0	89,3 a
5G-95T	23,3	42,7	48,0	85,7 a
2F-98T	20,5	44,5	49,7	88,8 a

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

Si nos fijamos en la velocidad a la que germinan las semillas de los distintos tratamientos, representada como número de plantas emergidas cada siete días desde la siembra (columnas I, II y III en la Tabla 28), podemos ver que los tratamientos con mayor retraso en todos los conteos son los que llevan CzSf. En el resto de los tratamientos la emergencia es algo menor que en los testigos, aunque se va igualando, en cierta medida, según transcurre el tiempo.

Respecto al Porcentaje de germinación (G) recogido en la última columna de la Tabla 28, tenemos unos valores elevados, mayores del 70% en la mayoría de los tratamientos (100T, 2F-98T, 5G-95T, 25CzY-75T, 33CzY-67T y 25Cz-75T). Con porcentajes de germinación menores aparecen los tratamientos 25CzSf-75T y 33CzSf-67T, si bien compartiendo ambos grupos tenemos el tratamiento con un 33% de carozo cuyas diferencias no son estadísticamente significativas. Las semillas sembradas sobre los sustratos fertilizados con gránulos CzSf



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

tienen unos porcentajes de germinación menores, debido a las desfavorables condiciones para este proceso provocadas por el bajo pH y la elevada CE.

#### III. 2. 2. 2. Valoración del estado de las plantas de pimiento.

##### *i. Número de hojas.*

En la Tabla 29 aparecen los resultados de las tres mediciones del número de hojas realizadas (a los doce días de la siembra, en el medio y al final del ensayo).

A los doce días de la siembra (I) podemos ver como algunos tratamientos tienen menor número medio de hojas que otros, estos son: 25CzSf-75T, 33CzSf-67T, 25Cz-75T y 33Cz-67T, el penúltimo de ellos sin diferencias significativas con el resto de tratamientos con mayor número de hojas en este conteo. En las Figuras 55 y 56 aparecen recogidos algunos tratamientos en este momento de desarrollo.

Tabla 29. Número de hojas medio para cada tratamiento.

	I	II	III
25CzY-75T	1,9 a	3,4 a	5,7 a
33CzY-67T	1,7 a	3,1 a	5,0 a
25CzSf-75T	1,1 b	2,6 b	4,2 b
33CzSf-67T	1,1 b	2,9 b	4,4 b
25Cz-75T	1,5 ab	3,3 a	5,6 a
33Cz-67T	1,3 b	3,1 a	5,5 a
100T	1,8 a	3,2 a	5,7 a
5G-95T	2,0 a	3,3 a	5,8 a
2F-98T	1,8 a	3,1 a	5,5 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

En la mitad del ensayo (II), los tratamientos con carozo han aumentado su velocidad de crecimiento, igualándose al grupo de los mejores tratamientos, quedando únicamente los tratamientos con CzSf

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con un número de hojas estadísticamente inferior al resto. Como vemos los tratamientos con carozo, a pesar de tener una germinación más tardía y escasa que los testigos, presentan un ritmo de crecimiento elevado, debido seguramente al buen aporte de elementos nutritivos que proporciona el carozo.

Al final del ensayo (III) se mantienen los resultados de la columna anterior, obteniéndose planteles con una media mayor o igual a 5 hojas para los testigos, los tratamientos con Cz y con gránulos CzY y con una media de algo más de 4 hojas para los tratamientos fertilizados con el granulado CzSf en ambas proporciones.



Figura 55. Imágenes del semillero de pimienta correspondientes a los tratamientos 25CzY-75T (izquierda) y 33CzY-67T (derecha).



Figura 56. Imágenes del semillero de pimienta correspondientes a los tratamientos 33Cz-67T (izquierda) y 25CzSf-75T (derecha).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### ii. Superficie foliar.

Los resultados medios de Superficie foliar de los distintos tratamientos ensayados en el semillero de pimiento se muestran en la Tabla 30.

Los tratamientos 25Cz-75T y 33Cz-67T tuvieron hojas de mayor tamaño medio, en torno a 18cm<sup>2</sup>, este incremento en el crecimiento pudo producirse por la reducción de la conductividad eléctrica durante el periodo de cultivo debido al lavado de las sales solubles (Papafotiou y col. 2001). Los tratamientos testigo tienen hojas con dimensiones de 15-16cm<sup>2</sup>, los tratamientos con CzY presentan menores dimensiones foliares y finalmente, los tratamientos con CzSf, como hemos ido viendo en los parámetros analizados hasta ahora tienen los peores resultados, con un tamaño de hoja de aproximadamente 8cm<sup>2</sup>, menos de la mitad que los tratamientos fertilizados con Cz.

Tabla 30. Superficie foliar (cm<sup>2</sup>) media de la tercera hoja desde la base de la planta y Porcentaje de nitrógeno foliar medio.

	Superficie (cm <sup>2</sup> )	N (%)
<b>25CzY-75T</b>	13,1 bc	2,64 b
<b>33CzY-67T</b>	10,8 c	2,66 b
<b>25CzSf-75T</b>	7,7 d	2,47 d
<b>33CzSf-67T</b>	8,0 d	2,53 c
<b>25Cz-75T</b>	18,5 a	2,84 a
<b>33Cz-67T</b>	18,2 a	2,78 a
<b>100T</b>	15,6 b	2,64 b
<b>5G-95T</b>	16,0 b	2,65 b
<b>2F-98T</b>	15,8 b	2,67 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos (p<0,05).

#### iii. Nitrógeno foliar.

Como podemos ver en la última columna de Tabla 30 los mejores resultados, para el contenido medio de nitrógeno en hoja, se obtienen con los dos tratamientos con carozo (25Cz-75T y 33Cz-67T) y los peores con los tratamientos 33CzSf-67T y 25CzSf-75T.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resto de tratamientos, incluidos los testigos, forman parte de un grupo homogéneo con valores intermedios de contenido en nitrógeno (2,64-2,67).

Estos resultados nos muestran de nuevo la importancia del contenido en nitrógeno presente en el carozo y que a lo largo del ensayo, pasa a disposición de la planta.

#### III. 2. 2. 3. Peso seco de pimiento.

Los resultados correspondientes al Peso seco de la parte aérea y radicular del semillero de pimiento se recogen en la Tabla 31.

Los valores obtenidos para la parte aérea ponen de manifiesto una superioridad, en el desarrollo de esta parte, en las plantas del tratamiento 33Cz-67T respecto a los demás, al igual que se observó en el semillero de lechuga. Por otro lado, los controles realizados tanto con el fertilizante orgánico como con el mineral, no tuvieron un desarrollo superior al control realizado sólo con turba, debido posiblemente a una escasa solubilidad de los elementos minerales contenidos en el guano y a la liberación demasiado lenta que tiene lugar en el Fertilent.

Tabla 31. Peso seco (g) medio de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de pimiento.

	Parte aérea	Parte radicular
25CzY-75T	0,22 b	0,15 ab
33CzY-67T	0,16 c	0,13 b
25CzSf-75T	0,06 d	0,05 c
33CzSf-67T	0,09 d	0,06 c
25Cz-75T	0,33 a	0,19 a
33Cz-67T	0,27 ab	0,18 a
100T	0,22 b	0,14 ab
5G-95T	0,22 b	0,15 ab
2F-98T	0,22 b	0,14 ab

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si analizamos el peso seco de la raíz nuevamente hay varios grupos bien diferenciados, siendo el formado por los tratamientos 25CzSf-75T y 33CzSf-67T al que le corresponde un peso inferior.

Las diferencias de peso pueden ponerse de manifiesto con más claridad en la siguiente representación gráfica donde aparece el peso medio por planta de pimiento, diferenciando el peso correspondiente a la raíz y a la parte aérea (Figura 57).

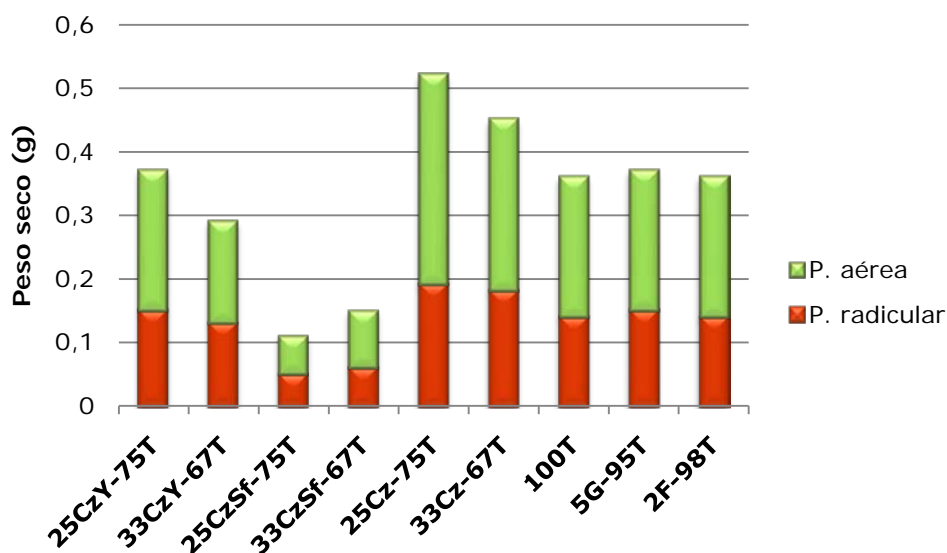


Figura 57. Peso seco medio de planta completa de pimiento. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

Como vemos, las diferencias entre el peso seco de los tratamientos 25Cz-75T y 33Cz-67T no son muy acusadas, aunque se obtienen unos resultados medios más altos con la mezcla que lleva un 25% de carozo debido seguramente a que un contenido demasiado alto de carozo resulta menos adecuado, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas.

Si analizamos lo que ocurre entre los dos tratamientos con CzY, podemos decir que los resultados proporcionados por el tratamiento 25CzY-75T son mejores (y similares a los de los controles) que los del 33CzY-75T. Por tanto, para la utilización en producción, altas dosis de

## **D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN**

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

granulados CzY, mayores del 25% reducirían el crecimiento respecto a los controles, porque aportan una elevada conductividad eléctrica.

Por último, ambos tratamientos realizados con gránulos CzSf tienen un crecimiento significativamente inferior que los testigos, la disminución del crecimiento es muy acusada, como podemos ver en la Figura 52, por lo que la utilización de este tipo de gránulos estaría desaconsejada. Los inconvenientes detectados en la caracterización físico-química de bajo pH y elevada conductividad eléctrica, han resultado ser determinantes para la posible utilización de este granulado en producción.

#### **III. 2. 3. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.**

Cuando planteamos este ensayo nuestros objetivos principales eran aumentar los porcentajes de germinación y formular un granulado adecuado para su posible comercialización.

Para ello se han probado tres productos: carozo finamente picado, gránulos CzY y gránulos CzSf, con resultados muy diferentes.

En el caso del carozo picado los resultados han sido muy positivos, puesto que los porcentajes de germinación se han igualado a los de los testigos y los resultados en valoración del estado de las plantas y producción, en el caso, sobre todo, del tratamiento con un 25% de carozo, superan a los testigos.

Los gránulos formulados a partir de yeso como aglutinante, también tienen un buen comportamiento en la germinación y sus resultados (algo mejores para el tratamiento con un 25% de CzY) han sido, en la mayoría de los parámetros evaluados, similares a los testigos.

Por último, los tratamientos con gránulos CzSf tuvieron unos malos resultados, revelándose como un producto a descartar en fase de semillero.

Paralelamente a estos ensayos se realizaron ensayos de producción final (con lechuga, pimiento y petunia) de estos mismos productos. Los resultados obtenidos se muestran y discuten en el siguiente epígrafe.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 3. OBTENCIÓN DE PRODUCCIÓN FINAL CON CAROZO Y DOS GRANULADOS COMO FERTILIZANTES.

Este ensayo es continuación del anterior para los cultivos de lechuga y pimiento. Además se incorporó un cultivo ornamental para ver la incidencia de los tres tipos de fertilizantes para una producción de este tipo, eligiendo la petunia, puesto que es la planta de temporada de verano más ampliamente extendida.

El objetivo planteado es evaluar el comportamiento de las plantas de lechuga y pimiento frente a los fertilizantes ensayados desde el trasplante, con plantel procedente del ensayo anterior, hasta la recolección. En el caso de petunia, se utilizarán distintas dosis de fertilizante, realizando una evaluación del cultivo desde su trasplante hasta un tamaño adecuado para su comercialización.

##### III. 3. 1. CULTIVO DE LECHUGA.

La lechuga se trasplantó al campo de ensayos a mediados del mes de mayo y la recolección tuvo lugar a mediados de junio. En el momento de la recolección se determinó el peso fresco y posteriormente, en el laboratorio, el peso seco.

##### III. 3. 1. 1. Peso fresco y peso seco.

En la Tabla 32 se muestran los valores medios de peso fresco y peso seco de parte aérea y radicular.

Tabla 32. Valores medios de Peso fresco (g), Peso seco (g) de Parte aérea y radicular de lechuga.

	Peso fresco	Peso seco	
		Parte aérea	Parte radicular
<b>CzY</b>	155,96 (58,2) b	12,26 (4,1) b	2,12 (0,6) b
<b>CzSf</b>	191,90 (55,4) ab	11,45 (3,6) b	2,24 (0,7) b
<b>Cz</b>	227,90 (46,2) a	19,96 (5,2) a	3,22 (0,6) a
<b>Control</b>	149,22 (60,7) b	12,37 (5,1) b	2,01 (0,7) b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Entre paréntesis se muestran las desviaciones.

## **D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN**

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

Como podemos ver en la Tabla 32 el Peso fresco no resulta tan discriminatorio como el Peso seco, no obstante podemos decir que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos con carozo (Cz) y los tratamientos con los granulados CzY y Control, siendo el peso fresco de la lechuga obtenida con carozo un 40% más elevado. López-Mosquera y col. (2003) realizaron una experimentación similar, utilizando un granulado a base de estiércol de pollo, obteniendo unos pesos frescos de lechuga superiores en todos los tratamientos efectuados respecto al control sin fertilizar.

Si analizamos el peso seco tanto de parte aérea como radicular vemos más claramente que el desarrollo del tratamiento fertilizado con Cz es significativamente superior al resto. Entre los tratamientos efectuados con los dos granulados y el control no se encuentran diferencias estadísticas. A la vista de los resultados la acción fertilizante del carozo resulta más rápida y eficiente que la de los granulados, que posiblemente necesitarían más tiempo para poner el nitrógeno a disposición de la planta en un cultivo, como es el de lechuga, que está poco tiempo en el terreno.

También influiría, en cierta medida el mayor tamaño de los plántulos de los tratamientos con carozo en el momento del trasplante, puesto que se ha visto que existe una correlación positiva entre el peso seco de la parte aérea del plantel y el peso seco de la producción final (Prieto, 2006).

#### **III. 3. 2. CULTIVO DE PIMIENTO.**

Los pimientos se trasplantan a campo a mediados de mayo y la primera recolección de frutos, que fue la que se cuantificó, se llevó a cabo a finales de agosto. En el momento de la primera cosecha, no obstante, quedaban en las plantas muchos frutos en formación y flores.

Dada la escasez de planta de pimiento de los tratamientos 33CzSf-67T y 25CzSf-75T en la fase de semillero realizada en el año 2006, fue imposible tener plantas suficientes para realizar el trasplante. Por esta razón, en los ensayos en campo de este cultivo, los resultados correspondientes al tratamiento CzSf proceden únicamente de los datos recabados en el año 2007.



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 3. 2. 1. Valoración del estado de las plantas.

Para determinar la influencia de los tratamientos en el proceso de crecimiento de la planta se tomaron medidas de número de hojas y superficie foliar en la mitad del ensayo. Se midió también la altura de la plantas en dos momentos: a los 20 días del trasplante (I) y al final del ensayo (II). Estos resultados están recogidos en la Tabla 33.

Tabla 33. Valores medios correspondientes a número de hojas por planta y superficie foliar en la mitad del ensayo y altura en I y II de pimiento.

	Número de hojas	Superficie foliar (cm <sup>2</sup> )	Altura (cm)	
			I	II
<b>CzY</b>	41,4 (9,3) b	32,8 (10,5) b	26,5 (3,5) b	53,3 (5,7) a
<b>CzSf</b>	39,8 (8,3) b	28,9 (11,6) b	23,9 (2,9) b	49,4 (4,0) b
<b>Cz</b>	59,1 (9,6) a	69,6 (9,9) a	34,1 (3,3) a	58,8 (8,2) a
<b>Control</b>	42,1 (5,6) b	28,7 (9,2) b	25,0 (3,2) b	54,6 (5,8) a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Entre paréntesis se muestran las desviaciones respecto de la media.

Observando los datos presentados en la Tabla 33, podemos detectar que, respecto al número de hojas por planta, el valor para el tratamiento con carozo es significativamente superior al resto de tratamientos. El valor medio menor corresponde al tratamiento CzSf aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa.

Con la superficie foliar estas diferencias se mantienen, de hecho el tamaño de la hoja medida en el tratamiento fertilizado con carozo tiene una superficie media de más del doble que el resto de tratamientos.

El parámetro de altura media determinado en dos momentos a lo largo del ensayo se representa de forma gráfica en la Figura 58. A los 20 días del trasplante (I) la altura media de la planta de pimiento fertilizado con carozo es significativamente superior al resto. Sin embargo al final del ensayo (II) la altura se hace más homogénea, de tal forma que tenemos tres tratamientos con una altura estadísticamente similar, el Control y los fertilizados con carozo y con gránulos CzY. Sólo el tratamiento fertilizado con gránulos CzSf mantiene una altura media significativamente inferior al resto de tratamientos evaluados.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Claramente la planta fertilizada con carozo presenta un desarrollo vegetativo mayor que el resto, puesto que tiene un mayor número de hojas y además éstas tienen el doble de tamaño. La altura de la planta es mayor al principio del ensayo, si bien luego se equilibra con otros tratamientos como ya hemos señalado. Estos resultados indican que este tratamiento pone un mayor contenido de nitrógeno, principal responsable del crecimiento vegetativo, a disposición de la planta.

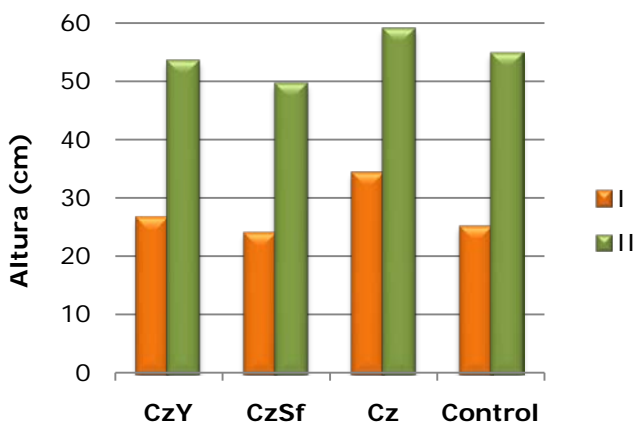


Figura 58. Evolución de la altura del pimiento en campo.

#### III. 3. 2. 2. Parámetros relacionados con la fructificación.

La recolección tuvo lugar en ambos años a finales de agosto. Los frutos recogidos fueron pesados y medidos individualmente, anotando al mismo tiempo el número de frutos por planta. Los resultados medios correspondientes se recogen en la Tabla 34.

Tabla 34. Resultados medios de parámetros de producción de pimiento.

	Peso de fruto (g)	Tamaño de fruto (cm <sup>3</sup> )	Frutos por planta	Peso por planta (g)
<b>CzY</b>	192,0 (70,1) ab	598,3 (253,7) ab	5,5 (1,2) b	1044,0 (139,5) b
<b>CzSf</b>	161,3 (81,0) b	522,8 (199,2) b	5,5 (1,8) b	885,5 (166,0) c
<b>Cz</b>	205,0 (60,9) a	648,8 (187,7) a	6,6 (2,1) a	1254,8 (128,4) a
<b>Control</b>	164,1 (56,8) b	534,7 (176,3) b	5,7 (1,7) b	931,5 (147,9) c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Los valores entre paréntesis representan la desviación respecto a la media.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera y segunda columnas de la Tabla 34 están recogidos el peso medio y el tamaño medio por fruto respectivamente, en ambos casos la media más alta corresponde al tratamiento con carozo, que es significativamente superior a los tratamientos Control y CzSf, si bien no es estadísticamente diferente del tratamiento con CzY. El peso medio del fruto es un parámetro importante, puesto que como señalan Prieto y col. (2004) es el índice que se utiliza para la clasificación del pimiento por categorías de comercio, de tal forma que los pimientos clasificados en una categoría superior alcanzan un mayor precio de mercado.



Figura 59. Frutos de pimiento recolectados de cada uno de los tratamientos: CzY (izquierda arriba), Control (derecha arriba), Cz (izquierda abajo) y CzSf (derecha abajo).

Respecto al número de frutos por planta tenemos que la media del tratamiento efectuado con carozo es mayor, así las plantas de este tratamiento tiene un fruto más que el resto. Entre el resto de tratamientos no existen diferencias significativas.

En las imágenes de la Figura 59 podemos ver el resultado de la recolección de los cuatro tratamientos realizados.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por último, en la última columna de la Tabla 34 aparece el peso por planta, que realmente nos permite cuantificar la producción obtenida con cada tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son claras, tenemos un peso de 1,2Kg por planta en el tratamiento con Cz que es significativamente superior al resto. A continuación tenemos el tratamiento fertilizado con gránulos CzY que tiene una producción media de 1Kg de pimientos por planta y finalmente, los tratamientos Control y CzSf con la media más baja en torno a 0,9Kg por planta.

Los resultados observados en la valoración de las plantas, con un mayor crecimiento de las plantas del tratamiento con Cz, se ven ratificados con los resultados de producción, donde también el tratamiento con carozo tiene unos mejores resultados que el resto, seguido del tratamiento con CzY.

#### III. 3. 3. CULTIVO DE PETUNIA.

##### III. 3. 3. 1. Valoración del estado de las plantas.

Los resultados para la valoración del estado de las plantas medidos en la mitad del ensayo y evaluados como número medio de hojas por planta y superficie foliar media se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Número medio de hojas por planta y superficie foliar (cm<sup>2</sup>) media.

	Número de hojas	Superficie foliar
<b>25CzY-75T</b>	31,9 (8,6) b	5,9 (3,1) c
<b>33CzY-67T</b>	46,8 (9,9) a	9,1 (2,6) b
<b>25CzSf-75T</b>	25,6 (9,4) c	4,6 (2,1) c
<b>33CzSf-67T</b>	21,0 (7,9) c	5,0 (2,0) c
<b>25Cz-75T</b>	35 (10,7) b	12,6 (5,6) a
<b>33Cz-67T</b>	44,8 (6,4) a	14,2 (6,1) a
<b>100T</b>	36,1 (7,9) b	2,2 (0,7) d

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Los valores entre paréntesis representan la desviación.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como vemos en la Tabla 35, existen diferencias respecto al número de hojas. Así los tratamientos con un mayor número de hojas son el 33Cz-67T y el 33CzY-67T. Con un número medio de hojas tenemos a los tratamientos 100T, 25Cz-75T y 25CzY-75T y con un número de hojas significativamente inferior se sitúan los tratamientos con CzSf.

Si analizamos ahora la superficie foliar, vemos que los tratamientos con hojas de mayor tamaño son los realizados con carozo y, a continuación tendríamos el tratamiento con un 33% de CzY. El resto de tratamientos tienen hojas de menor tamaño, sobre todo las del control con unas dimensiones muy escasas y estadísticamente inferiores al resto. En la Figura 60 podemos ver imágenes de algunos de los tratamientos efectuados, en el momento de la determinación de estos parámetros.



Figura 60. Algunos tratamientos del ensayo de petunia: 25Cz-75T (izquierda arriba), 25CzY-75T (derecha arriba), Control (izquierda abajo) y 33CzY-67T (derecha abajo).



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Podemos concluir que el tratamiento con un mayor desarrollo vegetativo es el 33Cz-67T, puesto que tiene un mayor número de hojas y además de gran tamaño. Este resultado podría ser debido al mayor contenido en nitrógeno aportado por este tratamiento.

#### III. 3. 3. 2. Peso seco de petunia.

En la Tabla 36 se pueden consultar los resultados para el peso seco de la parte aérea y radicular del cultivo de petunia en invernadero.

Tabla 36. Peso seco (g) de la Parte aérea y radicular de petunia.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>25CzY-75T</b>	0,693 cd	0,209 b
<b>33CzY-67T</b>	0,578 cd	0,167 b
<b>25CzSf-75T</b>	0,798 c	0,208 b
<b>33CzSf-67T</b>	1,189 b	0,265 a
<b>25Cz-75T</b>	1,722 a	0,258 a
<b>33Cz-67T</b>	1,619 a	0,194 b
<b>100T</b>	0,562 d	0,261 a

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

En la parte aérea, los mejores tratamientos son el 25Cz-75T y el 33Cz-67T. A continuación tenemos otro grupo significativamente distinto integrado únicamente por el tratamiento 33CzSf-67T, por primera vez obtenemos unos resultados positivos con la utilización de granulados CzSf, debido seguramente a la rusticidad de la planta de petunia que hace que no le afecten demasiado ni el pH ácido ni la alta conductividad eléctrica aportada por este tipo de fertilizante. El resto de tratamientos se distribuyen en dos grupos homogéneos que se solapan en los efectuados con gránulos CzY.

En el caso de la raíz aparecen dos grupos homogéneos, presentando los mejores resultados el grupo integrado por los tratamientos 33CzSf-67T, 25Cz-75T y 100T. En la línea de lo expuesto para la parte aérea, vemos que el desarrollo radicular del tratamiento

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con un 33% de gránulos CzSf tiene la media más alta, posiblemente debido a la importancia que el fósforo tiene para el desarrollo radicular y cuyo contenido es elevado en este tipo de gránulos formulados con superfosfato como aglutinante.

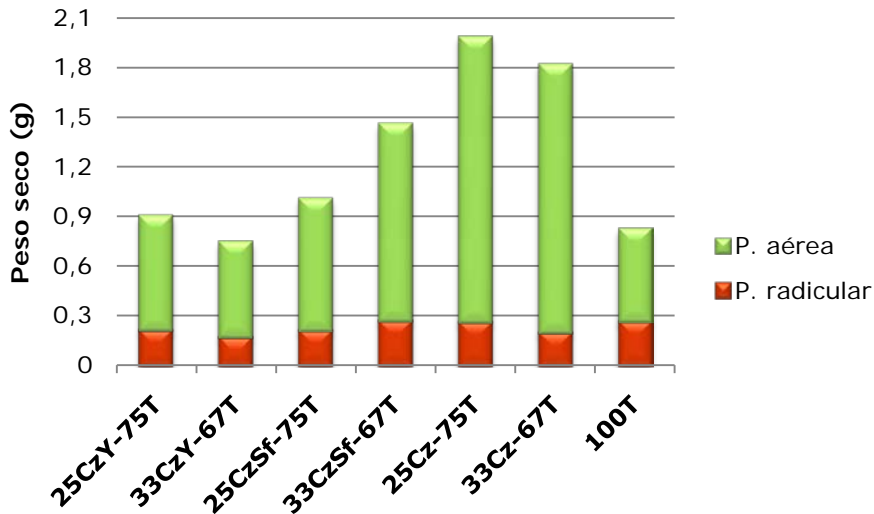


Figura 61. Peso seco medio de planta completa de petunia. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

En la representación gráfica de la Figura 61 podemos ver las diferencias en el peso seco por planta para los distintos tratamientos. De esta forma se ve cómo las plantas de los tratamientos con carozo prácticamente doblan en tamaño a las plantas del resto de tratamientos, con excepción del 33CzSf-67T que tiene un tamaño intermedio.

#### III. 3. 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

En el caso de los dos primeros cultivos, lechuga y pimiento, los resultados obtenidos son bastante homogéneos. En ambos el tratamiento más efectivo es el realizado con carozo finamente picado. Resaltar además que en los parámetros relacionados con la fructificación medidos para pimiento, el tratamiento con gránulos CzY tiene un mejor comportamiento que el Control y los tratamientos con CzSf.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

En petunia los resultados son diferentes, lo cual entra dentro de lo esperable por ser una producción totalmente distinta, tanto en lo que respecta al tipo de planta como a las condiciones de cultivo. En esta parte del ensayo hay que resaltar que los mejores resultados se obtienen también con los tratamientos con carozo finamente picado. En este aspecto es similar a lo que ocurre en los dos cultivos hortícolas. Las diferencias las encontramos en que en los parámetros relacionados con la valoración de las plantas, el tratamiento 33CzY-67T obtiene unos buenos resultados, mientras que en peso seco es el tratamiento con un 33% de CzSf el que presenta unos altos resultados, en raíz incluso similares a los del tratamiento 25Cz-75T.

Por último, como valoración general los resultados obtenidos con el carozo picado y los gránulos CzY han sido muy positivos, no obstante en nuestro empeño para buscar la mejor estrategia de empleo de este residuo, nos planteamos la posibilidad de compostarlo para obtener un producto más homogéneo. Ante las dificultades detectadas en el carozo de cara a sufrir un proceso de compostaje pensamos en realizar un co-compostaje con otros materiales. En el siguiente y último ensayo se recogen los resultados obtenidos en las pruebas de producción de plantel realizadas con los compost obtenidos. Se realizó también un tratamiento con carozo picado para detectar las posibles mejoras que nos aportaran los compost de mezcla.



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 4. PRODUCCIÓN DE PLANTEL CON SUSTRATOS CO-COMPOSTADOS Y TURBA.

##### III. 4. 1. SEMILLERO DE LECHUGA.

##### III. 4. 1. 1. Germinación.

En la Tabla 37 aparecen recogidos la Velocidad de germinación, medida cada cinco días, y el Porcentaje de germinación obtenido en los semilleros de lechuga.

Tabla 37. Velocidad y Porcentaje de germinación de lechuga en semillero.

	I	II	III	IV	G (%)
17Cz-83T	1	6	8	11	68,75 b
10Cz-90T	3	7	7	11	68,75 b
5Cz-95T	3	10	11	15	93,75 a
17CzCh-83T	0	4	5	9	56,25 c
10CzCh-90T	2	9	9	13	81,25 a
5CzCh-95T	1	8	10	14	87,50 a
17CzPj-83T	1	4	6	11	68,75 b
10CzPj-90T	7	8	8	12	75,00 b
5CzPj-95T	1	6	9	14	87,50 a
100T	4	7	9	11	68,75 b

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

La Velocidad de germinación es alta en los tratamientos 5Cz-95T y 5CzCh-95T, ya que a los 15 días de la siembra habían germinado más del 60% de las semillas. Los tratamientos con velocidades más bajas fueron el 17CzCh-83T y el 17CzPj-83T, seguramente por el mayor contenido en compost. Este hecho no afectó al tratamiento con esa misma dosis de carozo, posiblemente por no ser un compost típico.

El mayor Porcentaje de germinación corresponde a los tratamientos que tienen un 5% de mezcla con turba, en el mismo grupo de compatibilidad, aunque con una media menor, tenemos el tratamiento con un 10% de CzCh. El resto de tratamientos, incluido el

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

testigo, tienen porcentajes de germinación cercanos al 70%, excepto el 17CzCh-83T con un 56,25%, porcentaje significativamente inferior.

#### III. 4. 1 .2. Valoración del estado de las plantas de lechuga.

Los resultados obtenidos para el número medio de hojas determinados en distintos momentos a lo largo del ensayo: a los doce días de la siembra (I), en la mitad (II) y al final (III) se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38. Número de hojas medio para cada tratamiento en el semillero de lechuga.

	I	II	III
17Cz-83T	Cot	1-2	3
10Cz-90T	Cot	1-2	3
5Cz-95T	2	2	4
17CzCh-83T	Cot	1-2	3
10CzCh-90T	Cot	2	4
5CzCh-95T	Cot	1-2	4
17CzPj-83T	1	1-2	4
10CzPj-90T	2	3	5
5CzPj-95T	Cot	2	4
100T	2	2	4

Cot: cotiledones.

En general, el tratamiento 10CzPj-90T presenta siempre un mayor número de hojas. Entre el resto de tratamientos no se observan diferencias respecto a este parámetro.

#### III. 4. 1. 3. Peso seco de lechuga.

En la Tabla 39 están recogidos los resultados correspondientes al peso seco de la raíz y de la parte aérea de los plántulos de lechugas obtenidos con los distintos tratamientos.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 39. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de lechuga.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>17Cz-83T</b>	1,72 (6,44) f	1,46 (0,30) d
<b>10Cz-90T</b>	52,32 (9,57) c	7,30 (3,48) cd
<b>5Cz-95T</b>	106,14 (5,96) ab	18,64 (9,76) ab
<b>17CzCh-83T</b>	4,64 (3,05) f	1,58 (0,61) d
<b>10CzCh-90T</b>	47,28 (5,48) c	9,86 (3,95) bc
<b>5CzCh-95T</b>	128,04 (4,38) a	26,68 (12,36) a
<b>17CzPj-83T</b>	8,38 (4,73) e	1,50 (0,36) d
<b>10CzPj-90T</b>	75,92 (7,10) b	17,12 (7,60) ab
<b>5CzPj-95T</b>	74,62 (10,02) b	17,64 (8,00) ab
<b>100T</b>	35,78 (9,97) d	8,84 (6,57) bc

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Entre paréntesis desviación estándar.

Los valores de la parte aérea ponen de manifiesto un mayor desarrollo de dicha parte en los tratamientos 5CzCh-95T y 5Cz-95T, aunque éste último no presenta unas diferencias estadísticas con las dosis de un 5% y un 10% de CzPj. A continuación tenemos un grupo formado por los tratamientos con un 10% de Cz y con un 10% de CzCh con un peso seco medio de 52,32g y 47,28g. Con una media estadísticamente menor a los tratamientos anteriores tendríamos el testigo realizado con turba y con pesos secos aún más bajos, el resto de tratamientos.

Respecto al peso seco medio de la raíz hay varios grupos de compatibilidad muy solapados unos con otros. La media más alta corresponde al tratamiento 5CzCh-95T, sin diferencias significativas con los tratamientos 5Cz-95T, 5CzPj-95T y 10CzPj-90T. Con medias inferiores a éstos tendríamos los tratamientos 17CzPj-83T, 17CzCh-83T, 10Cz-90T y 17Cz-83T, mientras que el resto, incluido 10CzCh-90T y el testigo, estarían en una posición intermedia entre estos dos grupos.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figuras 62, 63, 64 y 65 podemos ver el tamaño de los plántulas antes de ser introducidos en la estufa.



Figura 62. Plántulas lavadas de los tratamientos 5Cz-95T, 10Cz-90T y 17Cz-83T (de izquierda a derecha).



Figura 63. Plántulas lavadas de los tratamientos 5CzCh-95T, 10CzCh-90T y 17CzCh-83T (de izquierda a derecha).



Figura 64. Plántulas lavadas de los tratamientos 5CzPj-95T, 10CzPj-90T y 17CzPj-83T (de izquierda a derecha).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Figura 65. Planteles del Control.

Si representamos gráficamente el peso seco de la planta completa, como hemos venido haciendo en los ensayos anteriores, podemos ver de forma más clara las diferencias existentes entre los distintos tratamientos, aunque no todas estas diferencias sean estadísticamente significativas.

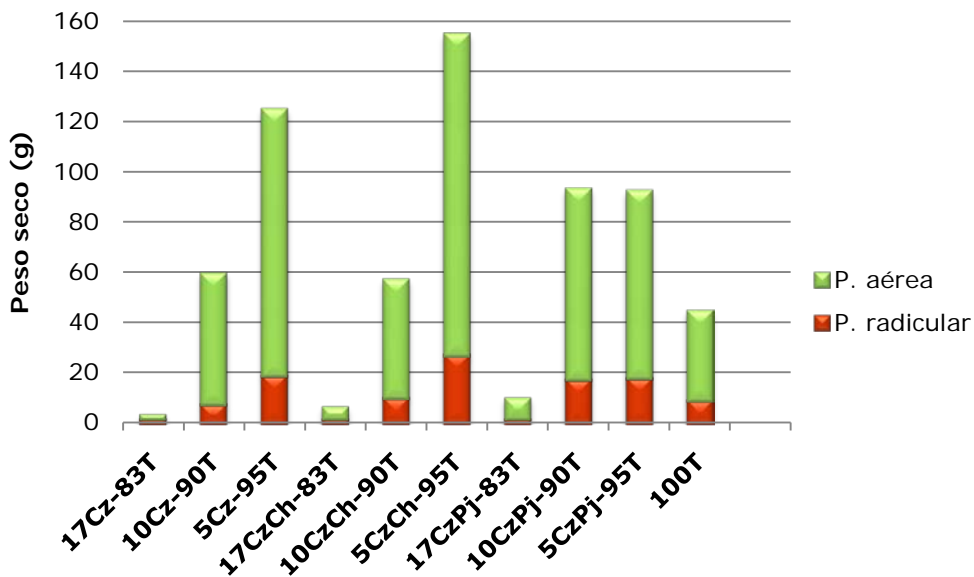


Figura 66. Peso seco medio de planta completa de lechuga. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aparece claramente un desarrollo escaso en los tratamientos con un 17% de mezcla, mientras que las proporciones del 5% y 10% están por encima del testigo. Los plantales de mayor tamaño serían los de los tratamientos 5CzCh-95T y 5Cz-95T.

#### III. 4. 2. SEMILLERO DE TOMATE.

##### III. 4. 2. 1. Germinación.

En la Tabla 40 están representados la Velocidad (como número plantas emergidas cada cinco días) y el Porcentaje de germinación obtenido en los semilleros de tomate.

Tabla 40. Velocidad y Porcentaje de germinación de tomate en semillero.

	I	II	III	IV	G (%)
17Cz-83T	1	8	11	13	81,25 b
10Cz-90T	2	8	11	13	81,25 b
5Cz-95T	12	12	14	15	93,75 a
17CzCh-83T	0	1	4	4	25 d
10CzCh-90T	0	1	6	7	43,75 c
5CzCh-95T	0	3	12	12	75 b
17CzPj-83T	4	11	13	13	81,25 b
10CzPj-90T	1	7	9	10	81,25 b
5CzPj-95T	2	10	15	15	93,75 a
100T	16	16	16	16	100 a

Valores seguidos por distinta letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La Velocidad de germinación es muy alta en los tratamientos 100T y 5Cz-95T, puesto que tres días después de la siembra (I) ya habían emergido más del 75% de las plantas. El resto de tratamientos tienen unas velocidades menores, de forma similar a los resultados obtenidos por Fernández-Bravo y col. (2006). Los tratamientos con un 10% y un 17% de compost CzCh aparecen muy retrasados en todos los conteos, y de hecho finalmente se quedan con unos porcentajes de germinación muy escasos, por debajo del 50%.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la última columna de la Tabla 40 están consignados los Porcentajes de germinación, el mayor porcentaje corresponde a los tratamientos Testigo, 5Cz-95T y 5CzPj-95T. En un segundo grupo tenemos los tratamientos con un 10% y un 17% de Cz y CzPj, junto con el 5CzCh-95T, con unos porcentajes superiores al 70%.

Como vemos la adición de compost reduce el porcentaje de germinación y esta disminución es más acusada en el caso del compost realizado con residuo agotado de champiñón, debido al alto contenido en sales que presenta, puesto que se ha referenciado que los sustratos con una baja CE tienen una mayor tasa de emergencia de semillas (Herrera y col., 2008).

#### III. 4. 2. 2. Valoración del estado de las plantas de tomate.

Los resultados para la valoración del estado de las plantas medidas a los doce días (I), en la mitad (II) y al final del ensayo (III), se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41. Número de hojas medio de tomate, en distintos momentos, para cada tratamiento.

	I	II	III
<b>17Cz-83T</b>	Cot	2	4
<b>10Cz-90T</b>	Cot	2	4
<b>5Cz-95T</b>	2	2-3	5
<b>17CzCh-83T</b>	Cot	Cot	2
<b>10CzCh-90T</b>	Cot	Cot	2
<b>5CzCh-95T</b>	Cot	1-2	3
<b>17CzPj-83T</b>	1	2	4
<b>10CzPj-90T</b>	Cot	2	4
<b>5CzPj-95T</b>	Cot	2-3	5
<b>100T</b>	2	3-4	6

Cot: cotiledones.

En general, los tratamientos 100T, 5CzPj-95T y 5Cz-95T presentan siempre un mayor número de hojas. Los tratamientos con una velocidad más lenta son: 17CzCh-83T y 10CzCh-90T. Las diferencias,

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

detectadas para este cultivo, entre los tratamientos con compost CzCh y el resto siguen estando presentes.

#### III. 4. 2. 3. Peso seco de tomate.

Para evaluar la calidad del plantel se midió, al igual que en los ensayos anteriores, el peso seco, los resultados correspondientes se recogen en la siguiente tabla (Tabla 42):

Tabla 42. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de tomate.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>17Cz-83T</b>	8,44 (5,26) c	0,78 (0,62) c
<b>10Cz-90T</b>	50,00 (25,01) b	4,81 (1,39) bc
<b>5Cz-95T</b>	84,04 (36,09) ab	10,40 (4,68) b
<b>17CzCh-83T</b>	7,53 (2,42) c	1,53 (0,63) c
<b>10CzCh-90T</b>	24,73 (11,51) bc	10,10 (4,23) b
<b>5CzCh-95T</b>	99,84 (21,12) a	23,04 (7,17) a
<b>17CzPj-83T</b>	6,68 (4,19) c	1,38 (0,74) c
<b>10CzPj-90T</b>	37,65 (12,71) b	11,45 (4,35) b
<b>5CzPj-95T</b>	48,44 (10,08) b	20,10 (4,71) a
<b>100T</b>	10,20 (5,23) c	2,01 (5,07) c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Entre paréntesis desviación estándar.

Como observamos, las plantas que crecieron en los sustratos 5CzCh-95T y 5Cz-95T tienen un crecimiento de su parte aérea mayor que el resto y sin diferencias estadísticas entre ambos. Las plantas de los tratamientos 5CzPj-95T, 10CzPj-90T, 10Cz-90T y 10CzCh-90T, tienen un crecimiento menor que el grupo anterior, pero mayor que el resto de tratamientos ensayados, aunque las diferencias entre el último de los tratamientos de este grupo y los tratamientos 100T, 17CzPj-83T, 17CzCh-83T y 17Cz-83T no son significativas.



## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 67 vemos gráficamente representado el peso total medio del plantel. En las imágenes de la Figura 68 podemos ver el tamaño de los plántulos de algunos de los tratamientos.

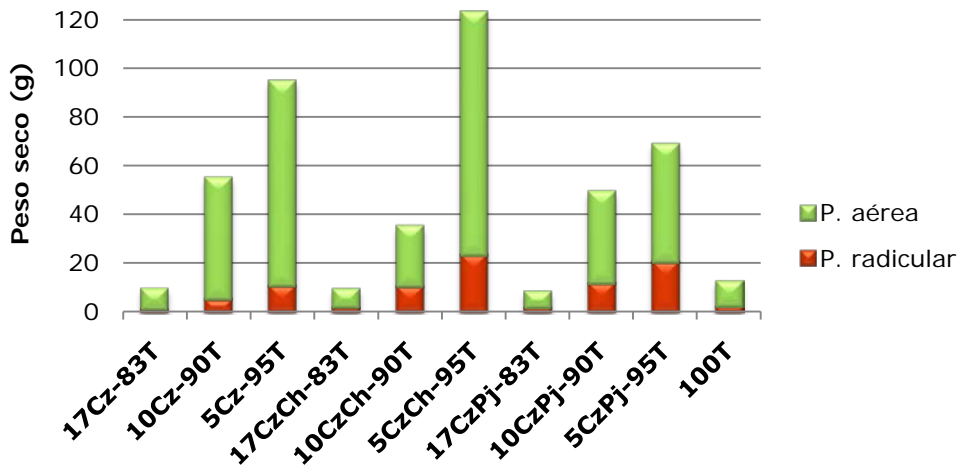


Figura 67. Peso seco medio de planta completa de tomate. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja).

Observando estas tres Figuras se pone de manifiesto que los plántulos de los tratamientos con un 5% de CzCh y Cz tienen un peso seco muy alto lo que los convierte en material de trasplante de alta calidad. Los obtenidos con los tratamientos con un 5% de CzPj y 10% de los tres materiales utilizados tienen un tamaño que dobla al del testigo. Por último, los tratamientos con un 17% de compost tienen un tamaño similar al testigo.

Estos resultados indican que proporciones de un 5% y un 10% de compost, podrían actuar como un fertilizante orgánico, aportando nutrientes que hacen que las plantas tengan un mayor crecimiento, sin que se presente ningún tipo de efecto perjudicial por la adición de estos materiales a la turba.

Los tratamientos con un 17% de compost tienen un comportamiento similar al obtenido con el testigo en turba, luego son también positivos, puesto que indican que se podría reducir en ese porcentaje el consumo de una sustancia como la turba con graves problemas ecológicos y un elevado precio.



Figura 68. Planteles de los tratamientos 5Cz-95T, 5CzCh-95T, 10CzPj-90T, 10Cz-90T, 5CzPj-95T, 10CzCh-90T, 100T y 17Cz-83T (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha).

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 4. 3. SEMILLERO DE BERRO.

##### III. 4. 3. 1. Germinación.

En la Tabla 43 aparecen recogidos la Velocidad (medida cada dos días) y el Porcentaje de germinación obtenido en los semilleros de berro.

Tabla 43. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) de berro en semillero.

	I	II	III	IV	G (%)
17Cz-83T	6	12	16	16	100 a
10Cz-90T	16	16	16	16	100 a
5Cz-95T	14	14	14	14	87,50 a
17CzCh-83T	0	14	14	14	87,50 a
10CzCh-90T	1	9	11	12	75,00 b
5CzCh-95T	8	14	14	15	93,75 a
17CzPj-83T	14	16	16	16	100 a
10CzPj-90T	13	16	16	16	100 a
5CzPj-95T	13	16	16	16	100 a
100T	16	16	16	16	100 a

Valores seguidos por distinta letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

La Velocidad de germinación de la semilla de berro es muy alta en la mayoría de los tratamientos. Tan solo se aprecia un cierto retraso en los tratamientos con compost CzCh y con un 17% de carozo, aunque los valores se recuperan rápidamente, ya que a los seis días de la siembra sólo el tratamiento 10CzCh-90T sigue retrasado, el resto aparecen con valores similares a los demás tratamientos.

En esta misma línea, los Porcentajes de germinación son muy altos en todos los tratamientos, el menor corresponde al tratamiento 10CzCh-90T, aunque se mantiene por encima del 70%. Este comportamiento era esperable puesto que la semilla de berro tiene un gran poder germinativo.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### III. 4. 3. 2. Peso seco de berro.

Los resultados obtenidos para el Peso seco de la raíz y de la parte aérea de las plantas de los tratamientos ensayados en el semillero de berro se recogen en la Tabla 44.

Tabla 44. Peso seco medio (mg) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de berro.

	Parte aérea	Parte radicular
<b>17Cz-83T</b>	12,38 (2,74) a	3,64 (1,31) a
<b>10Cz-90T</b>	10,92 (4,27) a	2,14 (0,48) bc
<b>5Cz-95T</b>	11,16 (4,70) a	2,32 (0,60) bc
<b>17CzCh-83T</b>	9,52 (2,60) a	2,02 (0,66) c
<b>10CzCh-90T</b>	11,02 (3,72) a	2,08 (0,41) bc
<b>5CzCh-95T</b>	14,1 (2,86) a	2,16 (0,34) bc
<b>17CzPj-83T</b>	13,78 (1,32) a	2,36 (0,56) bc
<b>10CzPj-90T</b>	14,66 (3,76) a	2,76 (0,39) ab
<b>5CzPj-95T</b>	12,26 (5,66) a	2,3 (0,81) bc
<b>100T</b>	13,9 (3,67) a	2,88 (0,43) ab

Valores de la misma columna seguidos por distinta letra son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Entre paréntesis desviación estándar.

El peso seco medio de la parte aérea es similar en los distintos tratamientos, de hecho el Test del Rango no detecta diferencias significativas entre ninguno de ellos.

En la raíz el peso seco medio del tratamiento 17Cz-83T es estadísticamente igual al obtenido con el tratamiento testigo y el 10CzPj-90T y mayor que el resto de tratamientos.

En la Figura 69 tenemos el peso seco medio de la planta completa. No se observa relación clara entre la proporción de material añadido a la turba y el peso seco del plantel. Zaller (2007) referencia en sus ensayos una situación similar apuntando que no sólo las propiedades físicas y químicas de los materiales estimulan el crecimiento de las plantas sino que pueden ser importantes efectos indirectos como son la estimulación de la microflora de la rizosfera (De Brito y col., 1995), acciones sobre reguladores del crecimiento vegetal (Tomati y col.,

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1988) o la colonización micorrizal de las raíces (Cavender y col., 2003).

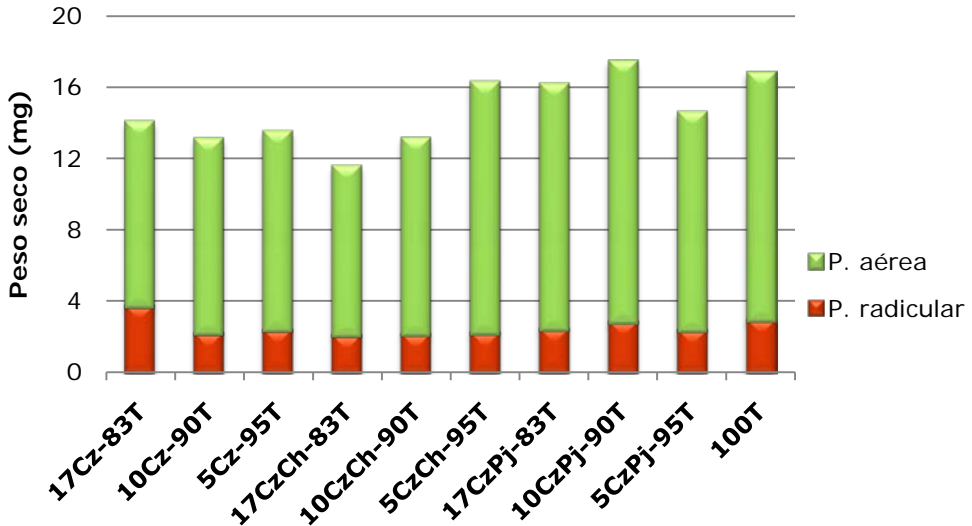


Figura 69. Peso seco medio de planta completa de berro. Parte aérea (verde) sobre Parte radicular (naranja).

Los resultados obtenidos con este cultivo no son concluyentes, debido seguramente a su rápido crecimiento. En la planta completa se observan diferencias, aunque no demasiado importantes y sin significación estadística, entre los distintos tratamientos.

Debemos tener en cuenta además, que el berro es un cultivo que se recolecta directamente en un tamaño de semillero, no como los anteriores cuyo objetivo era conseguir un plantel con el mayor tamaño posible (tanto de su parte aérea como radicular), para asegurar una mejor resistencia al trasplante. En este caso la parte que interesa es la aérea que es la que se recoge y comercializa y, como hemos visto, todos los tratamientos tienen un peso seco estadísticamente indiferenciable de esta parte.

En la imagen recogida en la Figura 70 tenemos los planteles de berro de todos los tratamientos antes de ser introducidos en la estufa para determinar el peso seco.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

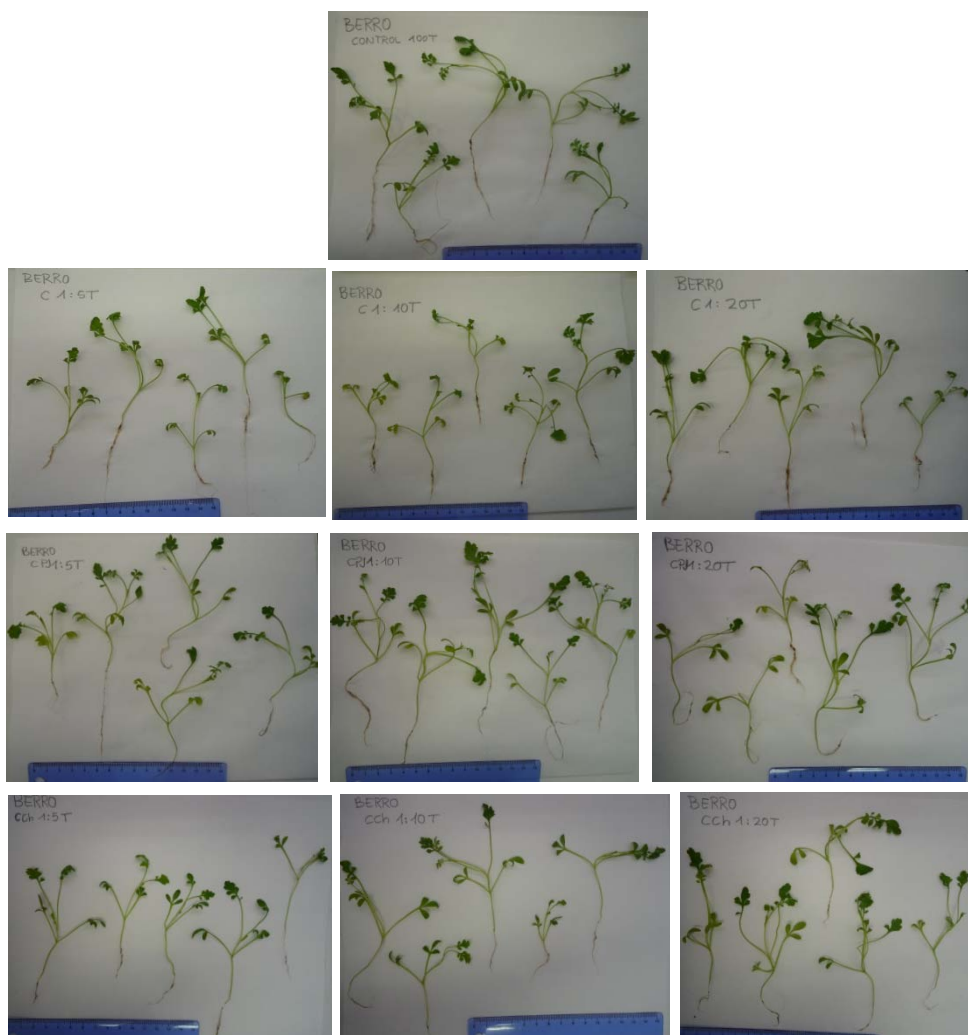


Figura 70. Planteles de berro con raíces lavadas de todos los tratamientos evaluados: 100T, 17Cz-83T, 10Cz-90T, 5Cz-95T, 17CzPj-83T, 10CzPj-90T, 5CzPj-95T, 17CzCh-83T, 10CzCh-90T y 5CzCh-95T (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha).

#### III. 4. 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Lo primero que debemos resaltar es que los resultados han sido diferentes a los obtenidos en los ensayos anteriores. Con proporciones del 17% de carozo o compost (con un 50% de carozo), los resultados han sido iguales o peores que en el testigo en varios de los parámetros analizados.

## D. ENSAYOS DE PRODUCCIÓN

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Pensamos que estas diferencias, respecto al ensayo anterior, podrían ser debidas al cambio en la forma de obtener la cera por parte de Apicasfer. El hecho de utilizar una prensa de tipo hidráulico hace que el proceso de extracción sea más eficiente y por tanto, la cantidad de cera que queda en el carozo se reduce sustancialmente, concentrándose los posibles compuestos fitotóxicos que pudieran estar presentes. Este efecto se ve más claramente en lechuga, en tomate aparecen retrasos en la germinación y en berro no se detectan apenas diferencias entre los distintos tratamientos.

Si comparamos estos resultados con las pruebas de fitotoxicidad realizadas y recogidas en el epígrafe III. 4. Del Capítulo C, vemos que no existe una relación clara entre la toxicidad de los extractos y los parámetros de producción. Tampoco encontramos correlación entre la fitotoxicidad sobre sustrato, salvo en el tratamiento 17Cz-83T para lechuga, que tiene un IG del 19,3% y sus resultados en porcentaje de germinación y producción son muy bajos. Quizá podríamos decir que IG muy bajos sobre sustrato sí podrían relacionarse directamente con fitotoxicidad en producción, ya que con el resto de valores, por encima de un 57% no se observan incidencias en la fase de cultivo.

Por último resumiendo los resultados obtenidos, en lechuga tenemos plántulas de mayor peso seco con los tratamientos que llevan un 5% de carozo y los dos compost y con el 10CzPj-90T. Con los tratamientos con un 17% de carozo y los dos compost los resultados son inferiores al testigo.

En tomate el peso seco de los tratamientos con un 5 y un 10% de compost mejoran al control de turba y los que tienen un 17% de compost son similares a dicho testigo.

En berro no se detectan diferencias entre los tratamientos, por tanto con un 17% de los productos evaluados se reduciría el consumo de turba en ese porcentaje, obteniendo resultados similares al cultivo realizado sobre un 100% de turba.





---

*E*

---

**CONCLUSIONES**

---



## E. CONCLUSIONES

---

A partir de los resultados obtenidos en los distintos aspectos del estudio del carozo recogidos en esta memoria, podemos extraer las siguientes conclusiones principales:

- ✓ Según el análisis físico-químico realizado, el carozo, residuo del proceso de extracción de cera de industrias apícolas, tiene las siguientes características: un porcentaje de materia orgánica elevado (82,7%), una capacidad de intercambio catiónico muy alta (45,7 cmol Kg<sup>-1</sup>), una densidad aparente adecuada (0,4 g cm<sup>-3</sup>) y un contenido en nitrógeno total alto (5,42%). Estos resultados permiten considerarlo como un residuo con alto potencial para su empleo agrícola.
- ✓ Debido a alguna de sus características, como son la baja relación C/N, el pH ácido, las temperaturas alcanzadas en el proceso de extracción y la alta resistencia a la degradación, el carozo sin mezcla presenta dificultades para sufrir un proceso de compostaje.
- ✓ A partir de bioensayos de germinación de lechuga, rabanito, tomate y berro con extracto de carozo en proporción 1:5 con agua, este residuo presenta un riesgo de fitotoxicidad elevado, luego no sería apto para ser usado como sustrato único.
- ✓ El compost de mezcla en volumen con un una parte de carozo y una de paja, tienen unas características físico-químicas muy adecuadas para su utilización en producción vegetal (5,3% de nitrógeno y pH y CE dentro del rango óptimo).
- ✓ Mediante la realización de bioensayos de germinación con lechuga, tomate y berro, se ha determinado que los compost de mezcla en volumen, de una parte de carozo con una parte de paja y de una parte de carozo más una parte de residuo agotado de champiñón, están libres de fitotoxicidad para dos (lechuga y berro) de las tres especies evaluadas.
- ✓ La semilla de tomate se ha revelado como la especie más sensible para detectar fitotoxicidad, pues muestra los menores índices de germinación en todos los bioensayos realizados.

## E. CONCLUSIONES

---

- ✓ En el ensayo de obtención de plantel con mezcla de sustratos, los resultados obtenidos para el peso seco con el tratamiento de mezcla de un 67% de carozo más un 33% de vermiculita en volumen son muy superiores a los testigos, por tanto esta mezcla sería apropiada para la producción de plantel de tomate y pimiento.
- ✓ En la obtención de plantel aplicando carozo y dos granulados como fertilizantes, los mejores resultados se obtienen con el carozo picado en una proporción del 25% en peso de mezcla con turba. Consideramos muy recomendable la utilización de carozo en esta proporción para el cultivo en invernadero de plantel de lechuga y pimiento.
- ✓ Para el ensayo de producción final con carozo y dos granulados como fertilizantes el tratamiento más efectivo, para los cultivos hortícolas, es el realizado con carozo finamente picado. También se consiguen unos resultados positivos en pimiento, puesto que mejoran al testigo en los parámetros de fructificación, con el granulado obtenido mediante la mezcla en peso de una parte de carozo y una parte de yeso. Por ello, consideramos que:
  - La utilización como fertilizante orgánico de carozo picado para producción final de lechuga y pimiento es muy adecuada.
  - La aplicación del granulado con yeso es muy interesante para la fertilización de pimiento, puesto que sus resultados son buenos y se facilitaría el almacenamiento y reparto mecanizado.
- ✓ Para el cultivo de petunia, aplicando carozo y dos granulados como fertilizantes, se obtienen los mejores resultados con los dos tratamientos realizados con carozo picado (25 y 33% en mezcla con turba). Además, en el peso seco, el tratamiento con mezcla en peso de un 33% del granulado a base de dos partes de carozo y una de superfosfato cálcico y un 67% de turba, tienen unos resultados significativamente mejores que el testigo. Por tanto, para el cultivo de planta petunia es muy recomendable la utilización de dichas proporciones de carozo picado y granulado con superfosfato como fertilizantes.

## E. CONCLUSIONES

---

- ✓ En el ensayo de producción de plantel con sustratos de mezcla de turba y distintas proporciones de carozo y co-compost con carozo (obtenido mediante la aplicación de altas presiones con prensa hidráulica) hemos detectado una respuesta diferente de las plantas respecto a los ensayos anteriores (realizados con carozo obtenido mediante prensado mecánico). En este ensayo, las proporciones con resultados estadísticamente mejores son las de 5% de carozo y de los dos compost (mezclas en volumen de una parte de carozo con una parte de residuo agotado de champiñón y de una parte de carozo con una parte de paja) y 10% del compost de mezcla de una parte de carozo con una de paja. Se consideran apropiadas estas proporciones para el cultivo de plantel de lechuga y tomate.
- ✓ Para el cultivo de berro, podrían utilizarse proporciones de hasta un 17% en mezcla con turba de carozo picado y co-compost de mezcla en volumen de una parte de carozo con una parte de residuo agotado de champiñón y de una parte de carozo con una parte de paja, obteniendo resultados de peso seco de la parte aérea similares al control realizado con un 100% de turba.



---

*F*

---

**BIBLIOGRAFÍA**

---





## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Abad, M. 1991. Sustratos. En: *La Horticultura Española en la C.E.* Rallo, L. y Nuez, F. (Eds.) Ediciones de Horticultura S.L., Reus: 270-280.
- Abad M., Martínez, P. F., Martínez, M. D. y Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- Abad, M. 1999. Los sustratos para el semillero hortícola. En: *Planteles*. Villarnau, A. y González, J. (Coord.). Compendios de Horticultura 13. Ediciones de Horticultura S.L., Reus: 59-68.
- Abad M. y Noguera, P. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: *Manual del cultivo sin suelo*, Urrestarazu, M. (Coord.), Mundi-prensa: 132-165.
- Abad M., Noguera, P., Burés S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77(2): 197-200.
- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maqueira, A. and Noguera, V. 2002. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology* 82: 241-245.
- Adams, P. 2004. Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su comparación, elección y factores medioambientales a considerar. En: *Tratado de cultivo sin suelo* 3ª Edición, Urrestarazu, M. (Coord.), Mundi-prensa: 239-262.
- Alburquerque, J. A., González, J. García, D. and Cegarra, J. 2006. Composting of a solid olive-mill by-product ("alperujo") and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions. *Waste Management* 26: 620-626.
- Álvarez, J. 1997. La utilización de los productos apícolas. En: *Zootecnia. Bases de la producción animal*, Buxadé, C. (Coord.), Mundi-Prensa. Tomo XII: 295-310.
- Aparna, C., Saritha, P., Himabindu, V. and Anjaneyulu, Y. 2008. Techniques for the evaluation of maturity for composts of industrially contaminated lake sediments. *Waste Management* 28: 1773-1784.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Araujo, A. S. F., Sahyoun, F. K. and Monteiro, R. T. R. 2001. Evaluation of toxicity of textile sludge compost on seed germination and root elongation of soybean and wheat. *Revista Ecosystema* 26 (2): 117-119.
- Aslam, D. N., Horwath, W. and VanderGheynst, J. S. 2008. Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil. *Waste Management* 28: 2070-2076.
- Bachman, G. R. and Metzger, J. D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology* 99: 3155-3161.
- Badr El-Din, S. M. S., Attia M. y Abo-Sedera S. A. 2000. Field assessment of composts produced by highly effective cellulolytic microorganism. *Biology and Fertility of Soils* 32: 35-40.
- Bailey, L. H. 1977. *Manual of cultivated plants*. McMillan Publishing Co. Inc. (6ª ed.). Nueva York.
- Baixauli, C. y Aguilar, J. M. 2002. *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias*. Generalitat Valenciana, Cancillería de Agricultura, Pesca y Alimentación, 110pp.
- Ballester-Olmos, J. F. 1992. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Hojas Divulgadoras del MAPA 11/92 HD. 44pp.
- Benito, M. Masaguer, A., De Antonio, R. y Moliner, A. 2004. Evolución de parámetros químicos y físico-químicos en el compostaje de restos de poda. Actas de las VII Jornadas del Grupo de Sustratos de la SECH. Madrid. 34-42.
- Benito, M. Masaguer, A., De Antonio, R. y Moliner, A. 2005. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresource Technology* 96: 597-603.
- Barberis, R. and Nappi, P. 1996. Evaluation of compost stability. In: *Science of Composting*. De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., and Papi, T. (Eds.) Glasgow UK. Blackie Academic and Professional. Part 1: 175-184.
- Basoccu, L. y Nicola, S. 1989. Effetti delle condizioni di luce naturale, dello stato idrico e del volumen del substrato sull'accrescimento in vivaio e sulla productivita del pomodoro in serra fredda. 1º Convegno Nazionale il vavaismo orticolo.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. y Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100: 5444-5453.
- Bernal-Vicente, A., Ros, M., Tirrarelli, F., Intrigliolo, F. y Pascual, J. A. 2008. Citrus compost and its water extract for cultivation of melon plants in greenhouse nurseries. Evaluation of nutriactive and biocontrol effects. *Bioresource Technology* 99: 8722-8728.
- Bidlingmaier, W. 1996. Odour emissions from composting plant. In: *Science of Composting*. De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., and Papi, T. (Eds.) Glasgow UK. Blackie Academic and Professional. Part 1: 71-79.
- Bueno, P., Díaz, M. J. y Cabrera, F. 2008. Factores que afectan al proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (Eds.) Ediciones Mundi-Prensa, Madrid: 93-110.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd. London. 64-93.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas S. L.
- Burés, S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. En: *Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. Pastor, J. N. (Ed.), Universitat de Lleida: 19-46.
- Canet, R y Albiach, M. R. 2008. Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid: 379-396.
- Carrión, C., Abad, M., Puchades, R., Fornes, F., Maqueira, A. y Noguera, V. 2004. Caracterización de compost de residuos vegetales de origen hortícola como sustratos o componentes de sustratos para cultivo. *Actas de las VII Jornadas del Grupo de Sustratos de la SECH*, Madrid: 50-60.
- Carmona, E. y Abad, M. 2008. Aplicación del compost en viveros y semilleros. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (Eds.), Mundi-Prensa: 397-424.
- Casas, A. y Casas, E. 1999. El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular. Caja Rural de Almería. Almería.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R. and Melis, P. 2005. Study of the organig mater evolution during municipal solid waste composting aimed identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25: 209-213.
- Casseres, E. 1971. "Producción de hortalizas". Sucesores de Herrero Hermanos, S.A. (2ª ed.). México.
- Cavender, N. D., Atiyeh, R. M. and Knee, M. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiología* 47, 85-89.
- Cegarra, G. 1995. Producción y comercialización de los productos apícolas en España. En: *Apicultura* Prost, J.P. (Ed.), Mundi-Prensa: 711-726.
- Celis, J., Sandoval, M., Zagal, E. y Briones, M. 2006. Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo patagónico. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6 (3): 13-25.
- Celis Hidalgo, J., Sandoval Estrada, M. y Briones Luengo, M. 2007. Bioensayos de fitotoxicidad de residuos orgánicos en lechuga y ballica anual realizados en un suelo alfisol degradado. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 7 (3): 51-60.
- Chamarro, J. 2001. Anatomía y fisiología de la planta. En: *Cultivo del tomate*. Nuez, F. (Ed.): 42-90.
- Chanyasak, V., Hirai, M. and Kubota, H. 1982. Changes of chemical components and nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage. *Journal of Fermentation Technology* 60: 439-446.
- Cuartero, J y Fernández, R. 1996. Calidad de las hortalizas para consumo en fresco. *Hortoinformación* 78: 34-38.
- Cuartero, J. 2001. Tomate para consumo en fresco. En. *La horticultura española*. Nuez, F. y Yacer, G. (Coord.). Sociedad Española de Ciencia Hortícolas.
- Decreto 109/1998 de la Junta de Castilla y León, por la que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias. B. O. C. y L. N° 112 de 16 de junio de 1998.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Danés, R. y Boixadera, J. (2001). Aspectos generales a considerar en la planificación y gestión de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Boixadera, J. Y Teira, M.R. (Eds). 79-104. Edicions de la Universitat de Lleida.
- De Boodt, M., Verdonck, O. and Cappaert, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- De Brito, M. A. Gagne, S. and Antoun, H. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant-growth promoting rhizobacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61:194-199.
- De Vleeschawer, D., Verdonck, O. y Van Assche, D. 1981. Phytotoxicity of refuse compost. *BioCycle* 22:44-46
- E. E. A. 2006. *What is waste?* European Topic Centre on Resource and Waste Management, European Environmental Agency.
- Ekinci, K., Keener, H. M. and Elwell, D. 2004. *Effect of aeration strategies on the composting process: Part I*. Experimental studies. *Trans. ASAE*, 47: 48-51.
- Emino, E. R. and Warman, P. R. 2004. Biological assay for compost quality *compost Sci. Util.*, 12:342-348. FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization). 1994. *Meth Book for the analysis of compost*. Germany.
- Fitzpatrick, G. E. 2005. Utilización de los compost en los sistemas de cultivo de plantas ornamentales, viveros y semilleros. En: *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Stoffella, P. J. and Kahn, B .A. (Eds.), Mundi-Prensa: 135-149.
- Flotats, X. y Solé, F. 2008. Situación actual en el tratamiento de los residuos orgánicos: aspectos científicos, económicos y legislativos. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid: 43-74.
- Foucard, J. C. 1997. *Viveros: de la producción a la plantación*. Mundi-prensa. 439pp.
- García-Gómez, A, Bernal, M. P. and Roig, A. 2002. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology* 83: 81-87.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Gómez, M. A., González, M. I., Morales, R. 2006. Valoración de residuos de industrias apícolas para su utilización como fertilizantes de liberación lenta. En: *Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI*. Gallardo, J. F. (Ed.) Badajoz (España). Tomo III: 173-182.
- Hardesty, J., Ross, W. H. and Jacob, K. D. 1942. Process for the granulation of fertilizers. U. S. Patent 2.287.759.
- Haug, R. T. 1993. The practical handbook of compost engineering. Lewis publishers. 669pp.
- Herrera, F., Castillo, J. E., Chica, A. F. y López Bellido, L. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Thecnology* 99: 287-296.
- Hoyos, P. 1996. Parámetros de calidad en plántulas hortícolas. En: *II jornadas sobre semillas y semilleros hortícolas*. Congresos y Jornadas 35/96, Junta de Andalucía: 53-77.
- Iglesias-Jiménez, E. 1991. *Estudio del compostaje termófilo y aerobio de los residuos sólidos urbanos de Tenerife. Poder fertilizante del compost y distribución de los nutrientes aportados en un sistema suelo-planta*. Ph Dr. Tesis Universidad de La Laguna. ETD. S. A., Barcelona. 514 pp.
- Iglesias-Jiménez, E. y Álvarez, C.E. 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils* 16: 313-318.
- Iglesias-Jiménez, E. 2001. Nitrogen availability from a mature urban compost determined by the 15N isotope dilution method. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 409-412.
- Jhorar, B. S., Phogat, V. and Malik, E. 1991. Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 5: 297-306.
- Kalamdhad, A. S. and Kazmi, A. A. 2009. Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. *Chemosphere* 74: 1327-1334.
- Kalra, Y. P. y Maynard, D.G. 1994. *Methods manual for forest soil and plant analysis*. Forestry Canada Northwest Region. Northern

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Forestry Center.
- Kiehl, F. J. 1985. *Fertilizantes orgánicos*. Editora Agronómica Ceres Ltda. São Paulo.
- Komilis, D. P. and Tziouvaras, I. S. 2009. A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts. *Waste Management* 29: 1504-1513.
- Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J. G. and Domínguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research* 7 (4): 944-951.
- Lemaire, F. 1997. The problem of biostability in organic substrates. *Acta horticulturae* 450: 63-70.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. B.O.E. N° 96 de 22 de abril de 1998: 13372-13384.
- López-Cuadrado, M. C., Ruiz-Fernández, J y Masaguer, A. 2004. Aplicación de diferentes sustratos alternativos en el cultivo de *Osreospermum ecklonis*. *Actas de Horticultura* 28: 115-123. SECH. Madrid.
- López-Mosquera, M., Carballo, M. E., Cabaleiro, F., Carral, E., Lema, M., López-Fabal, A. y Sainz, M. J. 2003. Valoración agronómica de estiércol de pollo deshidratado y granulado en cultivo de lechuga (tipo trocadero) bajo invernadero. *Actas de horticultura* 39: 595-596.
- MAPA. 2009. *Anuario de Estadística Agroalimentaria 2008*. Subdirección General de Estadísticas Agroalimentarias del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. [www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm](http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm)
- Maroto, J. V. 1995. *Horticultura herbácea especial*. 4ª edición. Mundi-Prensa.
- Maroto, J. V. 2002. *Horticultura herbácea especial*. 5ª edición. Mundi-Prensa.
- Martínez, X. 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura* 11: 55-66.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Mazuela, P., Urrestarazu, M. y Sanguinetti, M. 2004. Evaluación agronómica de un cultivo de tomate utilizando compost como sustrato en cultivo sin suelo. *Actas de las VII Jornadas del Grupo de sustratos de la SECH*: 133-140.
- Mazuela, P. y Urrestarazu, M. 2005. Acondicionamiento de compost de residuos hortícolas para semillero. *Actas Portuguesas de Horticultura* 7 (3): 377-382.
- Michel, F. C., Pecchia, J. A. and Rigot, J. 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science* 12(4):323-334.
- Milla, A. 1996. Pimientos. *Compendios de Horticultura*. Ediciones de Horticultura S. L. 31pp
- Mishra, R. V., Roy, R. N. y Hiraoka, H. 2003. *On-Farm Composting Methods. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, 2003.
- Miyatake, E. and Jwabuchi, K. 2006. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Bioresource Technology* 97:961-965.
- Morales, R. y Alvarez, S. 1999. Aplicación de residuos apícolas en sustratos hortícolas. *Agricultura* 799: 168-169.
- Morales-Corts, R., Gómez-Sánchez, M. A., Pérez-Sánchez, R. and Prieto-Calvo, C. 2010. Characterization of beekeeping wastes for using in seedling production. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8 (2): 493-500.
- Mustin, M. 1987. *Le compost. Gestion de la materiae organique*. Editions François.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis. Chemical methods* (Part 3), Sparks, D. L. (Ed), Soil Science Society of America, Madison: 961-1010.
- Noguera, P., Abad, M, Puchades, R., Noguera, V., Maqueira, A and Martínez, J. 1997. Physical and chemical properties of coir waste and their relation to plant growth. *Proc.Int`l Symp. On Growing Media and Plant Nutrition*. Roeber, R. U. (Ed). *Acta Horticulturae* 450: 365-373.



## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Nuez, F. y Hernández, J. E. 1991. Al otro lado del Atlántico: España. Hortícolas marginadas. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. FAO. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/agriculture> Consultado en noviembre de 2010.
- Orden 304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. B.O.E. N° 43 de 19 de febrero de 2002: 6494-6515.
- Ortega, M. C., Moreno, M. T., Ordovás, J. and Aguado, M. T. 1996. Behaviour of different horticultural species in phytotoxicity bioassays of bark substrates. *Scientia Horticulturae*, 66: 125-132.
- Ortiz, A. 1997. Los productos del colmenar. *Horticultura herbácea especial*. 4ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Tomo XII: 281-292.
- Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015. B.O.E. n° 49 de 26 de febrero de 2009: 19893-20019.
- Poincelot, R. P. 1975. *The Biochemistry and methodology of composting*. The Connecticut Agricultural Experimental Station. Bulletin 754.
- Prieto, C. 2007. *Valoración agronómica del carozo*. Trabajo Fin de Carrera de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. 107pp.
- Raj, D. and Antil, R. S. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology* 102: 2868-2873.
- Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. B.O.E. N° 25 de 29 de enero de 2002, 3507-3521.
- Real Decreto 824/2005 de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. B.O.E. N° 171 de 19 de julio de 2005: 25592-25669.
- Real Decreto 865/2010 de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. B.O.E. N° 170 de 14 de julio 2010: 61831-61859.
- Roeper, H., Khan, S., Koerner, I. and Stegmann, R. 2005. Low-tech options for chicken manure treatment and application possibilities in agriculture. *Proceeding Sardinia*, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Rodríguez, R., Tabares, J. M. y Medina, J. A. 1997. *Cultivo moderno del tomate*. Mundi-Prensa. 255pp.
- Salas, M. C. y Urrestarazu, M. 2004. El cultivo del pimiento. En: *Tratado de cultivo sin suelo*. Urrestarazu, M. (Coord.). Mundi-Prensa: 749-792.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig A., Paredes, C. and Bernal, M. P. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology* 78(3):30 1-308.
- Serrano, Z. 1996. El Tomate. En: *Veinte cultivos de hortalizas en invernadero*. Ed. Zoilo Serrano, C: 433-487.
- Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K. y Bates, J. 2001. Waste management options and climate change. Final report to the European Comissions, DG Environment. ED2 JI 58R4. 1, pp 205.
- Soliva, M. y Paulet, S. 2001. Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, Boixadera, J. Y Teira, M.R. (Eds), Edicions de la Universitat de Lleida: 63-78.
- Spohn, E. 1969. How ripe is compost. *Compost Science* 10: 24-28.
- Stoffella, P. J., Li, Y., Roe, N. E., Ozores-Hampton, M. and Graitz, D. A. 1997. Utilization of composted organic wastes in vegetable production systems. Technical Bulletins of Food and Fertilizer Technology Center University of Florida.
- Tchobanogolus, G., Theisen, H. y Vigil, S. 1994. *Gestión integral de residuos sólidos*. Ed. McGraw-Hill, Madrid. 1.107 pp.
- Teira, R. M. y Flotats, X., Planes de gestión de residuos ganaderos: estudios de casos. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*, Boixadera, J. Y Teira, M.R. (Eds), Edicions de la Universitat de Lleida: 309-328.
- Tejada, M., Dobao, M. M., Benitez, C. and González, J. L. 2001. Study of composting of cotton residues. *Bioresource Technology* 79(1): 199-202.
- Tessi, R. 1987. *Principi di orticoltura e ortaggi d'Italia*. Ed. Edagricole.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, I. J. 1997. Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. *Bioresource Technology* 62: 37-42.
- Tiquia, S. M. y Tam, N. F. Y. 1998. Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology* 65: 43-49.
- Tiquia, S. M. 2000. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig-on-litter system. In: Warman, P. R. and Taylor, B. R. (Eds.). *Proceedings of the International Composting Symposium*, CBA Press Inc. Truro. 625-647.
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere* 79: 506-512.
- Tomati, U., Grappelli, A. and Galli, E. 1988. The hormone-like of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils* 5: 288-294.
- Tomati, U., Madejon, E. and Galli, E. 2000. Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Science and Utilization*. 8(2):108-115.
- Urrestarazu, M. Martínez, G. A. and Salas, M. C. 2005. Almond shell waste: posible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae* 103: 453-460.
- Varnero, M. T., Rojas, C., Orellana, R. y Santibañez, C. 2006. Evaluación de especies sensibles a metabolitos fitotóxicos mediante bioensayos de germinación. En: *Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI*. Gallardo, J. F. (Ed.) Badajoz (España). Tomo III: 363-369.
- Varnero, M. T., Rojas, C. y Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *J. Soil Sc Nutr.* 7 (1): 28-37.
- Verdonck, O., De Boodt, M. and Grabiels, R. 1987. Compost as a growing medium for horticultural plants. In: *Compost Production, Quality and Use*. De Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L´Hermite and Zucconi, P. (Eds.), London: 399-405.
- Vidal, F. 1997. Panorámica del mercado de la miel en España. *Agricultura*. N° 774: 24-32.

## F. BIBLIOGRAFÍA

---

- Wilson, J. F. 1962. *Fertilizer*. U. S. Patent 3.050.383.
- Wong, 1985. Phytotoxicity of refuse compost during the process of maturation. *Environmental Pollution* (Series A) 40:127-144.
- Worley, R. E. 1976. Response of Tomato to pH of a Coastal Plain Soil. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101 (4): 460-462.
- Yuste, M.P. 1998. *Horticultura*. Biblioteca de la Agricultura. Idea Books, S. A. Barcelona.
- Zaller J. G. (2007) Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae* 112 (2): 191-199.
- Zhu, N. W. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology* 97 (15): 1870-1875.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y De Bertoldi, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* 22: 54-57.
- Zucconi, F., Monaco, A. and Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: Gasser, J. K. R (Ed.). *Composting of Agricultural and other Wastes*. Elsevier Appl. Sci. Publi., London & New York. 73-85.
- Zucconi. F. y De Bertoldi, M. 1987. Specifications for solid waste compost. *Biocycle* 28 (5/6): 56-61.
- <http://www.horticom.com/portada/> Consultada en 2009.
- <http://www.fao.org>. Consultada en 2008.

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Resultados medios del análisis físico-químico de carozo	92
Tabla 2. Resultados medios del análisis químico de carozo	94
Tabla 3. Evolución de algunos parámetros importantes para la caracterización del compostaje de carozo	96
Tabla 4. Resumen del procedimiento y resultados de granulación	99
Tabla 5. Análisis físico-químico de granulados con carozo	101
Tabla 6. Análisis químico de granulados con carozo	102
Tabla 7. Análisis de microelementos en granulados con carozo	103
Tabla 8. Evolución de pH, CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y Humedad (%) a los 40, 80, 120 y 150 días de co-compostaje	105
Tabla 9. Análisis físico-químico de compost de carozo con residuo agotado de champiñón (CzCh) y paja (CzPj)	108
Tabla 10. Valores de los parámetros que indican fitotoxicidad durante el compostaje de carozo en semillas de lechuga, rabanito, tomate y berro	111
Tabla 11. Parámetros para caracterizar la fitotoxicidad de CzCh a lo largo del proceso de compostaje en semillas de lechuga, tomate y berro	115
Tabla 12. Parámetros para caracterizar la fitotoxicidad de CzPj a lo largo del proceso de compostaje en semillas de lechuga, tomate y berro	116
Tabla 13. Elongación radicular (cm) media de semillas de lechuga, tomate y berro durante el proceso de compostaje	117
Tabla 14. Índices de germinación (IG) en sustrato para las distintas mezclas en % con turba (T) utilizadas en los ensayos de producción	118
Tabla 15. Elongación radicular (mm) de semillas de lechuga, tomate y berro germinadas sobre sustrato	120
Tabla 16. Características de los tratamientos de lechuga en campo	175
Tabla 17. Características de los tratamientos de pimiento en campo	177
Tabla 18. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) en tomate	187
Tabla 19. Número medio de hojas por planta (cada cinco días)	188
Tabla 20. Peso seco medio de la Parte aérea y radicular de tomate (mg)	190

Tabla 21. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) en pimiento	193
Tabla 22. Número medio de hojas por planta (cada 5 días) de pimiento _____	194
Tabla 23. Peso seco (mg) medio de la Parte aérea y radicular del plantel de pimiento _____	195
Tabla 24. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) de lechuga	199
Tabla 25. Número medio de hojas en el semillero de lechuga ____	201
Tabla 26. Superficie foliar (cm <sup>2</sup> ) media en hoja fresca y Porcentaje de nitrógeno medio en hoja seca de plantel de lechuga _____	203
Tabla 27. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de lechuga _____	204
Tabla 28. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) medio de pimiento _____	206
Tabla 29. Número de hojas medio para cada tratamiento _____	207
Tabla 30. Superficie foliar (cm <sup>2</sup> ) media de la tercera hoja desde la base de la planta y Porcentaje de nitrógeno foliar medio _____	209
Tabla 31. Peso seco (g) medio de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de pimiento _____	210
Tabla 32. Valores medios de Peso fresco (g), Peso seco (g) de Parte aérea y radicular de lechuga _____	213
Tabla 33. Valores medios correspondientes a número de hojas por planta y superficie foliar en la mitad del ensayo y altura en I y II de pimiento _____	215
Tabla 34. Resultados medios de parámetros de producción de pimiento _____	216
Tabla 35. Número medio de hojas por planta y superficie foliar (cm <sup>2</sup> ) media _____	218
Tabla 36. Peso seco (g) de la Parte aérea y radicular de petunia _	220
Tabla 37. Velocidad y Porcentaje de germinación de lechuga en semillero _____	223
Tabla 38. Número de hojas medio para cada tratamiento en el semillero de lechuga _____	224
Tabla 39. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de lechuga _____	225
Tabla 40. Velocidad y Porcentaje de germinación de tomate en semillero _____	228
Tabla 41. Número de hojas medio de tomate, en distintos momentos, para cada tratamiento _____	229

Tabla 42. Peso seco medio (g) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de tomate _____	230
Tabla 43. Velocidad y Porcentaje de germinación (G) de berro en semillero _____	233
Tabla 44. Peso seco medio (mg) de Parte aérea y radicular de las plantas del semillero de berro _____	234

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. <i>Apis mellifera</i> L. _____	17
Figura 2. Celdas de una colmena _____	18
Figura 3. Panales viejos _____	19
Figura 4. Obtención de carozo durante la extracción de cera _____	20
Figura 5. Pila de carozo a la intemperie _____	20
Figura 6. Planta industrial de compostaje en pila _____	28
Figura 7. Semillero en alvéolos sobre mesa de cultivo _____	42
Figura 8. Cultivo protegido de petunia en alvéolos (izquierda) y maceta (derecha) _____	45
Figura 9. Fertilizantes orgánicos comerciales _____	47
Figura 10. Placas Petri preparadas para determinar el IG _____	51
Figura 11. Obtención de lixiviados desde la batería de tubos de percolación _____	60
Figura 12. Celdillas para medición en LECO _____	64
Figura 13. Matraces Kjeldahl (izquierda) y Aparato de Bovat (derecha) _____	66
Figura 14. Granulado 1C:1Sf _____	74
Figura 15. Envases plásticos para granulados _____	75
Figura 16. Granulado 1C:1Yeso _____	78
Figura 17. Compostadora (izquierda) y pilas de co-compostaje (derecha) al final del proceso _____	81
Figura 18. Distintas semillas sobre extractos en proporción 1:5 (izquierda y centro) y control sobre agua (derecha) _____	84
Figura 19. Ensayo de fitotoxicidad sobre sustrato _____	85
Figura 20. Medida del crecimiento de radícula mediante regla milimétrica _____	86
Figura 21. Evolución de pH y CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) durante el proceso de compostaje _____	97
Figura 22. Evolución de la CE a lo largo del proceso de compostaje _____	106
Figura 23. Evolución del pH durante el compostaje _____	106
Figura 24. Evolución del IG utilizando semillas de lechuga, rabanito, tomate y berro durante el compostaje de carozo _____	112



Figura 25. Evolución del IG de CzCh (línea continua) y CzPj (línea discontinua) en lechuga (verde claro), tomate (rojo) y berro (verde oscuro) durante el proceso de co-compostaje_____	114
Figura 26. Representación gráfica de la elongación de radícula (cm) obtenida con semillas de berro, tomate y lechuga en extractos 1:5 de CzCh y CzPj y Control en agua al final del compostaje _____	118
Figura 27. Representación gráfica de la elongación de radícula de semillas de berro, tomate y lechuga sobre sustrato _____	121
Figura 28. Semilleros de hortalizas en alvéolos de distintos tipos _____	128
Figura 29. Planta de pimiento en distintos estadios de crecimiento desde semillero hasta fructificación_____	131
Figura 30. Planteles de tomate sobre alvéolos y plantel individual con raíces lavadas _____	135
Figura 31. Desarrollo del cultivo de lechuga en fase de semillero (izquierda) y lechuga adulta en campo (derecha)_____	139
Figura 32. Planta de petunia en distintas etapas de cultivo _____	141
Figura 33. Planta de berro en cultivo sobre alvéolos (izquierda) e individual (derecha)_____	143
Figura 34. Plantas de berro (izquierda) y plantel de lechuga (derecha) acondicionadas para obtención del peso seco _____	161
Figura 35. Plantas de berro (izquierda) y plantel de tomate (derecha) secas _____	161
Figura 36. Fruto de pimiento recolectado _____	162
Figura 37. Granulado CzY _____	169
Figura 38. Lechuga lavada para la determinación del peso seco _	171
Figura 39. Situación de los bloques y marco de plantación de lechuga en campo_____	174
Figura 40. Imagen del ensayo en campo de lechuga _____	175
Figura 41. Situación de los tratamientos y marco de plantación de pimiento en campo _____	176
Figura 42. Imagen de la plantación de pimiento en campo _____	177
Figura 43. Imagen del Invernadero 2 con planta de petunia _____	178
Figura 44. Imagen del ensayo de producción de plantel con sustratos co-compostados y turba _____	182
Figura 45. Plantas de tomate de los tratamientos 67Cz-33V, 50Cz-50V y 100T de izquierda a derecha_____	189

Figura 46. Plantas de tomate de los tratamientos 33Cz-67Sh, 50Cz-50Sh y 100Sh de izquierda a derecha_____	189
Figura 47. Peso seco medio de planta completa de tomate. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	191
Figura 48. Plantas de pimiento de los tratamientos 33Cz-67Sh, 50Cz-50Sh y 100Sh, de izquierda a derecha. _____	194
Figura 49. Plantas de pimiento de los tratamientos 33Cz-67V, 67Cz-33V, 50Cz-50V y 100T, de izquierda a derecha _____	195
Figura 50. Peso seco medio del plantel de pimiento. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	196
Figura 51. Imágenes del semillero de lechuga correspondientes a los tratamientos 33CzY-67T (izquierda) y 25CzSf-75T (derecha) ____	200
Figura 52. Imágenes del semillero de lechuga correspondientes a los tratamientos 33CzSf-67T (izquierda) y 33Cz-67T (derecha) ____	200
Figura 53. Número medio de hojas por planta de lechuga. _____	202
Figura 54. Peso seco medio de planta completa de lechuga. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	205
Figura 55. Imágenes del semillero de pimiento correspondientes a los tratamientos 25CzY-75T (izquierda) y 33CzY-67T (derecha) ____	208
Figura 56. Imágenes del semillero de pimiento correspondientes a los tratamientos 33Cz-67T (izquierda) y 25CzSf-75T (derecha). _____	208
Figura 57. Peso seco medio de planta completa de pimiento. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	211
Figura 58. Evolución de la altura del pimiento en campo _____	216
Figura 59. Frutos de pimiento recolectados de cada uno de los tratamientos: CzY (izquierda arriba), Control (derecha arriba), Cz (izquierda abajo) y CzSf (derecha abajo) _____	217
Figura 60. Algunos tratamientos del ensayo de petunia: 25Cz-75T (izquierda arriba), 25CzY-75T (derecha arriba), Control (izquierda abajo) y 33CzY-67T (derecha abajo) _____	219
Figura 61. Peso seco medio de planta completa de petunia. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	221
Figura 62. Planteles lavados de los tratamientos 5Cz-95T, 10Cz-90T y 17Cz-83T (de izquierda a derecha). _____	226
Figura 63. Planteles lavados de los tratamientos 5CzCh-95T, 10CzCh-90T y 17CzCh-83T (de izquierda a derecha)_____	226
Figura 64. Planteles lavados de los tratamientos 5CzPj-95T, 10CzPj-90T y 17CzPj-83T (de izquierda a derecha)_____	226

Figura 65. Planteles del Control_____	227
Figura 66. Peso seco medio de planta completa de lechuga. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	227
Figura 67. Peso seco medio de planta completa de tomate. Parte aérea (verde) más Parte radicular (naranja)_____	231
Figura 68. Planteles de los tratamientos 5Cz-95T, 5CzCh-95T, 10CzPj-90T, 10Cz-90T, 5CzPj-95T, 10CzCh-90T, 100T y 17Cz-83T (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha) _____	232
Figura 69. Peso seco medio de planta completa de berro. Parte aérea (verde) sobre Parte radicular (naranja) _____	235
Figura 70. Planteles de berro con raíces lavadas de todos los tratamientos evaluados: 100T, 17Cz-83T, 10Cz-90T, 5Cz-95T, 17CzPj-83T, 10CzPj-90T, 5CzPj-95T, 17CzCh-83T, 10CzCh-90T y 5CzCh-95T (de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha) _____	236